

자동차 좌석벨트의 록 플레이트의 정밀타발 시 성형성 향상을 위한 프로그레시브 공정 및 금형 설계

이상필*, 민병현*, 이관영**, 고영준***, 김철***, 김창호#

(#, *동의대학교, **아스픽, ***부산대학교)

Progressive Process planning and die design to improve the formability in fine blanking of the lock plate in car seatbelt

Sang-Pill Lee*, Byung-Hyun Min*, Kwan-young Lee**, Young-Jun Ko***,
Chul Kim***, Chang-ho Kim#

ABSTRACT

This study improves the formability in fine-blanking the lock plate of car seat belts using a low carbon steel(SM35C) plate. The optimal die design for the forming process is proposed using rules for process planning based on theories and field experiences. The optimal design is analyzed using commercial finite element software in order to solve the fracture problems in the extrusion process. Through the improved layout based on the FEM results, the fracture of the extruded part and the roll over problem are solved. Furthermore, it is demonstrated through the shown from experiments that the extruded part does not break in the modified die.

Key Words : Fine blanking(정밀타발), process planning(공정설계), lock plate(잠금판), layout(레이아웃)

1. 서론

파인 블랭킹(fine-blanking, 정밀타발)은 다이측에 설계된 V-돌기(ring)로 소재를 눌러서 소재의 유동을 억제하고 소재성형 시 소재의 양면을 다이와 이젝터로 압착하여 소재의 변형을 최소화해주기 때문에 깨끗한 전단면을 얻을 수 있는 프레스 가

공 기술이다^[1]. 최근에는 다 단계의 파인블랭킹 공정기술로 더욱 정밀한 부품을 한 번의 공정으로 성형할 수 있게 되었다^[2].

정밀타발 시 블랭킹 다이의 틈새가 작을수록 편 치하중은 증가하고 다이 롤의 폭과 깊이가 감소하게 되어 깨끗한 전단면을 얻을 수 있다^[3-4].

김종덕^[5]등은 정밀타발 시 다이 롤(die roll) 크기를 최소화하기 위해 V-링 위치와 다이 챔퍼(die chamfer) 형상에 따라 두께 방향으로 변화하는 다이 롤 크기 경향을 연구하였다.

김창호^[6-8]등은 자동차 seat recliner의 sector gear의 터짐이 발생하는 엠보싱 공정에서 문제점을 FEM 해석을 통하여 해결하고자 하였다.

Corresponding Author:

Dept. of Mechanical Eng'g, Dong-Eui University, S. Korea

E-mail: chkim21@deu.ac.kr

* : Dept. of Mechanical Eng'g

** : ASPIC Co. S. Korea

*** : RIMT, Pusan Nat'l University, S. Korea

자동차 seat recliner의 lock plate를 정밀타발(fine blanking)할 때 압출부 근처에서 파손되고 롤오버(roll over)현상이 심하게 발생하여 록 플레이트의 치형이 제기능을 다하지 못하는 문제가 발생하였다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하여 록 플레이트의 기능을 향상시키기 위한 프로그레시브 공정설계와 이에 대한 금형설계를 수행하였다. 또한 유한요소해석 및 시제품제작을 통하여 설계된 공정을 검증하였다.

2. 프로그레시브 공정설계

프로그레시브 공정설계를 위한 규칙은 소성역학 이론, 축적된 연구결과, 전문가의 경험적 지식에서 추출된 것으로 블랭크 레이아웃, 스트립 레이아웃, 다이 레이아웃으로 구성되어 있으며 각 레이아웃은 규칙들을 갖고 있다.

2.1 블랭크 레이아웃 규칙

규칙1) 블랭크 레이아웃의 효율은 재료의 이용률(utilization ratio, UR)에 의하여 결정되어지며 아래의 식으로 결정한다.

$$UR = \frac{\text{블랭크의 면적}}{\text{블랭크를 만드는 데 필요한 스톡(stock)의 면적}} \quad (1)$$

규칙2) 블랭크 내부에 있는 구멍 또는 임의의 형상들은 블랭크 레이아웃에 영향을 미치지 않기 때문에 무시한다.

규칙3) 제품의 최외각 여유폭은 박판소재의 두께에 의하여 결정된다.

규칙4) 블랭크 레이아웃 시에는 프레스의 용량이 고려되어진다.

규칙5) 최대의 UR을 가지는 블랭크 레이아웃의 배열된 형상으로 스트립 레이아웃을 거쳐 다이 레이아웃을 수행하며, 간단한 형상의 박판제품은 블랭크 레이아웃의 배열된 형상으로 다이레이아웃을 수행한다.

2.2 스트립 레이아웃 규칙

스트립 레이아웃은 복잡한 제품의 형상에 대해 가공가능성을 검토하여 공정순서를 결정한다. 스트립 레이아웃 설계를 위해 필요한 주요 규칙들은 다음과 같다.

규칙1) 파일럿 구멍이 필요하면 처음 공정에서 피어싱한다.

규칙2) 파인블랭크 형상 가공을 위한 노칭 및 사이드 커팅을 먼저 실시한다.

규칙3) 공정순서는 피어싱, 노칭 순서로 실시한다.

규칙4) 초기 블랭크의 크기는 제품의 표면적과 트리밍 여유를 합하여 결정한다.

규칙5) 초기이송피치는 다음과 같다.

$$L_{pitch} = D_{blank} + BW \quad (2)$$

여기서 D_{blank} 는 초기 블랭크의 크기, BW 는 제품형상간의 여유폭이다.

규칙6) 타발력에 대한 측방력의 비는 가장 가혹한 조건인 0.2로 한다.

규칙6) 트리밍 여유는 제품의 직경 및 높이에 따라 데이터 베이스로부터 결정된다.

규칙7) 제품에 피어싱 내부형상이 존재하면 내부형상을 먼저 가공한다.

규칙8) 각 형상의 주변길이를 계산하여 길이 순으로 번호를 정한다.

규칙9) 형상 사이의 최소거리는 데이터 베이스에서 제시한 값보다 커야한다.

규칙10) 다이측면에 작용하는 면압은 다음과 같다.

$$P_{face} = \frac{F_d}{L_{shear} \times t \times BLR} \quad (3)$$

여기서 BLR은 소재 두께(t)에 대한 버니쉬 길이(a)의 비($\frac{a}{t}$), F_d 는 측방력, t는 소재의 두께, L_{shear} 은 전단길이의 총합이다.

규칙11) 제품의 최외각 여유폭은 박판소재의 두께에 의하여 결정된다.

규칙12) 스트립 레이아웃을 할 때에 제품의 최외각 여유폭을 고려한 후 소재 이송방향을 스트립의 압연방향과 일치시킨다.

2.3 다이 레이아웃

다이 레이아웃은 스트립 레이아웃에서 결정된 공정순서를 바탕으로 금형설계규칙을 적용하여 다이블럭, 펀치 및 스트리퍼 등의 설계 및 표준 부품을 선정한다. 금형 레이아웃 설계를 위해 필요한 주요 규칙은 다음과 같다.

- 규칙1) 정밀타발 성형을 위한 금형과 피어싱 및 노칭을 위한 금형을 분리한다.
- 규칙2) 금형 틈새는 소재 두께와 인장강도를 고려하여 데이터 베이스로부터 결정된다.
- 규칙3) 다이블럭의 두께는 소재의 두께에 따라 데이터 베이스로부터 결정된다.
- 규칙4) 펀치의 길이는 스트리퍼 플레이트 두께, 펀치 홀더 두께, 펀치 진입량 및 재연삭량을 합한 값보다 커야한다.
- 규칙5) 펀치의 길이는 좌굴에 의한 한계값보다 작아야하며, 좌굴에 의한 한계는 다음 식으로 결정된다.

$$l \leq \sqrt{\frac{2\pi^2 EI}{CP}} \quad (4)$$

여기서 l 은 펀치의 길이, E 는 탄성계수, I 는 단면2차모멘트, C 는 안전계수로 2~3의 값을 가진다.

- 규칙6) 스트리퍼 플레이트의 전장은 다이블럭의 전장과 같다.
- 규칙7) 스트리퍼 플레이트가 스프링식이면 스트리퍼력은 다음 식과 같다.

$$F_{strip} = P \times (1.1 \sim 1.2) C_{strip} \quad (5)$$

여기서 C_{strip} 는 스트리퍼계수이다.

- 규칙8) 체결볼트의 개수는 다음 식으로 결정한다.

$$F_{strip} = 300(kg/cm^2) \times d_f^2 \times n_f \quad (6)$$

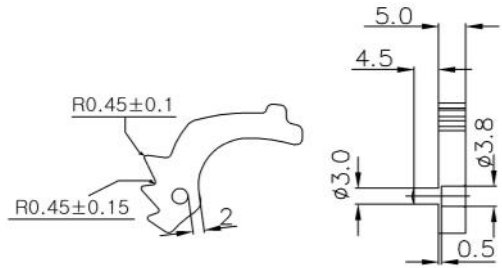
여기서 d_f^2 은 체결볼트의 직경(cm), n_f 는 체결볼트의 개수를 나타낸다.

- 규칙9) 가이드 핀, 체결볼트 및 스프링은 간섭량을 체크하여 간섭이 발생하지 않는 적절한 위치에 배열한다.

2.4 프로그레시브 공정설계



(a) Photograph



(b) Drawing

Fig. 1 Lock plate

앞에서 제시한 설계규칙을 바탕으로 Fig. 1의 록 플레이트 부품에 대한 프로그레시브 공정설계를 수행하였다.

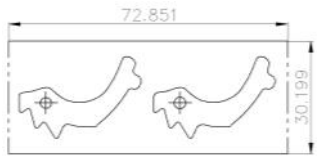
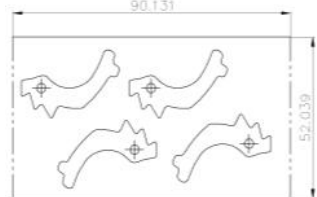
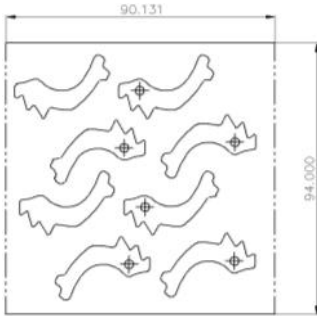
2.4.1 블랭크 레이아웃

블랭크 레이아웃의 재료이용률은 블랭크 레이아웃규칙 1)에 의하여 계산되어지며 1열, 2열, 4열 배열일 때 각각의 재료이용률을 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다.

4열 배열시의 재료이용률이 56.9%로, 가장 높은 값을 가지므로 4열 배열로 스트립 레이아웃에 적용하였다.

소재의 위치결정을 위하여 스트립 레이아웃 규칙 1)에 의하여 $\varnothing 8.0$ mm의 파이릿 천공 (piercing)을 수행하였다. 또한 다이 속에 놓인 금속재에 펀치로 강한 압력을 가하여 다이의 개구부로부터 펀치의 진행 방향으로 재료를 유출시켜 제품을 만드는 전방압출공정(직경 $\varnothing 3.0$ mm, 높이 4.5mm)을 수행하였다. 펀치가 코이닝 다이(coining die)를 통하여 카운터 펀치가 콘(cone) 부근까지 재료를 밀고 들어가며, 이 과정에서 소재는 단단히 클램핑되어져야 한다.

Table 1 Utilization ratio of the lock plate

No. of rows	utilization ratio(%)	
1열	45.5%	
2열	50.1%	
4열	56.9%	

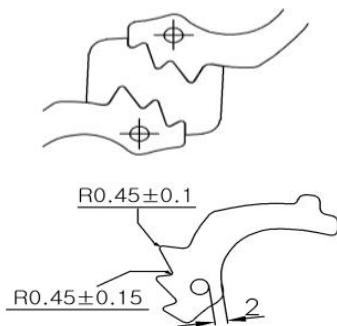


Fig. 2 Notching process design

Fig. 2와 같이 2열 제품 치형부를 동시에 노칭함으로써 펀치 개수를 줄이고 형상 간 상하간격을 줄여 재료이용률을 높였다. 또한 치형부의 치수정밀도(R 0.45±0.1, R 0.45±0.15)를 맞추기 위한 롤오버 허용폭은 1.2 mm이다. 노칭공정 이후 진행되는

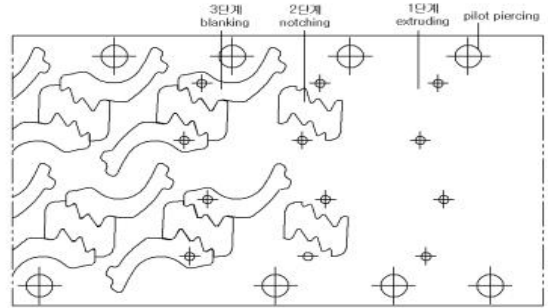


Fig. 3 Initial strip layout based on design rules and field experience

정밀 블랭킹(fine blanking) 공정은 전단면에 높은 압축응력을 발생시킴으로써 고온 전단면을 얻도록 함과 동시에, 블랭킹할 때의 쿠션에 의해 펀치의 반대쪽은 제품을 강하게 눌러 휨과 버(burr)가 없는 제품을 얻기 위한 것이다.

2.4.2 스트립 레이아웃

블랭크 레이아웃의 4열 배열에 대하여 스트립 레이아웃 규칙 1)을 적용하여 $\varnothing 8.0$ mm의 파이릿 피어싱 가공을 수행하였고 스트립레이아웃규칙11), 12)를 적용하여 이송간폭 3.1 mm, 이송피치를 35.1 mm로 설계하였다. 이를 토대로 압출, 노칭, 정밀블랭킹 공정을 갖는 스트립레이아웃 도면을 Fig. 3에 나타내었다.

3. 록 플레이트를 위한 유한요소해석

Fig. 3의 스트립 레이아웃에 대하여 실험을 수행한 결과, 2번째 노칭 공정에서 롤오버로 인하여 상대 치차와의 접촉면적이 작고 노칭 후 블랭킹 공정에서도 Fig. 4와 같이 롤오버가 심하고 직경 $\varnothing 3.0$ mm 압출부의 밑면 코너부근에서 균열로 인한 파괴가 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 유한요소해석 프로그램인 DEFORM을 사용하여 공정해석을 수행하였다.

3.1 모델링 및 메쉬 생성

스트립레이아웃의 3번째 공정인 정밀타발의 유

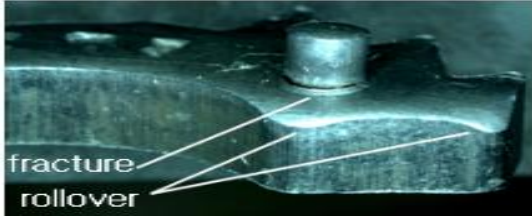
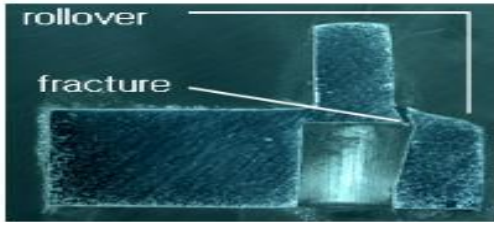


Fig. 4 Fracture in around the extruded part

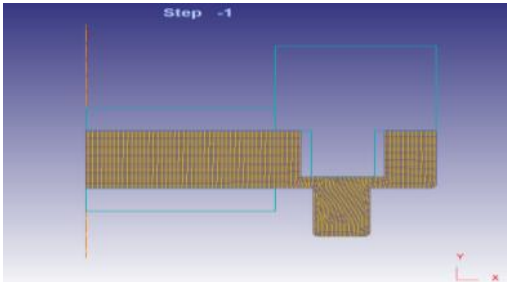


Fig. 5 Modeling for the blanking process

한요소해석을 위한 모델링은 상용소프트웨어인 NX7.5를 사용했다. 특히 Fig. 4의 압출부와 록 플레이트 가장자리 사이의 거리에서 파손 유무를 확인하기 위하여 Fig. 5와 같이 소재, 다이, 펀치를 각각 모델링하였다.

펀치, 다이 그리고 블랭크 홀더는 성형중 변형이 없다고 가정하여 강체로 설정하였다. 블랭크는 사면체 메쉬를 사용하였으며, elements의 수는 9000개, node의 수는 19542개이다.

3.2 경계 조건

록 플레이트의 재질은 기계구조용 저탄소강인 SM35C이며 소재의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 2, 3과 같다.

해석조건 입력 값으로는 Table 4와 같이 펀치의

Table 2 Chemical composition of SM35C

Chemical composition (%)					
C	Si	Mn	P	S	the others
0.32	0.15	0.60	0.030 % Max	0.035 % Max	under 0.03
~0.3	~0.3	~0.9			
8	5	0			

Table 3 Mechanical properties of

Mechanical properties			
Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Young's Modulus (GPa)	Hardness (HB)
304	510	190-210	140-200 (annealed)

Table 4 Process parameters for Deform-2D

Parameter	Value	Unit
Punch speed	100	mm/s
Friction coefficient	0.12	
Elements	9000	EA
Node	19542	EA
Yield function type		Von Mises

속도는 100 mm/s, 마찰상수 m 은 0.1, Yield function type은 Von Mises로 하였다.

또한 프로그레시브 공정에 대한 해석을 수행하기 위하여 한 공정에 대한 해석을 수행한 뒤, 해석완료된 모델형상 및 성형이력으로 다음 공정에 대한 해석을 수행하였다.

3.3 해석결과 및 고찰

Fig. 6은 $\varnothing 3.0$ mm 압출부의 다이 측 상부에 설치한 v-ring의 모델링이다. 비딩이 없을 때(Fig. 7), 압출부까지 v-ring의 거리가 1.5 mm, 1 mm, 0.5 mm일 때의 수행한 결과를 Fig. 8~10에 각각 나타내었다.

v-ring이 없는 상태로 블랭킹 공정을 수행하였을 때 Fig. 7과 같이 압출부에서의 최대응력이 891 MPa으로 나타났다. 그리고 v-ring의 거리가 1.5 mm, 1 mm, 일 때 각각 792 MPa, 302 MPa로 소재의 항복강도(304 MPa)에 근접하거나 초과하여 터짐이 예

측되었다.

Fig. 10은 상기의 결과를 토대로 v- ring 거리가 0.5 mm일 때를 수행한 결과로, 압출부에서의 최대응력이 항복강도보다 낮은 267 MPa 이다. 압출부로

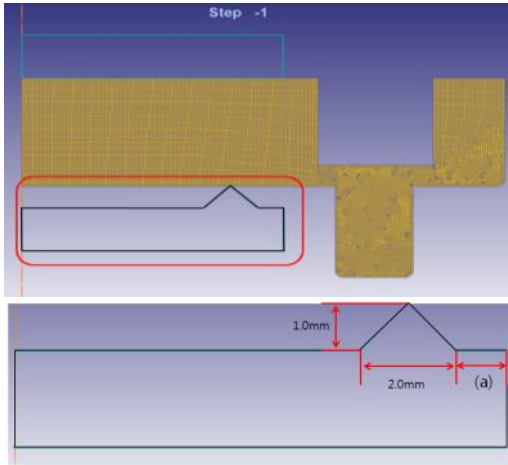


Fig. 6 Modeling of beading

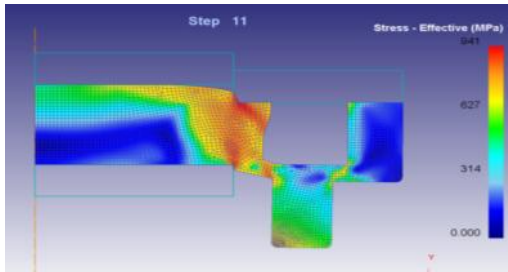


Fig. 7 The analysis result of blanking process(no v-ring)

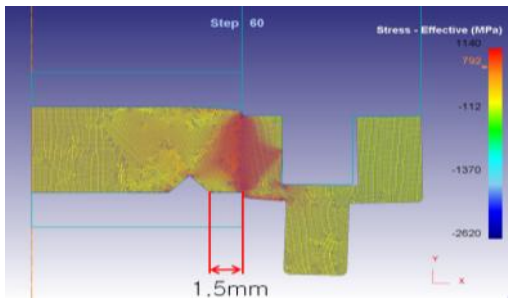


Fig. 8 The analysis result of blanking process (v-ring distance 1.5mm)

부터 2.5 mm 위치에 깊이 1.0 mm, 길이 12 mm의 v-ring을 다이 플레이트에 설치하여 스트립 레이아웃에 반영하였다.

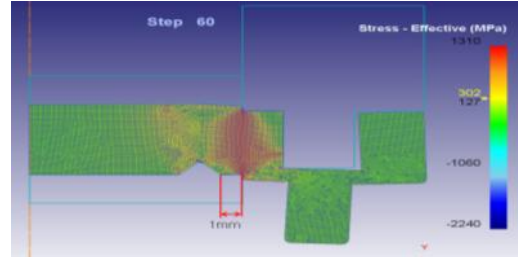


Fig. 9 The analysis result of blanking process(v-ring distance 1mm)

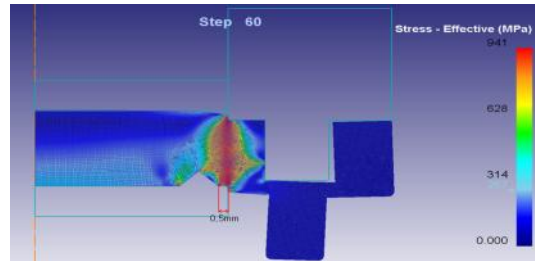


Fig. 10 The analysis result of blanking process (v-ring distance 0.5mm)

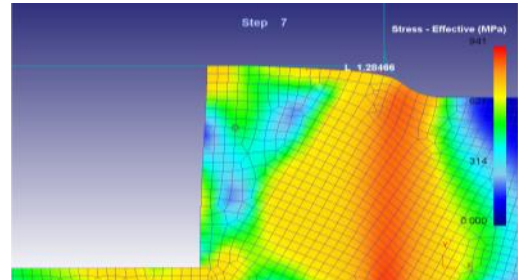
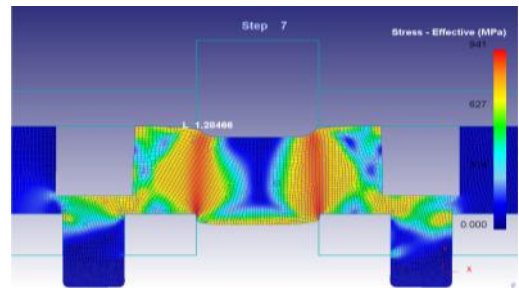


Fig. 11 Roll over in the notching process

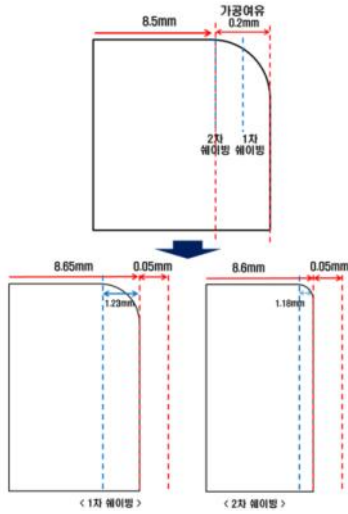


Fig. 12 Shaving processes

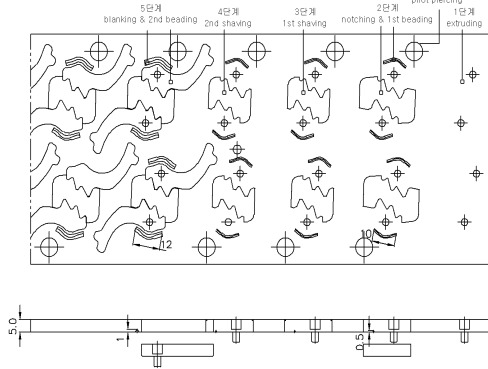
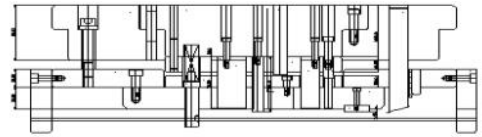


Fig. 13 The final strip layout based on the results of FEM

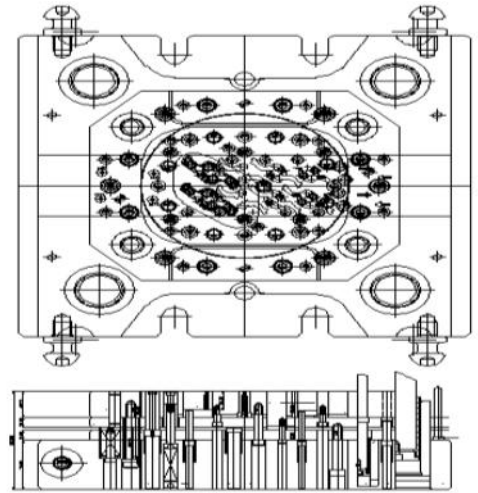
2단계의 노칭 공정에서의 발생하는 롤오버의 폭은 Fig. 11의 유한요소해석 결과로부터 약 1.28 mm 임을 알 수 있었다.

Fig. 12는 노칭 공정에서 두 차례의 웨이빙 (shaving)공정을 추가한 것이다. 이 공정은 치형부의 접촉면적을 넓히고 깨끗한 전단면의 확보를 위한 것으로 전단면으로부터 0.2 mm의 가공여유를 확보한 뒤 1, 2차 웨이빙 량은 각각 0.05 mm씩 수행하였다.

이 때 1차 및 2차 웨이빙에서 얻게 된 1.23 mm,



(a) Upper die



(b) Lower die

Fig. 14 Die layout based on the improved strip layout

1.18 mm의 폭은 롤오버 허용 폭인 1.2 mm 이내를 만족하였다. 각 공정별 유한요소해석을 수행한 결과를 토대로 설계한 최종 스트립 레이아웃 도면을 Fig. 13에 나타내었다.

3.4 실험 및 결과

Fig. 13의 최종 스트립 레이아웃과 다이 레이아웃 규칙(1~9)을 적용하여 설계된 다이 레이아웃의



Fig. 15 Lower die



Fig. 16 The lock plate manufactured by the improved strip layout

도면과 제작된 금형을 Fig. 14~15에 나타내었다.

Fig. 15의 금형으로 시제품을 제작한 결과, 아래의 Fig. 16과 같이 압출부 주위의 터짐이 발생하지 않았고, 치형부의 톨오버 폭은 1.15 mm로써 허용폭(1.2 mm)이내를 만족하는 것을 확인하였다.

4. 결 론

좌석벨트의 록 플레이트를 정밀타발(fine blanking)할 때 압출부 근처에서 터짐을 방지하며 치차의 원활한 접착을 위한 톨오버 폭의 개선과 재료비 절감 및 생산성을 향상시키기 위하여 프로그레시브 공정설계와 이에 대한 금형설계를 수행하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 생산성향상을 위한 최적의 재료이용률을 도출하기 위하여 1열, 2열, 4열 배열에 대해 블랭크레이아웃을 수행하였으며, 생산성 향상과 재료비

절감을 위하여 4열 배열(재료이용률 56.9%)로 결정하였다.

2. 압출부 근처에서의 터짐을 방지하기 위하여 하측 다이 플레이트에 비드와 압출부까지의 거리를 조정하여 유한요소해석을 실시하고 그에 따라 시제품을 제작한 결과, 성형 시 최대 응력이 소재(SM35C)의 항복강도 이내로 만족되며 터짐이 발생하지 않음을 알 수 있었다.
3. 치차와의 원활한 접착을 위해 톨오버 폭의 개선을 위해 노칭공정에서 0.2 mm의 가공여유를 확보한 뒤 2회의 셰이빙 공정을 추가한 결과, 최종 제품의 톨오버 폭은 1.18 mm로 허용 톨오버 폭이내를 만족하였다.

후 기

본 논문은 2012년도 동의대학교 교내연구비 지원에 의해 연구되었습니다(2012AA160).

REFERENCES

1. The Japan Institute of Light Metal, "The Manufacturing Technology for An Automotive Lightening", The Nikkan Kogyo Shimibun, LTD., pp. 9-32, 2003.
2. K. Y. Lee, K. W. Nam, C. K. Moon, "Reliability Evaluation of Recliner by Multi Moulding Fine Blanking.", The Korean Society For Power System Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 59- 66, 2011.
3. Y. J. Kim ,G. T. Kwak W. B. Bae, "Finite Element Analysis on Effect of Die Clearance on Shear Planes in Fine Blanking", The Korean Society For Technology of Plasticity, Vol. 9, No. 2, pp. 152-158, 2000.
4. K. Y. Lee, K. W. Nam, "Analysis of Fine Blanking Forming using CAE", The Korean Society For Power System Engineering, Vol. 15, No.4, pp. 60-64, 2011.
5. J. D. Kim, H. G. Kim, "A Study on the Change of Die Roll Size by the Shape of Die Chamfer in

- Fine Blanking Die for Automobile Door Latch“, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 2, pp. 565-570, 2011.
6. C. H. Kim, S. H. Kang, K. Y. Lee, K. W. Nam, “A Study on Properties of Sector Gear for Seat Recliner”, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 1, pp. 99-105, 2010.
7. G. D. Kim, Y. M. Heo, B. H. Chae, “An Experimental Study of Die Roll Height on the Corner Shapes according to the Change of V-ring Position on the Fine Blanking Tool for Automobile Seat Recliner Holder“, Proceeding of the KSPE Spring Conference 2012, pp. 125-126, 2012.
8. J. C. Choi, B. M. Kim, C. Kim, S. M. Lee, “An Automated Process Planning and Die Design System for Blanking of Stator and Rotor Parts”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 13, No.8, pp. 40-51, 1996.