

허브클러치 제품의 피어싱 펀치 및 금형 형상 최적화를 위한 수치접근법

구본준¹, 홍석무^{2*}

¹공주대학교 금형설계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Numerical Approach to Optimize Piercing Punch and Die Shape in Hub Clutch Product

Bon-Joon Gu¹, Seok-Moo Hong^{2*}

¹Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University

²Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 오버드라이버 허브클러치는 자동차 6단 자동 변속기 미선에 장착되어 엔진의 여유출력을 이용해 연료사용을 절감시켜주는 부품이다. 본 연구에서는 오버드라이버 허브클러치 제품에 대해 피어싱 공정 중 펀치에 가해지는 하중 및 소재 처짐량을 최소화 하고자 한다. 공정 중 펀치의 하중과 처짐량에 영향을 줄 수 있는 다이 클리어런스(die clearance)와 전단각도(shear angle) 그리고 마찰계수(friction coefficient)를 설계 변수로 설정했다. 또한 펀치의 하중과 소재 처짐량에 대해 각 설계 변수들의 영향도를 확인하기 위해 민감도 분석(sensitivity analysis)을 진행했다. 그 결과 전단 각도, 마찰 계수, 다이 클리어런스 순으로 하중 및 처짐량에 대해 민감한 것으로 조사되었다. 이를 통해 펀치의 하중과 소재 처짐량을 목적함수로 설정하고, 반응표면법(Response Surface Method)을 통해 각 설계 변수들과 목적함수의 방정식을 도출했다. 이를 통해 설정된 설계 변수들의 최적 값을 도출해 유한요소해석에 적용한 결과 펀치의 하중 및 소재의 처짐량이 기존대비 22.14% 개선됐다.

Abstract The overdrive hub clutch is attached to a 6-speed automatic transmission to reduce fuel consumption by using the additional power of the engine. This paper proposes a means to minimize the load and roll-over ratio on the punch during the piercing process for the overdrive hub clutch product. Die clearance, shear angle, and friction coefficient, which can affect the load and roll-over ratio of the punch during processing, were set as the design variables. Sensitivity analysis was also conducted to determine the influence of each design variable on the punch load and roll-over ratio. As a result, shear angle, friction coefficient and die clearance were found to be sensitive to load and roll-over ratio. The punch load and roll-over ratio were set as the objective function and the equation of each design variable and objective function was derives using the Response Surface Method. Finally, the optimal value of the design variables was derived using the Response Surface Method. Application of this model to finite element analysis resulted in 22.14% improvement in the roll-over ratio of the punch load and material.

Keywords : Hub Clutch, Optimization, Piercing Process, Response Surface Method, Sensitivity Analysis

*Corresponding Author : Seok-Moo Hong(Kongju National Univ.)

email: smhong@kongju.ac.kr

Received June 20, 2019

Accepted September 6, 2019

Revised July 31, 2019

Published September 30, 2019

1. 서론

오버드라이버 허브클러치 제품은 자동차 6단 변속기 미션에 장착되는 부품으로, 열간 및 냉간 단조를 통해 제품이 1차적으로 성형되며, 세이퍼 및 호빙 공정을 통해 제품의 주요 형상을 가공한다. 이후 피어싱 가공을 통해 제품의 최종 형상을 얻을 수 있다[1]. 그러나 이러한 오버드라이버 허브클러치 제품에 대한 피어싱 공정은 홀의 직경이 작을 뿐만 아니라 곡률을 가진 제품에 대해 구멍을 뚫는 공정이기 때문에 평판으로 된 제품의 피어싱 설계를 적용하는데 한계가 있다. 또한 곡률을 가지는 단조 제품의 피어싱 공정에서 각 설계 변수들에 의해 발생하는 문제점에 대한 연구는 전무한 상황이다. 자동차 클러치 제품에 대해 S. G. Kim은 드럼 클러치 허브의 제조를 위한 예비 성형체 형상을 다구찌 기법을 이용해 최적화를 수행했고[2], J. H. Park은 자동차용 클러치 드럼 허브 제품의 딥 드로잉 성형 시 코너 부 치수 감소를 방지할 수 있는 예비 성형체 형상을 제안했다[3]. J. M. Lee는 자동변속기의 드럼 클러치의 아이어닝 공정에서 펀치 형상 및 각도, 두께 감소율의 공정변수에 따라 내부 기어 형상의 치수정밀도를 유한요소해석과 실험을 통해 평가했다 [4]. H. -C. Wu는 강판 허브 클러치 제품의 스템핑 공정에서 플랜지 벽을 성형할 때 발생하는 모서리 부분의 균열 문제를 해결하기 위해 유한요소해석과 실험을 통해 문제를 개선했다[5]. 제품의 전단 공정에 대해 E. Taupin은 소재의 블랭킹 공정에서 펀치와 다이 사이의 클리어런스가 변화함에 따라 발생하는 처짐량 (roll-over)과 버 (burr)의 변화를 해석과 실험을 통해 평가했다[6]. 본 연구에서는 허브클러치 제품의 피어싱 공정에서 발생하는 하중과 소재의 처짐량을 동시에 최소화 하는 피어싱 펀치 및 금형의 형상을 반응표면법을 통해 최적설계를 수행했다. 해석으로 얻은 데이터를 토대로 각 설계 변수들이 목적 함수로 설정된 펀치 하중 및 소재의 처짐량에 미치는 영향도를 분석했다. 이를 통해 반응표면법을 수행해 설계변수와 목적함수의 수학적 관계식을 도출했다. 마지막으로 기존 설계에서 얻어진 목적 함수의 값과 반응표면법을 통해 얻어진 최적 설계의 목적 함수 값을 비교해 본 연구의 타당성을 입증했다.

2. 본론

2.1 오버드라이버 허브클러치 및 피어싱 공정

2.1.1 오버드라이버 허브클러치

본 연구에 적용된 오버드라이버 허브클러치 제품은 일반적으로 상, 하 부품을 각각 열간 단조를 통해 1차적으로 성형시키고, 절삭(호빙, 세이퍼)가공 및 피어싱 가공을 등을 통해 주요 형상을 가공한다. 그 이후 상, 하 제품을 조립해 최종 제품의 형상을 얻게 된다. 이러한 오버드라이버 허브클러치는 자동차 6단 변속기에 사용되며, 변속기 내부의 여러 기어들과 맞물려 차량 엔진의 동력전달에 직접적인 영향을 끼치는 중요한 제품이다. 이처럼 차량 자동 변속기 구성에 필수적인 오버드라이버 허브클러치는 제품의 품질 측면에서 지속적인 경쟁력을 갖추어야 할 부품이다. 제품 생산의 전체적인 컨셉도는 Fig. 1에 나타났다.

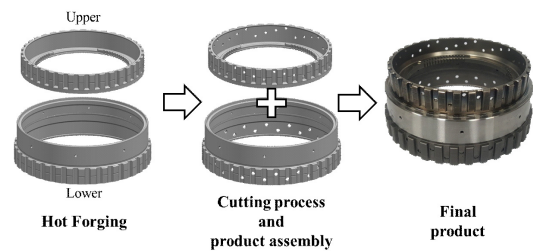


Fig. 1. Concept of production process

2.1.2 피어싱 공정

오버드라이버 허브클러치를 가공함에 있어 단조공정 이후 피어싱 공정을 통해 제품에 구멍을 뚫게 된다. 차량의 자동변속기는 미션 오일의 유압신호를 가지고 변속이 이루어지게 된다. 이러한 미션 오일의 유동을 원활하게 해주기 위한 오일 구멍은 상부에 36개, 하부에 36개로 총 72개의 구멍이 가공되며, 한 번의 피어싱 공정을 통해 상부에 4개와 하부에 4개, 총 8개의 구멍이 가공된다. 제품의 오일 구멍의 형상을 Fig. 2에 나타냈다. 일반적으로 피어싱 공정을 위한 금형은 펀치 및 다이 그리고 홀더로 구성이 되며, 다이 위에 놓인 제품을 홀더를 통해 고정시키고, 펀치를 통해 제품에 구멍을 가공하게 된다. 이러한 피어싱 공정에서 발생하는 펀치의 하중이 크게 작용하게 되면 펀치의 마모뿐만 아니라 심한 경우 금형의 파손으로 이루어져 제품의 치수 정밀도 및 품질에 좋지 않은 영향을 끼치게 된다. 따라서 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 피어싱 공정 중 발생하는 하중과 제품의 처짐량을 최소화하기 위한 설계 변수를 설정해 문제를 해결하고자 한다.

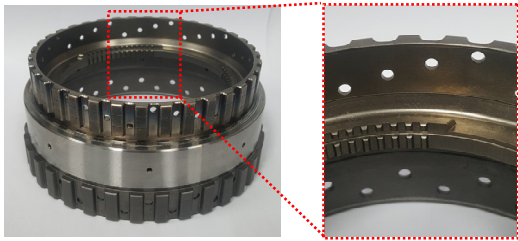


Fig. 2. Oil hole shape of product

2.2 피어싱 공정의 유한요소해석

2.2.1 소재 물성치 및 해석 조건

오버드라이버 허브클러치 제품에 사용되는 소재는 기계 구조용 합금강 중 크롬강 소재인 SCR420HB이다. 소재의 물성은 인장시험을 통해 얻을 수 있다. 열간 단조를 통해 성형되는 오버드라이버 허브클러치 제품은 열처리 (annealing)가 포함된 소재를 사용한다. 따라서, 소재의 물성치 또한 열처리가 포함된 상태에서 인장시험을 진행했다. 인장시험을 통해 얻은 유효응력(σ_{eq}) - 유효 변형률 (ϵ_{eq})의 그래프는 Fig. 3과 같이 Hollomon의 유동응력곡선을 통해 나타낼 수 있다. Hollomon의 유동응력곡선은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 인장시험을 통해 얻은 소재의 물성치는 Table 1에 나타났다. 표에서 k 는 강도 계수, n 은 가공경화지수를 의미한다.

$$\sigma_{eq} = k \epsilon_{eq}^n \quad (1)$$

Table 1. Material property

Parameter	Value
k (MPa)	880.0
n	0.228
Young's modulus, E (GPa)	200.0
Poisson's ratio	0.290
Yield stress (MPa)	301.03
Ultimate tensile strength (MPa)	605.83

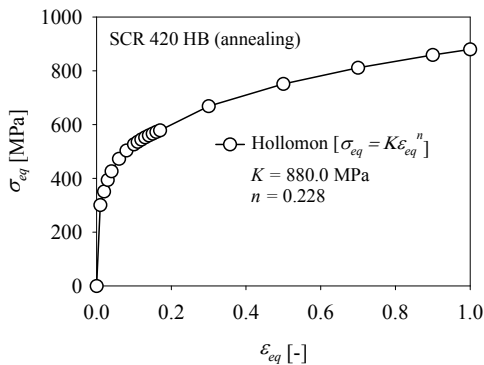


Fig. 3. Flow stress curve of SCR420HB(annealing)

2.2.2 유한요소해석

본 연구에서 사용된 유한요소해석 소프트웨어는 AFDEX_V18R02 이며[7], 유한요소해석의 전체적인 컨셉도를 Fig. 4에 나타냈다. 유한요소해석에 소요되는 시간을 단축하기 위해 오버드라이버 허브클러치 형상의 치형을 생략한 형상으로 단순화 했다. 제품의 상부 32개의 구멍 형상 중 1개의 구멍 형상에 대해서 1/4모델로 유한요소해석을 진행했다. 해석하고자 하는 오버드라이버 허브클러치의 초기 치수는 소재 두께 1.5mm, 피어싱 구멍의 직경 3.0mm, 펀치와 다이사이의 클리어런스 1.0mm 그리고 마찰계수는 0.1이다. 소재의 피어싱 공정 해석은 강소성 유한요소법을 통해 진행됐다. 메시의 개수는 200,000개를 사용했으며, 전단이 되는 영역에 대해 메시 가중치를 5배로 설정했다. 또한 피어싱 공정 중 최대 하중이 부여되는 시점에서 소재의 요소를 삭제하는 트리밍 기법을 적용해 피어싱 해석을 진행했다.

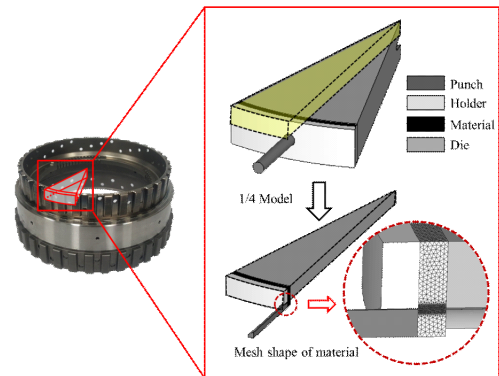


Fig. 4. Concept of Finite element analysis

2.2.3 민감도 분석(sensitivity analysis)

민감도 분석이란 일정한 범위 내에서 설정된 설계 변수들이 변화함에 따라 목적함수에 미치는 영향도를 파악하고자 할 때 사용된다[8]. T. H. Choo는 민감도 분석을 통해 한강수계의 고수 및 저수기 유출모형 매개변수를 최적화 했고[9], Y. K. Son는 민감도 분석으로 다양한 신뢰도 변화율에 대한 샘플링 시점 수 및 추출 샘플 수가 추정방법의 정확성에 미치는 영향도를 평가하여 추정방법의 정확성 향상을 위한 방안을 제시하였다[10]. 목적함수에 대한 설계 변수들의 영향도는 수치적으로 표현되며, 이를 파레토 차트(Pareto Chart)를 통해 나타낸다. 파레토 차트에서 각 변수들의 수치가 클수록 목적함수에 대한 영향도가 크다는 것을 의미한다.

Table 2. Results of finit element analysis

No.	Design variable = X_1, X_2, X_3			Max. Load [N]	roll-over ratio [%]	Function = $Y_1, Y_2, Y(\text{simulation})$		
	X_1	X_2	X_3			Y_1	Y_2	$Y(\text{simulation})$
	Die Clearance [mm]	Shear angle [°]	Fric. Coef. [-]			Normalized Max. Load [-]	Normalized roll-over ratio [-]	$Y[-] = \frac{Y_1 + Y_2}{2}$
1	0.05	0	0.05	1348.8	8.555	0.9518	0.9798	0.9658
2	0.15	0	0.05	1399.0	8.731	0.9872	1.0000	0.9936
3	0.05	30	0.05	1237.4	4.866	0.8732	0.5573	0.7152
4	0.15	30	0.05	1260.8	4.845	0.8898	0.5549	0.7223
5	0.05	0	0.15	1411.8	8.375	0.9963	0.9592	0.9778
6	0.15	0	0.15	1417.0	8.631	1.0000	0.9885	0.9942
7	0.05	30	0.15	1270.8	5.951	0.8968	0.6815	0.7892
8	0.15	30	0.15	1315.5	5.556	0.9283	0.6363	0.7823

설계 변수는 펀치의 전단각도(shear angle), 펀치와 다이 사이의 클리어런스(die clearance), 마지막으로 마찰계수(friction coefficient)를 설정했고, 이를 Fig. 5에 나타냈다. 설정된 설계 변수에 의해 펀치의 하중(Max. Load)과 소재에서 발생하는 처짐량(roll-over ratio)에 대한 영향도를 파악했다. 펀치의 최대 하중과 소재의 처짐량을 동시에 최소화하기 위해 각각의 값을 정규화(Normalization)를 통해 나타냈다. 또한, 정규화된 하중(Normalized Max. Load, Y_1)과 처짐량(Normalized roll-over ratio, Y_2)합의 평균을 새로운 목적함수($Y(\text{simulation})$)로 설정했다. 수치의 정규화는 하중 및 처짐량의 결과에서 가장 큰 수치의 값을 각 case 결과 값에 나눠 얻을 수 있다. 설계 변수는 최대, 최소로 총 2개의 수준을 통해 요인배치를 진행했으며, $2^3 = 8$ 번의 유한요소해석을 수행해 민감도 분석을 진행했다. 총 8번의 유한요소해석을 통해 얻은 데이터와 민감도 분석의 결과를 각각 Table 2와 Fig. 6에 정리했다. 설계 파라미터를 2수준으로 설정하는 경우, 일반적으로 설계 파라미터의 선형효과를 파악하는 경우에 쓰인다. 큰 값과 작은 값으로 이루어진 구간을 탐색하거나 설계 파라미터의 비선형성(곡률효과)을 확인할 때 3수준을 사용한다. 본 연구에서는 각 설계 파라미터의 비선형성을 고려하지 않기 때문에 설계 파라미터의 수준은 2 수준으로 설정하였다. 새로운 목적함수에 대한 민감도 분석은 각 설계 변수들의 교호작용을 포함해 진행되었다. 민감도 분석 결과 목적함수에 대해 전단각도의 민감도가 72.7%로 가장 민감하게 작용했고, 그다음 마찰계수, 전단각도와 마찰계수의 교호작용, 다이 클리어런스, 다이 클리어런스와 전단각도의 교호작용, 마지막으로 다이 클리어런스와 마찰계수의 교호작용 순서대로 10.5%, 8.7%, 3.2%, 3.1%, 1.8%로 민감하게 작용했다.

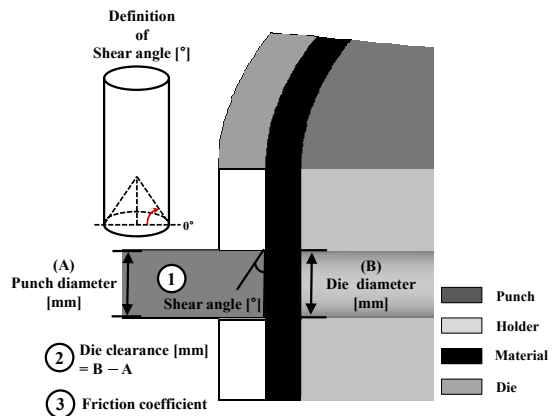


Fig. 5. Piercing die geometry and design variables

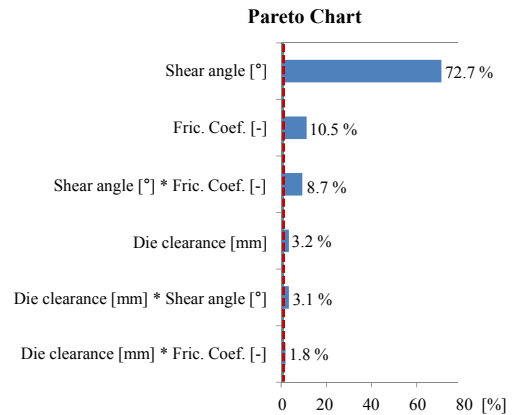


Fig. 6. Results of sensitivity analysis

2.2.4 반응표면법(Response Surface Method, RSM)

민감도 분석을 통해 각 설계변수들이 목적함수에 대해 영향을 미치는 것을 확인했다. 이를 통해 목적함수와 설계 변수들의 함수적인 관련성을 알아내고자 수학적 모형

Table 3. Comparison of simulation and RSM

Design variable = X_1, X_2, X_3						Object Function = $Y_1, Y_2, Y(\text{simulation}), Y(\text{RSM})$			
	X_1	X_2	X_3			Y_1	Y_2	Y	
No.	Die Clearance [mm]	Shear angle [°]	Fric. Coef. [-]	Max. Load [N]	rollover ratio [%]	Normalized Max. Load [-]	Normalized roll-over ratio [-]	Y (simulation) [-]	Y (RSM) [-]
1	0.05	0	0.05	1348.82	8.555	0.9427	0.9798	0.9613	0.9559
2	0.15	0	0.05	1399	8.731	0.9778	1	0.9889	0.9899
3	0.05	30	0.05	1237.4	4.866	0.8648	0.5573	0.7111	0.7037
4	0.15	30	0.05	1260.87	4.845	0.8812	0.5549	0.7181	0.7177
5	0.05	0	0.15	1411.89	8.375	0.9868	0.9592	0.9730	0.9559
6	0.15	0	0.15	1425.82	8.505	0.9965	0.9741	0.9853	0.9753
7	0.05	30	0.15	1270.84	5.951	0.8882	0.6816	0.7849	0.7664
8	0.15	30	0.15	1315.45	5.556	0.9194	0.6364	0.7779	0.7659
9	0.0159	15	0.1	1366.73	5.51	0.9552	0.6310	0.7931	0.8136
10	0.1841	15	0.1	1321.65	6.562	0.9237	0.7515	0.8376	0.8418
11	0.1	0	0.1	1430.82	8.225	1	0.9420	0.9710	0.9922
12	0.1	40.23	0.1	1113.87	4.97	0.7785	0.5692	0.6739	0.6913
13	0.1	15	0.0159	1343.2	6.339	0.9388	0.7260	0.8323	0.8312
14	0.1	15	0.1841	1348.71	6.541	0.9426	0.7492	0.8459	0.8717
15	0.1	15	0.1	1350.23	7.042	0.9437	0.8066	0.8751	0.8721
16	0.1	15	0.1	1350.23	7.042	0.9437	0.8066	0.8751	0.8721
17	0.1	15	0.1	1350.23	7.042	0.9437	0.8066	0.8751	0.8721
18	0.1	15	0.1	1350.23	7.042	0.9437	0.8066	0.8751	0.8721
19	0.1	15	0.1	1350.23	7.042	0.9437	0.8066	0.8751	0.8721
20	0.1	15	0.1	1350.23	7.042	0.9437	0.8066	0.8751	0.8721

을 가정하는 방법을 회귀분석(regression analysis)이라고 한다[11]. 이러한 회귀분석을 통해 설정된 설계 변수 범위 내의 목적함수의 경향을 예측할 수 있다. 회귀 분석을 통해 얻은 예측 값이 Y , 설계 변수가 X , 회귀 계수가 b , Y 절편이 b_0 라고 할 때, 일반적인 선형 회귀모델은 식 (2)와 같다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + L + \beta_k X_k \quad (2)$$

반응표면법(Response Surface Method, RSM)은 일반적인 선형 회귀모델보다 더 좋은 반응의 근사치를 만들기 위해 곡선 형태의 회귀모델을 도출해 오차를 줄일 수 있는 회귀 분석 방법이다. 이러한 반응표면법에서 일반적으로 사용되는 함수모델은 식 (3)과 같다.

$$Y(RSM) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j \quad (3)$$

본 연구에서는 다이 클리어런스 and 전단각도, 마찰계수를 설계 변수로 하여 각 X_1, X_2, X_3 로 나타냈으며, 이를 중심합성계획법을 통해 Full factorial로 성형해석을 진행했다. 유한요소해석 결과를 Table 3에 정리했으며, 이를 통해 얻어진 반응표면법의 회귀 모델을 식 (4)에 나타냈다.

$$Y(RSM) = 0.8662 + 1.669X_1 - 0.009749X_2 + 0.657111X_3 - 6.275X_1^2 + 0.000021X_2^2 - 2.916X_3^2 - 0.00666X_1X_2 - 1.467X_1X_3 + 0.020908X_2X_3 \quad (4)$$

반응표면법을 통해 얻어진 회귀분석의 결과와 유한요소해석으로부터 얻어진 결과를 Fig. 7을 통해 나타냈다. 두 데이터의 평균적인 오차는 1.07%로 매우 작은 오차를 보이며, 이 오차는 피어싱 공정에서 설정한 설계 변수 외에 펀치의 속도, 블랭크 홀터력 등 다른 변수를 고려하지 않았기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

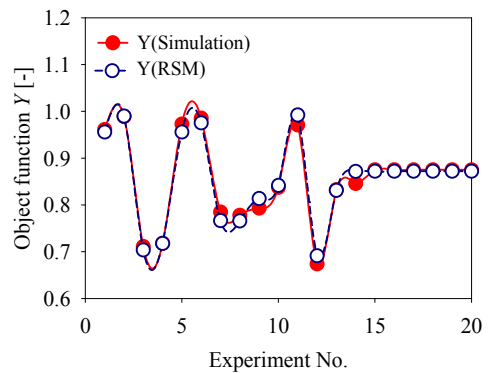


Fig. 7. Results of regression analysis using RSM

2.2.5 구속조건 및 최적설계 조건

펀치의 파손 및 마모 등의 문제는 성형공정 중 발생하는 펀치에 대한 최대 주응력과 최대 하중에 의해 발생한다. 하중이 크고, 펀치가 받는 주응력이 클수록 펀치의 파손과 마모의 위험도가 증가한다. 따라서, 반응표면법을 통해 얻은 새로운 회귀모델의 최적설계조건을 얻기 위해서 구속조건을 펀치가 받는 주응력과 하중, 치짐량의 관계를 통해 설정했다. 마찰계수는 실제 현장에서 특정 값을 지정하기 어렵고, 작은 범위 사이에서 바꾸기 어렵기 때문에, 기존 설계와 동일한 값인 0.1로 고정했다. Fig. 8은 다이 클리어런스가 0.1mm이고, 마찰계수가 0.1 일 때 전단각도에 대한 펀치의 주응력과 하중의 관계를 정규화하여 나타낸 그래프이다. 그래프 상에서 펀치의 하중은 전단각이 커질수록 감소하며, 주응력은 증가하게 된다. 따라서, 두 곡선이 교차하는 지점의 경우를 최대 전단각도로 설정했다. 이 때 교차점에서의 펀치 최대 전단각도는 26.68°이지만, 이는 실제 가공하기 어려우므로 본 연구에서는 25°를 펀치의 최대 전단각도로 설정했다.

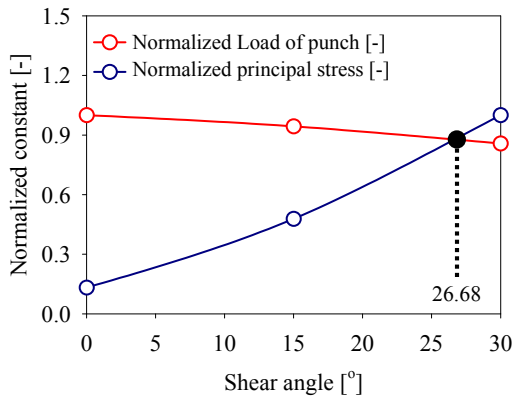


Fig. 8. Relationship between normalized punch load and normalized principal stress

Fig. 9는 펀치의 최대 전단각도가 25°이며, 마찰계수가 0.1일 때, 펀치의 주응력과 소재 치짐량의 관계를 나

타낸 그래프이다. Fig. 8에서 얻은 결과로부터 최대 전단각도를 25°로 설정했고, 이를 통해 다이 클리어런스의 구속조건을 설정했다. 그 결과 다이 클리어런스는 약 0.086 ~ 0.15mm 사이의 값으로 구속조건이 설정되었으며, 다이 클리어런스가 크면 클수록 치짐면의 비율과 주응력이 증가하므로, 그래프의 교차점인 다이 클리어런스가 0.086mm 일 때를 최적의 조건으로 설정했다.

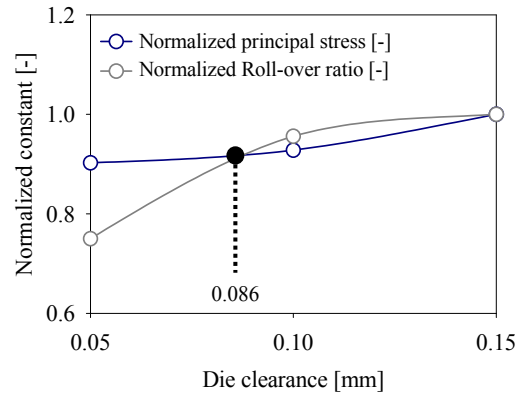


Fig. 9. Relationship between principal stress of the punch and roll-over ratio

Fig. 10은 펀치의 최대 전단각도를 25°로 고정시켰을 때 얻을 수 있는 반응표면법의 3차원 그래프이다. 그래프의 X축은 마찰계수, Y축은 다이 클리어런스, Z축은 반응표면법에 의한 목적함수(Y(RSM))이다. Fig. 8과 Fig. 9에 의해 설정된 구속조건(최대 전단각도 = 25°, 다이 클리어런스 = 0.086mm, 마찰계수 = 0.1)을 그래프 상에 나타냈다. 반응표면법을 통해 최적설계조건을 설정했을 때 얻어지는 목적함수의 값은 0.795로 예측되었으며, 실제 유한요소해석에서 얻어진 결과는 0.756으로 유사한 결과를 얻을 수 있었다. Table 4는 유한요소해석과 반응표면법을 통한 최적 설계조건의 목적함수를 기존 설계조건과 비교한 결과이다. 기존 설계 조건(다이 클리어런스 = 0.1mm, 전단 각도 = 0°, 마찰계수 = 0.1)에

Table 4. Results of object function comparison of origin condition and optimum design condition

case	Design variable = X_1, X_2, X_3			Object Function = $Y_1, Y_2, Y(\text{simulation})$		
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	$Y(\text{simulation})$
	Die Clearance [mm]	Shear angle [°]	Fric. Coef. [-]	Normalized Max. Load [-]	Normalized roll-over Ratio [-]	$Y = \frac{Y_1 + Y_2}{2}$
Origin	0.1	0	0.1	1	0.9420	0.9710
Optimal	0.086	25	0.1	0.8927	0.6192	0.7560 (22.14% ↓)

서 유한요소해석의 목적함수의 값은 0.971로 반응표면법을 통한 최적 설계조건으로 얻어지는 목적함수와 비교했을 때 약 22.14%가 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

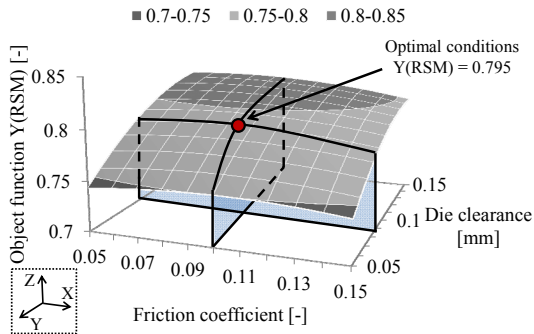


Fig. 10. Relationship between principal stress of the punch and roll-over ratio

3. 결론

본 연구에서는 허브클러치 제품에 대해 피어싱 공정 중 펀치에 가해지는 하중 및 소재 처짐량을 최소화하고자 했다. 피어싱 공정 중 펀치의 처짐량에 영향을 줄 수 있는 다이 클리어런스(die clearance)와 전단각도(shear angle), 그리고 마찰계수(friction coefficient)를 설계 변수로 설정했다. 또한 펀치의 하중과 소재 처짐량에 대해 각 설계 변수들의 영향도를 확인하기 위해 민감도 분석(sensitivity analysis)을 진행했다. 그 결과 전단 각도, 마찰계수, 다이 클리어런스 순으로 하중 및 처짐량에 대해 민감한 것으로 조사되었다. 이를 통해 펀치의 하중과 소재 처짐량을 동시에 만족시키는 목적함수를 설정하고 반응표면법(Response Surface Method, RSM)을 통해 각 설계변수들과 목적함수의 방정식을 도출했다. 이를 통해 설정된 설계변수들의 최적 값을 도출해 유한요소해석에 적용해 최적 설계를 진행한 결과 펀치의 하중 및 소재의 처짐량이 기존 설계의 값과 비교했을 때 22.14% 개선됨을 확인했다.

4. 후기

이 논문은 산업통상자원부의 한국산업단지공단에서 지원하는 2018년도 산업집적지 경쟁력강화사업(No. G12RBS180070001)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] D. H. Ko, S. K. Lee, Y. N. Kwon, S. W. Kim, H. S. Lee, E. S. Park, B. M. Kim, "Roll Die Forming Process for Manufacturing Clutch Hub in Automotive Transmission", *Transactions of Materials Processing*, Vol.20, No.2, pp.154-159, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5228/kstp.2011.20.2.154>
- [2] S. G. Kim, Y. C. Park, J. H. Park, "Optimization of Pre-form for Manufacturing of Automobile Drum Clutch Hub Products Using Taguchi Method", *Journal of the Korean Society of manufacturing Process Engineers*, Vol.9, No.6, pp.101-108, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1166/asl.2012.3862>
- [3] J. H. Park, S. G. Kim, J. H. Kang, Y. C. Park, S. H. Kim, S. R. Seo, K. H. Park, "Preform Design for Manufacturing of Automobile Drum Clutch Hub Products", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol.25, No.12, pp.33-38, 2008.
- [4] J. M. Lee, B. M. Kim, C. G. Kang, "A study on the cold ironing process for the drum clutch with inner gear shapes", *International Journal of machine Tools & Manufacture*, Vol.46, pp.640-650, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iimachtools.2005.07.027>
- [5] H. -C. Wu, T. Altan, "Process optimization in stamping - a case study for flanging a clutch hub from steel plate", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 146, pp.8-19, 2004.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00839-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00839-2)
- [6] E. Taupin, J. Breiting, W. -T. Wu, T. Altan, "Material Fracture and burr formation in blanking results of FEM simulations and comparison with experiments", *Journal of materials Processing Technology*, Vol. 59, pp.68-78, 1996.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136\(96\)02288-1](http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136(96)02288-1)
- [7] AFDEX_V18, User Manual, 2018.
- [8] R. V. Lenth, Quick and easy analysis of unreplicated factorials, *Technometrics*, Vol.31, No.4 pp.467-473, 1989.
- [9] T. H. Choo, S. J. Maeng, C. Y. Ok, K. H. Song, "Sensitivity Analysis for Parameter of Rainfall-Runoff Model During High and Low Water Level Season on Ban River Basin", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 9, no. 5, pp. 1334-1343, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.5.1334>
- [10] Y. K. Son, J. H. Ryu, "Sensitivity analysis of reliability estimation methods for attribute data to sample size and sampling points of time", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 12, no. 2, pp. 581-587, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.2.581>
- [11] M. Sato-Ilic, "Knowledge-based comparable predicted values in regression analysis", *Procedia Computer Science*, Vol.114, pp.216-223, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.063>

구 본 준(Bon-Joon Gu)

[정회원]



- 2014년 3월 ~ 현재 : 국립공주대
금형설계공학과 재학 중

〈관심분야〉

금속 판재성형 및 단조성형 해석

홍 석 무(Seok-Moo Hong)

[종신회원]



- 1999년 2월 : 서강대학교 기계공
학과 (기계공학 학사)
- 2001년 2월 : 서강대학교 기계공
학과 (기계공학 석사)
- 2007년 3월 : Technical University
of Munich, Germany, Department
of Mechanical Engineering(기
계공학박사)

- 2007년 4월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 GTC, 수석연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 공주대 기계자동차공학부 교수

〈관심분야〉

금속 판재성형 및 단조, 유한요소해석, 최적 설계