

다구찌 실험법에 의한 프레스 커터의 최적설계

김청균[†] · 한주현

홍익대학교 트라이볼로지연구소

Optimized Design of a Press Cutter by a Taguchi's Experimental Method

Chung Kyun Kim[†] and Joo Hyun Han

Tribology Research Center, Hongik University, 72-1 Sangsoo-Dong, Mapo-Ku, Seoul 121-791, KOREA

Abstract – The press cutter is productive equipment that practically manufactures mechanical components and polymer-based materials such as fabrics, papers, films, leathers, and rubbers into the desired shapes using a press cutting tool. The plate cutting process is one of the primary energy absorbing mechanisms in a grounding or collision event between a press cutter and a material on a die. The cutting mechanism is complicated and involves plastic flows of a plate in the vicinity of the tip, friction between the wedge and the plate, deformation of the plate. In this paper, we studied the effect of friction between cutter and plastic sheet for producing precise and superior products. In this paper, the press cutter is analyzed numerically using MARC finite element program for a optimization design of a press cutter. The FEM computed results show that the maximum von Mises stress is concentrated on the tip of a press cutter, which may lead to the edge wear or impact wear of the sharp cutter. Based on the FEM result and Taguchi's experimental design method, the optimized design model 9 for a press cutter is recommended as a best one.

Key words – press cutter, Taguchi's experimental method, polymer sheet, FEM.

1. 서 론

메탈이나 폴리머 판재를 정해진 규격으로 균일하게 절단하기 위해 프레스 절단기(press cutting machine)를 사용하는데, 절단기의 상부에는 왕복운동을 하는 펀치가 있고, 그 아래에는 다이가 있어 특별한 형상의 제품을 제작하게 된다. 프레스 커터로 판재를 절단하게 되면, 일정한 형상을 갖는 제품을 신속하게 대량으로 생산할 수 있으며, 커터와 판재의 특성에 따라서는 절단면의 가공 정밀도를 우수하게 유지할 수도 있다.

프레스 절단가공은 펀치와 다이의 간극을 조절하여 금속을 비롯한 종이, 직포, 가죽, 고무, 폴리머 등으로 제조된 판재를 일정한 규격에 적합하도록 제작된 금형을 사용하여 유압으로 눌러서 절단하는 가공작업이다.

판재가 절단된다는 것은 절단하고자 하는 판재의 특정부위에 커터의 선단부가 선접촉을 하는 순간에 전단력을 집중시켜 판재가 직선 또는 곡선으로 절단공이 진행된다는 의미이다. 이때에 커터가 선접촉하는 판재의 표면에 가해진 집중하중, 즉 절단력이 소재를 절단하는데 필요한 에너지로 모두 소비되면 소재는 두개 또는 그 이상으로 절단된다. 소재가 절단되는 가공공정은 단순하지만, 커터와 소재가 접촉하는 과정에서 커터가 손상되어 수명을 단축하거나, 커터가 국부적으로 변형되어 제품의 절단 가공성이 떨어져 불량품이 발생하는 등의 문제점을 경험하게 된다.

정밀가공 제품에서 대표적인 불량 사례로 버(burr)를 지적할 수 있다. 버는 보통 소재의 절단이나 전단작업에서 소재의 소성유동 결과로 형성된 재료의 바람직하지 않은 돌출물이다. 따라서 정밀가공을 요하는 주요부품은 버제거(deburring), 다듬질(finishing) 등의 추가작

[†]주저자 · 책임저자 : cckim@wow.hongik.ac.kr

업을 필요로 한다. 가공제품에서 버의 제거공정은 가공시간과 가공비가 지수함수로 증가하는 것으로 알려졌다. 따라서 버가 발생하는 원인을 제거하고, 가공표면의 정밀도를 확보하는 가공기술은 대단히 중요하다[1]. 따라서 프레스 커터로 소재를 절단하는 과정에서 발생하는 미세한 버는 제품의 생산성과 품질을 떨어뜨리는 핵심요인으로 이에 대한 기술개발이 중요하다.

폴리머 소재를 프레스로 가공할 때 발생하는 공구의 마멸은 상대재인 폴리머 소재의 상대운동에 의한 침식에 기인한다. 연삭에 의한 마멸발생은 플라스틱 가공에서 원자나 분자단위로 매우 미세하다. 폴리머 소재가 프레스에 의해 압축되면 절단소재에는 탄성변형이 발생하고, 마치 유동고체처럼 거동하며, 국부적으로 마멸로 인한 소재의 탈락은 고체표면의 국부적인 마찰접촉 압축작용에 의해 발생된다[2,3].

커터를 제작하기 위해서 고려되어야 설계조건인 제품의 가공 정밀도에 연결된 커터 선단부의 각도, 주어진 사용조건에 안전한 커터 몸체의 강성도, 커터 인선부의 내마멸성 유지를 위한 경도유지 등을 사용조건에 적합하도록 설계하는 작업은 절단제품의 가공 정밀도와 커터의 내구성 유지 측면에서 대단히 중요하다.

따라서 본 연구에서는 커터의 형상조건이 제품의 생산성, 가공 정밀도, 내구성 등에 미치는 영향을 고려하여 커터의 최적형상을 다구찌(Taguchi) 실험적 설계법[4]으로 해석하고자 한다. 해석결과는 커터의 사용조건에 적합한 최적의 커터 형상을 설계할 수 있는 데이터를 제공할 수 있다. 결국 커터 설계자와 절단제품 제작자는 커터의 내구성에 관련된 커터의 형상과 절단제품의 가공 정밀도에 관련된 응력, 변형거동 특성 등에 큰 관심을 갖게 된다.

2. 해석 방법

2-1. 해석모델

본 연구는 다구찌의 설계법을 이용하여 프레스 커터의 형상을 최적의 조건으로 설계인자를 도출하는데 필요한 커터의 응력과 변형률을 유한요소법으로 해석하고자 한다.

Fig. 1에서 커터는 날카로운 선단부를 갖는 웨지형상으로 고경도 소재로 제작된다. 커터의 선단부 아래에는 절단되어야 하는 소재를 놓고 상부의 커터를 하 방향으로 이송하면 평판소재는 순간적으로 절단된다. 커터가 소재를 절단하는 과정에서 커터의 선단부에 대

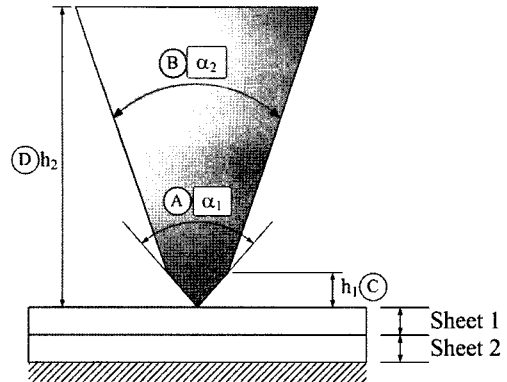


Fig. 1. Cutter model and design parameters for a optimization using Taguchi method.

한 접촉응력과 변형력을 고찰하기 위해 MARC[5] 유한요소해석 프로그램을 사용하였고, 커터 구조물의 안전성과 소재의 절단성도 점검하였다.

커터모델의 거동특성을 해석하기 위해 Fig. 1에서 보여준 것처럼, 강체로 제작된 평면위에 PET(Polyethylene Terephthalate) 폴리머 판재 2장을 올려놓고, 상부에서 내려오는 커터의 절단력에 의해 소재가 절단되는 작업에 대한 설계인자를 도출하고자 한다. 커터에 대한 최적의 설계조건을 도출하기 위해, 본 연구에서는 다구찌법의 $L_9(3^4)$ 형 직교 배열표에 의거 유한요소 해석모델 9개를 선정하여 해석하였다.

2-2. 다구찌 설계법

다구찌 설계기법은 실험과 설계의 최적조건을 결정하는 기준은 특성치의 산포도로 결정하는데, 특성치의 산포도가 가장 적은 실험조건으로 설계 파라미터의 최적조건을 결정한다. 이때에 특성치의 산포도는 SN값에 의해 알 수 있다.

절단의 핵심요소인 커터가 받는 응력이나 변형률을 상대소재에 대한 절단 정밀도 관점에서 고찰할 경우, 특성치는 작을수록 좋다고 생각되는 SN값을 사용하는 망소특성을 적용하였다. SN값이 큰 경우가 그때의 설계 파라미터들이 응력과 변형의 영향으로 인한 수명, 정밀도를 향상시키는데 효과적이다. 커터가 소재와 접촉하여 절단하는 과정에서 발생하는 응력과 변형, 즉 수명관점에서 망소특성을 사용하게 된다. 결국, 커터에 걸리는 응력이 클수록 상대 절단소재를 절단하는 과정에서 커터에 미치는 힘의 영향이 증가되므로 커터의 변형은 크게 발생한다. 커터의 변형이 클수록 절단소

재의 정밀도는 물론이고, 작업 효율성도 떨어지게 되어 생산성은 떨어진다. 소재의 절단 정밀도 관점에서 고찰하면, 커터의 선단부에서 방향으로 발생된 변위가 증가할수록 상대소재의 절단면은 거칠어지고, 동시에 치수가 부정확해지는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 SN값을 사용하여 커터의 설계 파라미터들이 커터의 최적설계에 미치는 영향을 간이분석법으로 고찰하고, 각각의 파라미터들이 특성치에 미치는 기여율을 계산하여 분석하였다.

2.3. 설계 파라미터와 직교 배열표

커터의 최적설계에 사용된 파라미터는 Fig. 1에서 제시한 커터의 선단부 각도(α_1), 커터의 상단부 각도(α_2), 커터의 선단부 높이(h_1), 커터의 전체높이(h_2)로 지정하여 커터형상을 변화시켰다.

Table 1과 같이 4개의 설계 파라미터들은 각각 3개의 수준(levels)으로 설계하였다. 이와 같이 총 4개의 파라미터를 3수준으로 나누어 3수준계 직교 배열표인 $L_9(3^4)$ 형을 사용하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

2.4. 해석조건 및 물성치

프레스 커터는 PET 판재에 980.7 MPa의 절단압력

Table 1. Factors and levels for Taguchi analysis

	Factors			
	A(α_1): deg(°)	B(α_2): deg(°)	C(h_1):mm	D(h_2):mm
Levels	1	2	3	4
	30	25	0.8	2.5
	40	40	1.0	3.0
	50	55	1.2	3.5

Table 2. Analysis layout of orthogonal array table of $L_9(3^4)$

Analysis No.	Factors			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

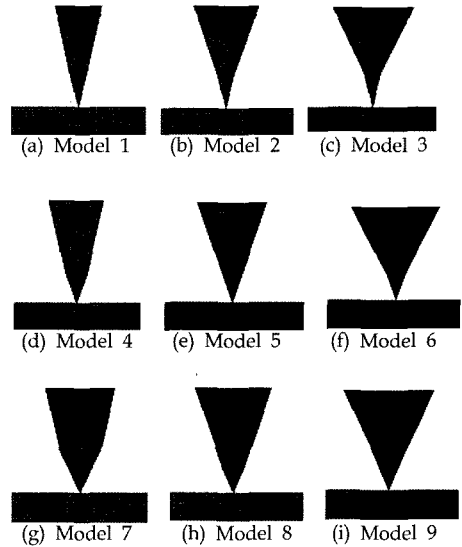


Fig. 2. Cutter FE models for Taguchi design and finite element mesh.

을 가한 상태에서 분당 40 cycles의 이송속도로 판재를 절단할 경우, 커터에 걸리는 응력과 변형률에 대한 해석을 수행하였다.

프레스 커터의 변형거동과 응력을 해석하기 위해 Fig. 2에서 제시한 9개의 커터형상 모델에 대하여 다구찌 설계기법을 적용하였다. 해석 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 프레스 커터의 표준작동 모델로 제시한 데이터는 절단 판재의 200 mm 상단에서 아래로 이송하여 판재를 절단하므로 980.7 MPa의 절단압력을 가할 때의 이송속도는 40 cycles/min, 즉 266.7 mm/s가 된다.

커터는 기계적 강도와 내마멸성을 유지해야 하므로 합금공구강 SKD11을 열처리하여 사용한다. 절단용 판재로 사용한 소재는 OHP 필름처럼 단단한 유리섬유가 20% 보강된 PET 소재를 사용하였고, 이들 소재에 대한 물성치는 Table 3에서 제시한다.

Table 3. Mechanical and thermal properties of cutter and sheet materials

Properties	SKD11	PET
Modulus of elasticity, GPa	205	6.7
Density, kg/m ³	7850	1480
Poisson's ratio	0.29	0.39
Ultimate strength, MPa	1795	110
Yield strength, MPa	1515	100

3. 해석결과 및 고찰

프레스 커터에 절단력을 가하게 되면 PET 소재는 절단된다. 이것은 이론적으로 볼 때, 커터의 절단작업에 의해 절단소재에 걸린 응력이 PET 소재의 경우 극한강도 110 MPa를 넘어서는 순간에 PET 소재는 절단된 것으로 판단할 수 있다. 따라서 커터소재에 걸리는 최대 von Mises응력, 최대 변형률, 그리고 커터의 선단부에서 x방향으로 발생하는 변위량 및 커터의 최대 변형률 등을 고찰하였다.

즉, 절단 소재나 커터에 걸리는 최대 von Mises응력, 최대 변형률은 소재의 절단이 진행되기 시작할 때 커터가 받는 응력과 그 때의 변형률을 각각 해석하였다. 커터의 선단부가 x방향으로 변위가 발생하면 커터의 변형량은 나노단위로 대단히 작지만, 절단제품의 가공 정밀도를 떨어뜨리고, 특히 절단과정에서 버(burr)가 발생할 우려가 높아지는 문제로 발전한다. 그러나 커터의 선단부가 y방향으로 변위가 발생하면 절단성이나 정밀도 등에는 문제점이 발생되지 않는다. 따라서 우수한 커터제품을 설계하기 위해서는 커터 선단부에서 발생하는 x방향의 변위량을 적극적으로 억제할 수 있는 선단부 구조물의 크기와 각도가 되도록 최적조건을 선정하여 절단제품의 정밀도를 향상하고, 버가 발생되지 않도록 해야 한다.

다구찌 설계법으로 최적의 형상조건을 선정하기 위해 Fig. 2에서 제시한 9개의 해석모델은 소재에 절단력을 가하여 커터의 선단부를 중심으로 발생된 최대 von Mises응력과 최대 변형률에 대한 FEM 해석결과를 Figs. 3과 4에서 각각 제시하고 있다. 프레스 커터에 작용하는 최대 von Mises응력은 절단소재와 접촉하는 커터의 선단부에서 발생하고 있음을 보여준다. 해석결과에 의하면, 모델 3에서 300 MPa로 가장 높은 응력이 발생하고, 모델 7에서는 234 MPa로 가장 낮은 응력이 걸리는 것으로 해석되었다. 그러나 커터의 항복강도는 1,515 MPa로 이들 결과보다 5~6.5배나 높기 때문에 상기에 제시된 9가지의 해석모델은 모두 안전한 커터라 할 수 있다. 또한 커터의 선단부에서 x방향으로 발생한 최고 변위량은 모델 1에서 1.02 nm, 그리고 최저 변위량은 모델 9에서 0.56 nm가 변형되는 것으로 해석되었다.

또한, 커터에 작용하는 절단력과 절단속도에 의해 발생하는 최대 von Mises응력과 최대 변형률을 FEM으로 해석한 결과를 제시한 Figs. 3~5에 의하면, 커터에

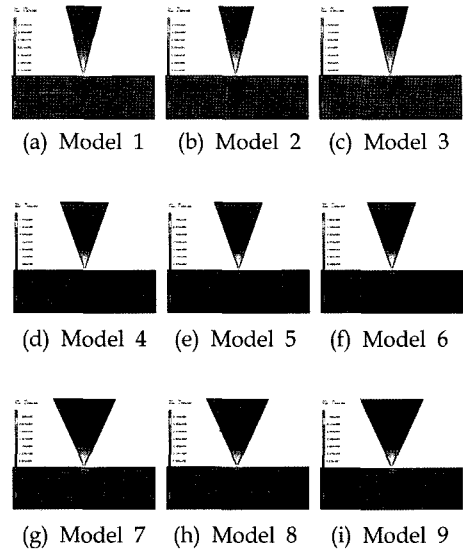


Fig. 3. von Mises stress distributions of a press cutter against a PET sheet with an ultimate strength of 110 MPa.

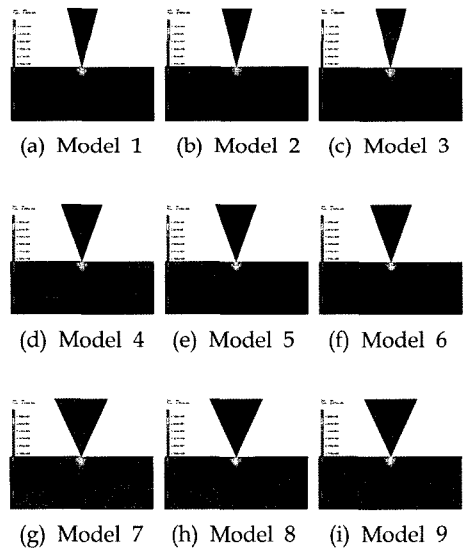


Fig. 4. Equivalent total strain distributions of a PET sheet with an ultimate strength of 110 MPa against a press cutter.

작용하는 최대응력과 최대 변형률은 커터의 선단부에서 발생하고 있음을 보여주고 있다. 또한, 커터의 선단부에 걸리는 응력과 변형률은 커터 선단부의 형상에 따라 크게 달라지고 있다. 즉, Fig. 2의 해석모델 7~9는 커터의 몸체와 선단부의 형상이 약간 두껍지만 완만한 경사를 가진 커터이고, 모델 1~3은 상대적으로

Table 4. Maximum von Mises stress, displacements in the x and y directions of a press cutter, and maximum equivalent total strain of a PET material using a Taguchi design method and a FEM

Model No.	Press cutter			PET
	Max. von Mises stress [MPa]	Displ. in x -dir ($\times 10^{-10}$) [m]	Displ. in y -dir. ($\times 10^{-8}$) [m]	Maximum equivalent total strain
1	299.095	-10.1811	-1.72133	0.0114336
2	299.769	-7.76734	-1.72336	0.0114352
3	300.253	-6.01746	-1.72458	0.0114363
4	262.921	-8.3625	-1.72295	0.0114348
5	263.107	-6.97945	-1.72369	0.0114355
6	263.477	-5.71855	-1.72469	0.0114364
7	234.376	-7.15237	-1.72364	0.0114354
8	234.638	-6.12247	-1.72446	0.0114362
9	234.714	-5.55115	-1.72466	0.0114363

얇은 몸체와 예리한 선단부를 갖기 때문에 높은 응력과 큰 변형률을 나타내고 있다. 또한, 해석모델 4~6은 이들 두 가지 커터의 중간적 형상이 되도록 수정한 해석모델이다. 따라서 응력과 변형률 측면에서 프레스 커터를 설계하려면 최저응력과 최저 변형률을 유지할 수 있는 모델 7~9에서 선정하는 것이 바람직함을 보여준다.

커터의 몸체와 선단부 형상이 완만하게 설계한 모델 7~9에서, 모델 7이 더 작은 응력과 변형률 결과를 제시한다. 이러한 FEM 결과는 커터의 몸체부가 다른 모델에 비하여 각도가 작고, 즉 두께가 두껍고 전체 높이도 낮기 때문에 타 모델에 비하여 커터 선단부로 갈수록 구조 안정성이 우수하므로 응력분산도가 높아지고, 변형률이 줄어드는 효과를 기대할 수 있는 것이다. Table 4에서는 FEM 해석과 다구찌 설계법으로 계산된 결과를 제시하고 있다. Table 4와 Fig. 5에 의하면, 커터모델 7의 최대응력은 234.4 MPa로 모델 3의 최대 응력 300.3 MPa에 비하여 21.9%나 줄어든 최대응력을 나타낸다. 이들 응력값은 SKD11의 항복강도 1,515 MPa의 15.5~19.8% 수준으로 대단히 안정적으로 진행된 설계이다. 따라서 커터의 선단부에 집중된 응력을 기준으로 해석한 결과를 고찰하면, 해석모델 7이 가장 우수한 모델이지만, 모델 8과 9도 유사한 해석결과를 보여주고 있다.

또한, 커터의 선단부에 걸리는 변형률은 커터의 선단부와 몸체가 완만하게 축소된 형상을 갖는 해석 모델 7~9가 비교적 얇은 두께를 갖는 모델 1~3에 비하여 우수한 해석결과를 제시하고 있다. 즉, 커터의 선단부에 걸리는 하중이 비교적 고르게 분포하기 때

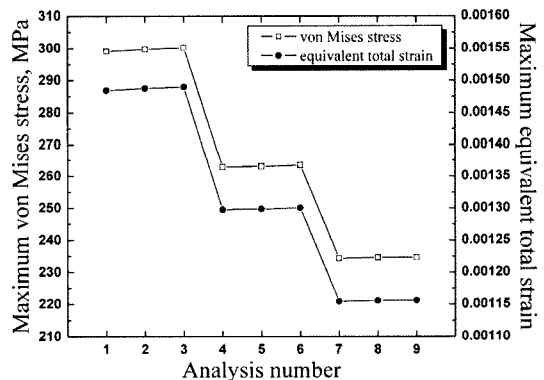


Fig. 5. Maximum von Mises stress and Max. equivalent total strain of a presser cutter models as functions of a cutter model number using a Taguchi's experimental method.

문에 넓은 면적을 보유한 모델 7~9에서 특히 작은 변형률이 나타났다. 이것은 커터의 변형량이 작다는 것으로 절단과정에서 소재의 가공 절단면이 우수해진다는 것이다.

Fig. 6에서 해석모델 9는 다른 커터 모델에 비하여 x 방향의 변위량이 가장 작게 나타났다. 이는 커터 상단부의 몸체가 다른 모델에 비해 약간 두껍고 선단부의 전체 길이가 작기 때문에 변형거동이 작다는 결과를 제시한다. 커터 선단부에서 x 방향으로 발생된 최소 변형량이 0.56 nm인 해석모델 9는 1.02 nm로 계산된 해석모델 1에 비하여 45.5% 정도나 줄어든 x 방향의 변형량을 나타낸다. 결국, 모델 9에 의해 절단된 PET 판재는 선단부의 정밀도가 상대적으로 우수한 제품일

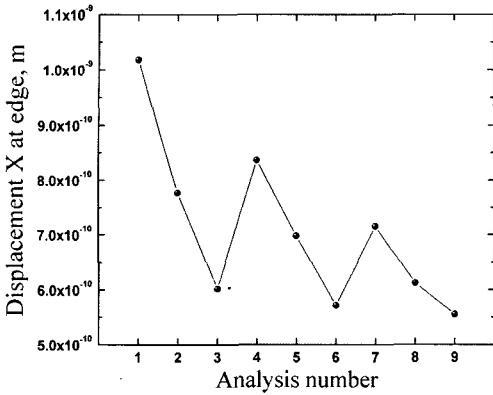


Fig. 6. Displacement in the x-direction at the edge of a press cutter as functions of a model number using a Taguchi's experimental method.

것이라 생각된다. 여기서 커터는 SKD11의 특수강재료 탄성 변형률 이내로 충분히 안전한 설계를 하기 때문에 커터에 걸리는 응력과 변형률은 항상 안정적이다.

Table 5는 커터의 해석모델 9가지에 대한 SN값을 요약한 결과이다. 커터의 강도와 수명 관점에서 고찰하면, 커터가 받는 응력과 변형률이 가장 낮은 모델 7이 SN값을 크게 제시하였으므로 가장 우수한 데이터로 판단된다. 또한, 절단소재 PET를 정밀하게 가공할 수 있는 모델은 x방향 변위의 SN비가 가장 큰 모델 9가 우수한 것으로 여겨진다. 또한, 절단 깊이를 나타내는 y방향의 변위는 모델 6이 가장 크지만 거의 차이가 없으므로 어느 모델을 사용해도 좋다는 결과를 나타낸다.

Table 5. S/N ratios for a von Mises stress, equivalent total strain, and displacements in the x and y directions of a press cutter.

Analysis No.	von Mises Stress	Equivalent total strain	Displ. in-x dir.	Displ. in-y dir.
1	-49.516	56.569	179.844	-155.283
2	-49.536	56.550	182.195	-155.272
3	-49.550	56.536	184.412	-155.266
4	-48.397	57.735	181.553	-155.275
5	-48.403	57.729	183.124	-155.271
6	-48.415	57.717	184.854	-155.266
7	-47.398	58.750	182.911	-155.271
8	-47.408	58.741	184.261	-155.267
9	-47.411	58.738	185.112	-155.266

실제로 커터에 의한 절단가공에서 발생하는 변형, 수명과 관련해서는 커터의 선단부를 다시 연삭하여 사용이 가능하므로 필름의 절단 정밀성이 가장 중요한 요소이다. 따라서 모델 9가 가장 우수한 모델이라고 할 수 있다. 왜냐하면 모델 9의 커터의 선단부의 응력과 변형이 모델 7과 거의 차이를 보이지 않으므로 수명 또한 다른 모델들에 비해 우수한 것으로 예상되기 때문이다.

커터에서 발생하는 von Mises 응력, 변형률, 커터 선단부의 x방향과 y방향의 변위에 영향을 미치는 설계 변수들의 수준합과 기여율을 간이분석법으로 계산한 결과를 Table 6~9에서 제시하고 있다. 수준(levels)의

Table 6. Design factors affecting the von Mises stress of a press cutter

	A : α_1	B : α_2	C : h_1	D : h_2	Sum	
Levels	1	-148.60	-145.31	-145.33	-145.33	-584.58
	2	-145.21	-145.34	-145.34	-144.34	-581.25
	3	-142.21	-145.37	-145.35	-145.35	-578.29
Level difference		6.385	0.064	0.012	0.025	6.485
Affecting ratio, %		98.447	0.993	0.180	0.379	100

Table 7. Design factors affecting the equivalent total strain of a press cutter

	A : α_1	B : α_2	C : h_1	D : h_2	Sum	
Levels	1	169.65	173.05	173.02	173.03	688.77
	2	173.18	173.01	173.02	173.01	692.24
	3	176.23	172.99	173.01	173.01	695.24
Level difference		6.575	0.064	0.012	0.025	6.675
Affecting ratio, %		98.496	0.954	0.173	0.377	100

범위는 각 설계변수의 수준합에서 가장 큰 수와 작은 수와의 차이이고, 기여율은 수준 범위의 합에 대한 각 설계변수 수준 범위의 백분율을 나타낸다.

Table 6과 7은 커터에 걸리는 응력과 변형률에 미치는 영향을 분석한 해석결과로, 커터의 선단부 각도와 전체 높이에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 특히, 선단부 각도 α_1 의 영향이 약 98.5%로 거의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 커터의 각도가 작을수록 커터 선단부의 접촉 단면적이 작아지면서 응력은 크게 집중되고, 변형률은 증가하는 사실 때문이다.

커터 선단부의 각도가 클수록 선단부 단면적은 증가하게 되므로 커터에 걸리는 응력은 작아지고, 변형도 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 커터 하단부의 선단부 각도에 따라 응력, 변형률이 민감하게 반응하며, 이것이 수명과 변형률에 직접적인 영향을 미친다는 사실을 의미한다. 그리고 커터 상단부의 각도와 전체 높이의 변화에 따라 응력과 변형률에 영향을 미치는데, 이는 커터의 높이가 클수록 커터의 크기가 커짐으로써 질량이 증가함으로 인해 가압력을 가중시키는 결과를 가져온다. 이에 따라 선단부의 각도가 같더라도 약간의 응력과 변형의 차이가 발생한 것이다.

Table 8과 9는 커터 선단부에서 발생된 x 방향과 y 방향의 변위량에 미치는 영향을 분석한 데이터로, 커터 선단부 각도와 몸체의 상단부 각도에 의해 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히, 상단부 각도 α_2 에 미치는 영향은 45~51%로 대단히 높게 관찰되었다. 이는 상단부 각도가 클수록 커터의 강도가 보강되므로 변형

은 안정되고 커터의 질량은 증가하며, 상부 플레이트와 고정되는 면적이 넓어짐에 따라 상하나 좌우로의 이동은 억제되기 때문이다. 또한 선단부 각도 α_1 에 의한 영향은 26~30%로 두 번째로 크게 작용한다. 이는 선단부 각도가 커지면서 상단부 몸체의 부피를 증가시키는 효과가 있어 질량이 증가하기 때문에 x 방향의 거동이 안정되는 것이다. 즉, x 방향과 y 방향의 변위에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 강도보강과 자중증가로 추가 가압효과가 우수한 정밀성 확보를 가능하게 하는 각도 α_1 와 α_2 라 할 수 있다.

4. 결 론

프레스 커터의 최적화 형상설계를 위해 본 연구에서는 다구찌 설계기법과 FEM을 같이 사용하였다. 커터와 접촉하여 절단작업을 해야 하는 절단소재의 극한강도는 110 MPa을 갖는다. 커터가 절단소재에 접촉하면서 발생하는 절단력 조건은 커터의 최대 von Mises 응력, 최대 변형률과 커터 선단부의 x 방향 및 y 방향의 변위, 그리고 절단소재의 최대 변형률에 대한 해석을 수행하여 최적화 설계변수를 고찰하였다.

커터의 수명측면에서 수행된 FEM 해석결과에 의하면, 커터에 걸리는 응력과 변형률에는 커터 선단부의 각도가 가장 큰 영향을 미치고, 커터의 전체높이가 낮은 모델 7이 선단부 끝에 걸리는 응력과 변형률이 가장 작으므로 우수한 것으로 나타났다. 또한, 절단소재의 가공 정밀도에 미치는 영향을 보면, 커터 선단부의

Table 8. Design factors affecting the displacements in the x direction at the edge of a press cutter

	A : α_1	B : α_2	C : h_1	D : h_2	Sum	
Levels	1	546.45	544.30	548.96	548.08	2187.79
	2	549.53	549.58	548.86	549.96	2197.93
	3	552.28	554.37	550.44	550.22	2207.33
Level difference		5.834	10.070	1.586	2.146	19.637
Affecting ratio, %		29.711	51.281	8.077	10.931	100

Table 9. Design factors affecting the displacements in the y direction at the edge of a press cutter

	A : α_1	B : α_2	C : h_1	D : h_2	Sum	
Levels	1	-465.82	-465.82	-465.81	-465.81	-1863.28
	2	-465.81	-465.81	-465.81	-465.80	-1863.24
	3	-465.80	-465.79	-465.80	-465.80	-1863.21
Level difference		0.018	0.030	0.007	0.012	0.067
Affecting ratio, %		26.359	45.381	10.810	17.450	100

각도와 커터 몸체 상단부의 각도가 가장 크게 나타난 모델 9가 x-방향의 변위량이 가장 작게 나타났으므로 우수한 커터 모델로 사료된다. 결국, 커터에 대한 FEM 해석결과를 기반으로 추정된 최적의 다구찌 설계모델은 7, 8, 9의 어느 것을 선정해도 무리가 없으나, 가공 정밀도 측면에서 모델 9를 선정하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

1. Budinski, K.G., "Tool Wear in Cutting Plastic - Abrasion or Erosion?," *Wear*, Vol. 233-235, pp. 362-371, 1999.
2. Park, I.W. and Dornfeld, D.A., "A Study of Burr Formation Processes Using the Finite Element Method : Part I," *ASME Journal of Engineering Materials and Technology*, Vol. 122, pp.221-228, 2000.
3. Park, I.W. and Dornfeld, D.A., "A Study of Burr Formation Processes Using the Finite Element Method : Part II - The Influences of Exit Angle, Rake Angle, and Backup Material on Burr Formation Processes," *ASME Journal of Engineering Materials and Technology*, Vol. 122, pp.229-237, 2000.
4. 박성현, "현대실험계획법," 민영사, 2003.
5. "MARC user's manual," Ver. K6.1, MARC Analysis Research Co., 1996.