

드로우 금형의 에어 포켓 형상 및 체적예측 자동화 시스템 개발

정성윤*, 황세준**, 박원규**, 김 철#

Development of an Automated System for Predicting Shape and Volume of Air Pocket on the Draw Die

Sung Yuen Jung*, Se Joon Hwang**, Warn Gyu Park** and Chul Kim#

ABSTRACT

Metal stamping is widely used in the mass-production process of the automobile. During the stamping process, air may be trapped between the draw die and the panel and/or between the punch and the panel. Air pocket rapidly not only increases forming load in the final stage, but also deforms the product just formed by compressive air inside the air pocket in knockout process. To prevent these problems air bent holes are drilled in the die to exhaust the trapped air but all processes associated with air bent holes are performed by empirical know-how of workers in the field due to lack of researches. Therefore this study developed an automated design system for predicting the shape and position, and volume of air pocket on the draw die by using the AutoLISP language under AutoCAD circumstance. The system is able to display the shape of air pocket occurred in the draw die and to calculate automatically its volume by strokes. So it makes a stepping stone to calculate theoretical size of an air bent hole and numbers according to it by predicting and analyzing the position and volume of air pocket. Results obtained from the system enable the designers or manufacturers of the stamping die to be more efficient in this field.

Key Words : Air Bent Hole (에어벤트 구멍), AutoLISP (오토리습), Automated System (자동화 시스템), Air Pocket (에어포켓), Stamping Process (스탬핑 공정)

1. 서론

다이와 프레스를 이용해서 소재를 원하는 치수와 모양으로 가공하는 냉간가공의 대표적인 성형공정인 스탬핑 공정은 정밀도 및 고강도와 내구성을

갖는 제품을 대량으로 생산할 수 있는 경제적이고 빠른 공법으로 그 응용분야가 매우 넓다.

스탬핑 공정에서 설계자가 원하는 형상의 판재를 성공적으로 성형하기 위해서는 국부네킵, 형상 불량, 주름 등의 여러 가지 성형불량을 방지해야 한

접수일: 2007년 5월 15일; 게재승인일: 2007년 10월 30일

* 부산대학교 기계기술연구원

** 부산대학교 기계공학부

교신저자: 부산대학교 기계기술연구원

E-mail: chulki@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-2489

다. 특히 금형과 소재사이의 Fig. 1과 같은 밀폐된 공기층, 즉 에어포켓은 성형의 최종단계에서 성형 하중을 급격히 상승시킬 뿐만 아니라, 취출시에 에어포켓 내의 압축공기에 의해 성형이 완료된 제품에 변형을 발생시키므로 현장에서는 이들을 외부로 빼내기 위해 금형에 에어벤트홀(air bent hole)용 드릴링 작업을 수행하고 있다.

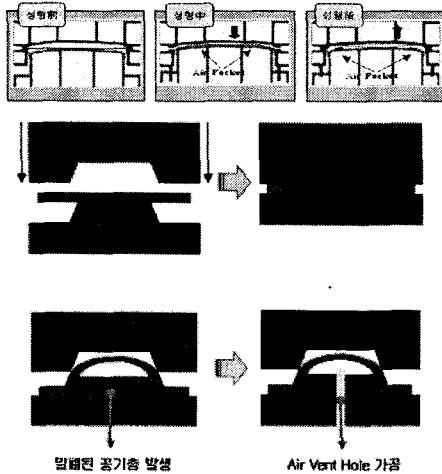


Fig. 1 Generation of air pocket

그러나 각 스탬핑 공정에서의 에어포켓의 형상 및 위치와 체적에 대한 데이터의 부재로 인하여 기존 공정에서는 현장 작업자의 경험적 지식에 근거한 에어벤트홀의 위치와 직경, 개수 등을 정하고 있는 실정이다. 이러한 과정에서의 가장 큰 문제점은 너무 많은 에어벤트홀의 가공으로 인한 공수의 증가와 이에 따른 비용의 증가로 생산성의 저하를 가져오는 것이다.

이에 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 에어포켓 내부압력변화의 예측과 이에 따른 적절한 에어벤트 홀의 직경 및 개수의 산정에 결정적인 역할을 하는 설계인자인 스트로크별 에어포켓의 형상 및 위치예측과 체적을 계산하고자 하였다. 이를 위해 스탬핑 공정 시 각각의 스트로크에 따라 드로우 금형에서 발생하는 에어포켓 형상을 AutoCAD 내의 프로그래밍 언어인 AutoLISP을 이용하여 그래픽하고 그래픽화된 각 에어포켓형상의 체적을 자동으로 계산할 수 있는 설계자동화 프로그램을 개발했다.^{1,2}

2. 에어포켓 체적 계산

에어포켓 내부압력변화의 예측과 이에 따른 적절한 에어벤트 홀의 직경 및 개수의 산정에 결정적인 역할을 하는 설계인자인 에어포켓 체적변화를 계산하기 위해서는 프레스의 스트로크에 따른 에어포켓의 형상예측 및 체적계산이 수행되어야 하는데 이를 위한 알고리즘은 Fig. 2와 같다.

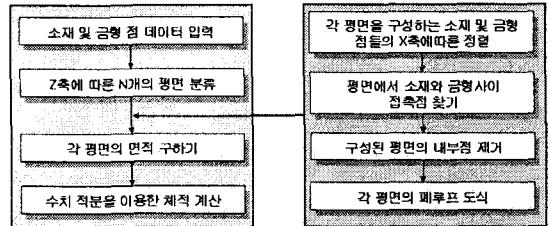


Fig. 2 Flow chart for calculating the volume of air-pocket

2.1 에어포켓의 접촉점 정의 및 이산화

에어포켓의 형상 및 위치예측과 체적계산을 위해서는 소재와 다이 사이에 반드시 존재하는 접촉점을 정의해야만 한다.

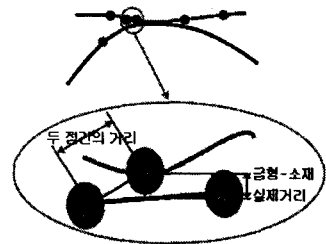


Fig. 3 The distance between die and sheet node

금형과 소재간의 거리는 두면의 수직거리가 아닌 메쉬점들 간의 거리이므로 Fig. 3과 같은 거리오차를 발생시키므로 거리오차와 소재두께를 고려한 허용범위를 설정하고 이 범위 내에 있는 점을 접촉점으로 정의했다.

2.2 각 평면의 페루프 면적 계산

AutoCAD 상에서 어떤 영역의 면적을 구하기 위해서는 Fig. 4의 AREA I과 같이 영역을 구성하는 페루프가 완전하게 정의되어야 한다. 그런데 소재와 다이가 접촉한 상태에서는 A, B와 같이 접촉점

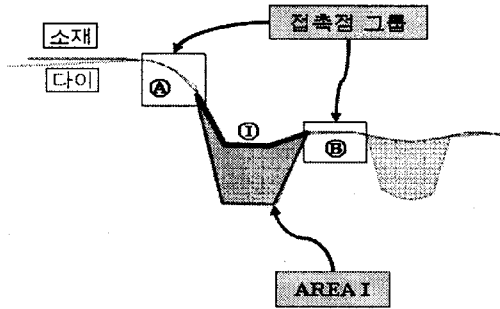


Fig. 4 Closed loop for area calculation

이 그룹으로 나타나고 접촉점들 중 어느 점이 페루프의 꼭지점이 될지를 결정해야하는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 접촉이 일어나지 않는 부분(I)과 이웃한 접촉점 그룹(A)에서 점들의 X좌표를 기준으로 최대값을 갖는 점을 페루프에 속하는 점으로 정의하고 그룹(B)에서는 최소값을 갖는 점을 페루프 상의 점으로 정의한다. 이런 방식으로 각각의 페루프를 정의하고 그 면적을 구하였다. 에어포켓 형상이 예측되어지면 메쉬파일로부터 에어포켓의 체적을 Z축을 따라 N개의 X-Y평면으로 분할한다. 정확한 체적을 구하기 위해 이론적으로 무한개의 평면이 요구되나 프로그램 구현을 위해 N개의 평면으로 개수를 제한하고 결정된 평면 앞뒤로 일정한 범위 내에 있는 점들은 그 평면에 포함되는 것으로 가정한다.

2.3 에어포켓 체적계산

Z축에 의하여 N개의 평면의 면적을 구한 후, 이웃하는 두 평면에 대해 사다리꼴 법칙으로 체적을 계산한다. 다만 이웃하는 평면에 에어포켓 면적이 없는 경우 Fig. 5와 같이 순차적으로 세 개의 평면의 에어포켓 면적을 찾아서 체적을 계산하며 세 번째의 평면에도 면적이 없는 경우에는 그 부분에 에어포켓의 체적이 없는 것으로 간주한다. 에어포켓의 총체적은 이들 각 평면 사이의 체적의 총합이 된다.

3. 시스템의 구성

Auto CAD의 자동화 언어인 AutoLISP 언어로 드로우 금형의 에어포켓 형상 및 체적계산을 위한 설계자동화 시스템을 개발했다. 개발된 시스템은 데이터 변환모듈, 면적계산모듈, 체적계산모듈 및

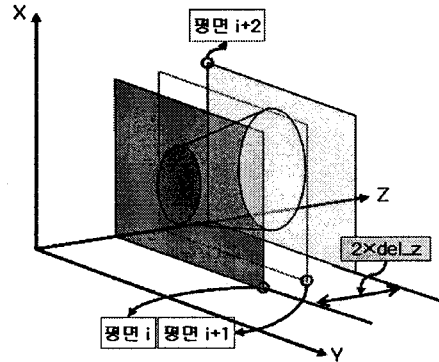


Fig. 5 Algorithm for volume calculation of air pocket

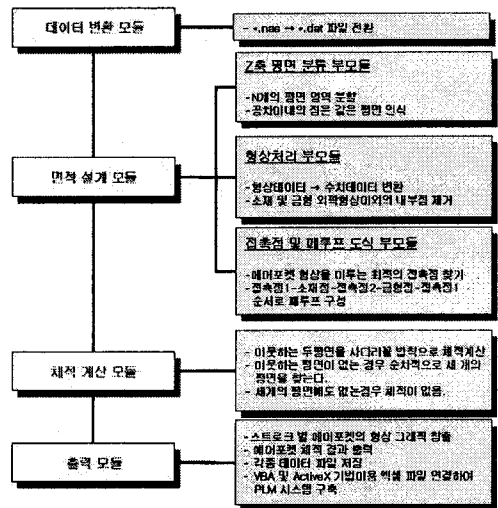


Fig. 6 Configuration of the system

출력모듈로 구성되어져 있다. 이들 모듈 가운데 면적계산모듈은 Z축평면분류부모모듈, 형상처리부모모듈, 접촉점 및 페루프도식 부모모듈로 이루어져 있으며 개발된 설계자동화 시스템에 대한 개략도를 Fig. 6에 나타내었다. 각 모듈의 기능에 대한 설명은 아래에서 간략히 다루고자 한다.

3.1 데이터 변환모듈³

데이터변환모듈에서는 스탬핑공정을 PAM-STAMP 상용소프트웨어에서 시뮬레이션할 때 얻어지는 스테이지별 편치, 소재, 다이에 관한 각각의 위치데이터 파일(*.nas)을 AutoLISP에서 입력받을 수 있는 위치데이터 파일(*.dat)로 전환하는 모듈이다.

3.2 면적설계모듈

면적설계모듈은 AutoCAD상에 그려지는 에어포켓 형상의 면적을 구하는 모듈로써 이를위해 Z축 평면분류부모듈, 형상처리부모듈, 접촉점 및 페루프도식 부모듈이 수행된다.

3.2.1 Z축평면분류부모듈⁴

Z축평면분류부모듈은 메쉬파일로부터 에어포켓의 체적을 Z축을 따라 N개의 X-Y평면으로 분할하는 모듈이다. 정확한 체적을 구하기 위해 이론적으로 무한개의 평면이 요구되나 프로그램 구현을 위해 N개의 평면으로 개수를 제한하고 결정된 평면 앞뒤로 Z축의 공차 이내에 있는 점들은 그 평면에 포함되는 것으로 가정한다.

3.2.2 형상처리부모듈⁵

형상처리부모듈은 에어포켓 형상의 인식을 위하여 에어포켓 형상의 일부를 가진 N개의 각 평면에 존재하는 소재 및 금형의 형상데이터를 설계에 용이한 수치 리스트 형식으로 변환시키는 모듈이다. 이때 N개 평면에 존재하는 소재 및 금형의 형상데이터는 x축에 대하여 소팅(sorting)되어진 값들을 가진다.

3.2.3 접촉점 및 페루프도식부모듈

접촉점 및 페루프도식부모듈은 x축에 소팅되어진 형상데이터로부터 접촉점을 구한 후, 접촉점 1-소재점-접촉점2-금형점-접촉점1의 순서로 페루프를 구성하는 모듈이다. 이때 최적의 접촉점은 이웃하는 같은 그룹의 접촉점 리스트 중 x좌표값 대하여 최대값과 최소값을 가지는 점으로 구하였다.

3.3 체적계산모듈

체적계산모듈은 Z축 방향으로 나누어진 N개의 평면의 면적을 구한 후, 이웃하는 두 평면에 대해 사다리꼴 법칙으로 체적을 계산하는 모듈이다. 다만 이웃하는 평면에 에어포켓 면적이 없는 경우 순차적으로 세 개의 평면의 에어포켓 면적을 찾아서 체적을 계산하며 세 번째의 평면에도 면적이 없는 경우에는 그 부분에는 에어포켓 체적이 존재하지 않는 것으로 했다.

3.4 출력모듈

출력모듈은 상기의 모듈들이 수행된 후, 스트로

크별 에어포켓의 형상 및 위치를 그래픽으로 창출시키고 이에 따른 에어포켓의 체적을 자동으로 계산하여 출력시키는 모듈이다. 각종 데이터를 데이터 파일로 저장하고, VBA 및 ActiveX 기법을 이용하여 엑셀 파일에 직접 연결하여 PLM시스템 구축을 용이하도록 했다.

4. 시스템의 검증

개발된 본 시스템을 통하여 계산된 에어포켓 체적의 정확도를 검증하기위하여 스트로크가 진행됨에 따라 Fig. 7과 같은 금형을 통하여 에어포켓형상이 둘로 나누어지고 이론적으로도 체적계산이 가능한 제품을 선정하였다.

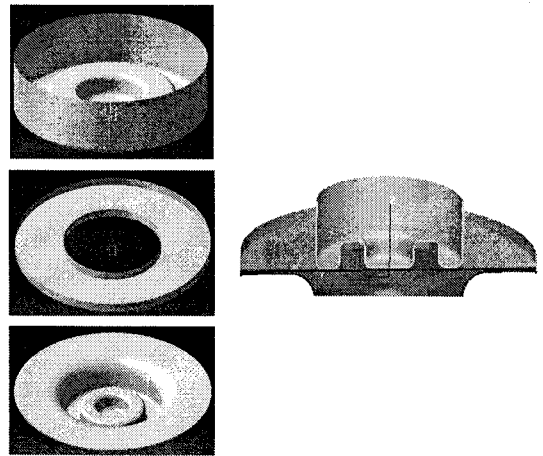


Fig. 7 A sample for verifying the system

상기의 제품에 대하여 스트로크별 소재와 다이, 소재와 펀치 사이의 에어포켓 형상을 예측하고 그에 따른 이론적인 체적을 계산한 후, 개발된 프로그램에 적용시켰을 때 자동으로 계산된 체적과 비교하였다.

Fig. 8은 전 스트로크 길이를 10등분하였을 때 스트로크가 각각 7번째, 8번째, 10번째일 때의 에어포켓 형상을 보여주고 있다. 7번째 스테이지에서 다이와 소재 사이의 에어포켓 체적은 18.84×10^6 이고 펀치와 소재 사이의 에어포켓 체적은 9.4×10^6 으로 전 에어포켓의 체적은 28×10^6 이다. 이는 개발된 프로그램을 수행한 후 자동으로 계산되어진 결과를 보여주는 Fig. 9의 26.66×10^6 과 약간의 차이

가 남을 알 수 있다. 이는 프로그램에서 자동으로 계산된 에어포켓의 체적은 펀치가 다이의 상부를 약간 진입한 상태이고, 이론적으로 계산한 체적은 펀치가 다이에 걸쳐진 상태임을 감안한다면 프로그램에서 계산된 체적과 이론적 체적은 약 5% 내외의 오차범위 내에 있는 것으로 검증되었다.

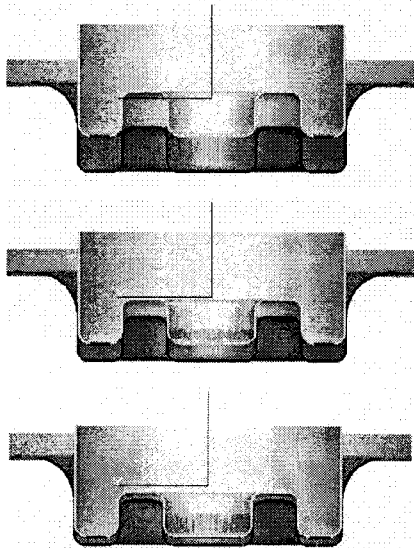


Fig. 8 Each air pocket shape by strokes

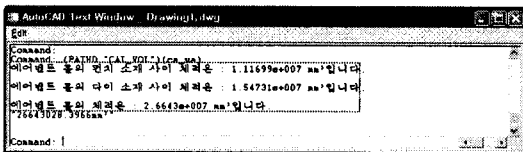


Fig. 9 The results carried out in the output module

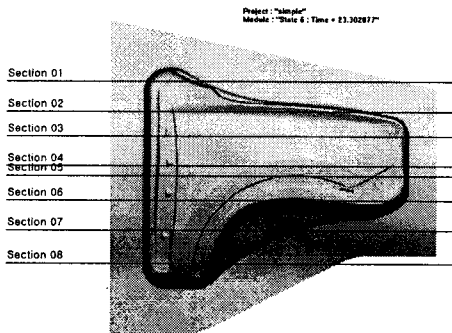


Fig. 10 The results to be used in each module of the system

5. 시스템에의 적용 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 10과 같은 제품을 개발된 시스템의 각 모듈에 적용시켰을 때 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

5.1 각 모듈에의 적용결과

PAM-STAMP 상용소프트웨어로 Fig. 10의 샘플에 대하여 스텝핑 공정을 수행할 때 전스트로크의 7/10에 해당하는 스트로크에서의 위치데이터가 데이터 변환모듈에서 변환되어진 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

구분	번호	X(1)	Y(1)	Z(1)	구분	번호	X(2)	Y(2)	Z(2)
STRIP	1	-0.3528275757E+02	-0.466878212E+02	0	STRIP	19	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	2	-0.789732361E+02	-0.574894872E+02	0	STRIP	20	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	3	-0.789472812E+02	-0.573195008E+02	0	STRIP	21	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	4	-0.852775946E+02	-0.645872856E+02	0	STRIP	22	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	5	-0.787474682E+02	-0.675489152E+02	0	STRIP	23	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	6	-0.788183311E+02	-0.674719144E+02	0	STRIP	24	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	7	-0.613512809E+02	-0.781423448E+02	0	STRIP	25	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	8	-0.495848398E+02	-0.756797252E+02	0	STRIP	26	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	9	-0.569818896E+02	-0.794836576E+02	0	STRIP	27	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	10	-0.564189196E+02	-0.789741516E+02	0	STRIP	28	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	11	-0.588185886E+02	-0.825197932E+02	0	STRIP	29	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	12	-0.58584314E+02	-0.82984642E+02	0	STRIP	30	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	13	-0.395481452E+02	-0.894471856E+02	0	STRIP	31	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	14	-0.392245557E+02	-0.888786392E+02	0	STRIP	32	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	15	-0.275245974E+02	-0.938483488E+02	0	STRIP	33	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	16	-0.273581542E+02	-0.93842422E+02	0	STRIP	34	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	17	-0.15489228E+02	-0.946358784E+02	0	STRIP	35	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	18	-0.149526581E+02	-0.94815782E+02	0	STRIP	36	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	19	-0.222837788E+01	-0.977277272E+02	0	STRIP	37	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0
STRIP	20	-0.222837788E+01	-0.977461192E+02	0	STRIP	38	-0.184199722E+02	-0.224262749E+02	0

구분	번호	X(1)	Y(1)	Z(1)	구분	번호	X(2)	Y(2)	Z(2)
STRIP	1	0.12460200E+03	0.30921361E+03	0.48683792E+02	STRIP	19	0.89287376E+02	0.16419722E+03	0.48683792E+02
STRIP	2	0.63272701E+02	0.1389696E+03	0.46942872E+02	STRIP	20	0.78973236E+02	0.16419722E+03	0.57489487E+02
STRIP	3	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	21	0.78947281E+02	0.16419722E+03	0.57319500E+02
STRIP	4	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	22	0.85277594E+02	0.16419722E+03	0.64587285E+02
STRIP	5	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	23	0.78747468E+02	0.16419722E+03	0.67548915E+02
STRIP	6	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	24	0.78818331E+02	0.16419722E+03	0.67471914E+02
STRIP	7	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	25	0.61351280E+02	0.16419722E+03	0.78142344E+02
STRIP	8	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	26	0.49584839E+02	0.16419722E+03	0.75679725E+02
STRIP	9	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	27	0.56981889E+02	0.16419722E+03	0.79483657E+02
STRIP	10	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	28	0.56418919E+02	0.16419722E+03	0.78974151E+02
STRIP	11	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	29	0.58818588E+02	0.16419722E+03	0.82519793E+02
STRIP	12	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	30	0.58584314E+02	0.16419722E+03	0.82984642E+02
STRIP	13	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	31	0.39548145E+02	0.16419722E+03	0.89447185E+02
STRIP	14	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	32	0.39224555E+02	0.16419722E+03	0.88878639E+02
STRIP	15	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	33	0.27524597E+02	0.16419722E+03	0.93848348E+02
STRIP	16	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	34	0.27358154E+02	0.16419722E+03	0.93842422E+02
STRIP	17	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	35	0.15489228E+02	0.16419722E+03	0.94635878E+02
STRIP	18	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	36	0.14952658E+02	0.16419722E+03	0.94815782E+02
STRIP	19	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	37	0.22283778E+01	0.16419722E+03	0.97727727E+02
STRIP	20	0.6187488E+02	0.1389696E+03	0.35414796E+02	STRIP	38	0.22283778E+01	0.16419722E+03	0.97746119E+02

Fig. 11 The results carried out in the data conversion submodule

형상의 인식을 위하여 Fig.11과 같이 펀치, 다이, 소재의 위치데이터(*.dat)를 형상처리부모듈에서 x축에 대하여 소팅한 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

Input Data	Z축의 tolerance 이내 점들의 집합	X축의 대하여 sorting 된 점들의 집합
(292.9641 113.0481 0.1600)	(292.9641 113.0481 0.1600)	(90.6578 113.7716 0.3300)
(95.0007 121.0057 0.2200)	(95.0007 121.0057 0.2200)	(95.0007 121.0057 0.2200)
(286.8116 138.3709 0.2200)	(286.8116 138.3709 0.2200)	(102.9627 132.2211 0.3800)
(250.6209 165.5024 0.2400)	(250.6209 165.5024 0.2400)	(109.1151 140.1797 0.3870)
(235.7827 181.0579 0.2786)	(235.7827 181.0579 0.2786)	(118.1628 147.7765 0.3120)
(218.4111 186.4842 0.2800)	(218.4111 186.4842 0.2800)	(122.8676 151.7558 0.3076)
(168.1440 174.5463 0.5560)	(168.1440 174.5463 0.5560)	(119.8972 166.2259 0.2450)
(148.2011 174.5463 0.2340)	(148.2011 174.5463 0.2340)	(148.2011 174.5463 0.2340)
(139.8772 166.2259 0.2450)	(139.8772 166.2259 0.2450)	(167.3822 178.8873 0.3560)
(202.4872 186.4842 0.3560)	(202.4872 186.4842 0.3560)	(176.0880 178.8873 0.3560)
(184.3918 186.4842 0.3700)	(184.3918 186.4842 0.3700)	(194.3918 186.4842 0.3700)
(118.1628 147.7765 0.3120)	(118.1628 147.7765 0.3120)	(218.4111 186.4842 0.2800)
(176.0880 178.8873 0.3560)	(176.0880 178.8873 0.3560)	(202.4872 186.4842 0.3560)
(167.3822 178.8873 0.3500)	(167.3822 178.8873 0.3500)	(235.7827 181.0579 0.2786)
(129.3819 155.7351 0.5600)	(129.3819 155.7351 0.5600)	(250.6209 165.5024 0.2400)
(102.9627 132.2211 0.3800)	(102.9627 132.2211 0.3800)	(286.8116 138.3709 0.2200)
(122.8676 151.7558 0.3076)	(122.8676 151.7558 0.3076)	(292.9641 113.0481 0.1600)
(109.1151 140.1797 0.3870)	(109.1151 140.1797 0.3870)	
(90.6578 113.7716 0.3300)	(90.6578 113.7716 0.3300)	

Fig. 12 The results carried out in the shape recognition submodule

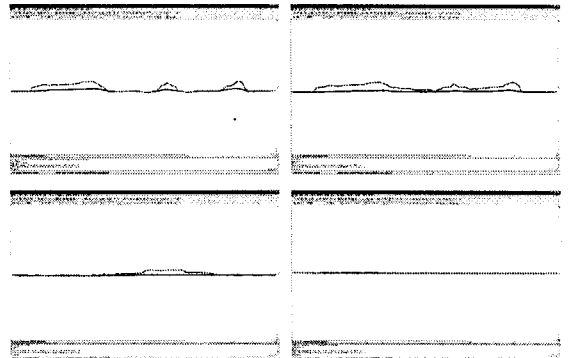


Fig. 13 The results carried out in the area module

x축에 대하여 소팅되어진 펀치, 다이, 소재의 위치 데이터를 면적모듈에 입력했을 때 이 모듈에서 수행한 결과를 Fig. 13에 나타내었다.

이는 Z방향으로 200개의 평면을 나누었을 때 전 스트로크의 7/10에 해당하는 스트로크에서 Fig. 10의 제품단면07면에 대한 펀치와 소재, 다이와 소재사이에 발생하는 에어포켓의 형상으로, 면적모듈에서는 이를 x-y평면에 자동으로 창출시킨다. 체적

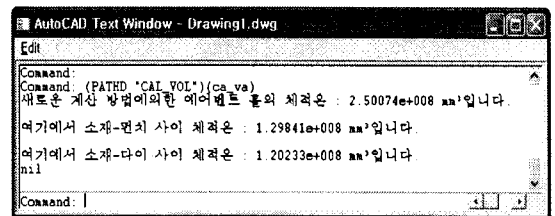
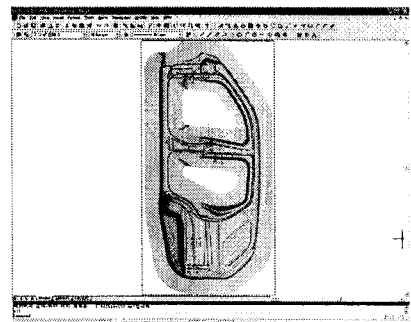
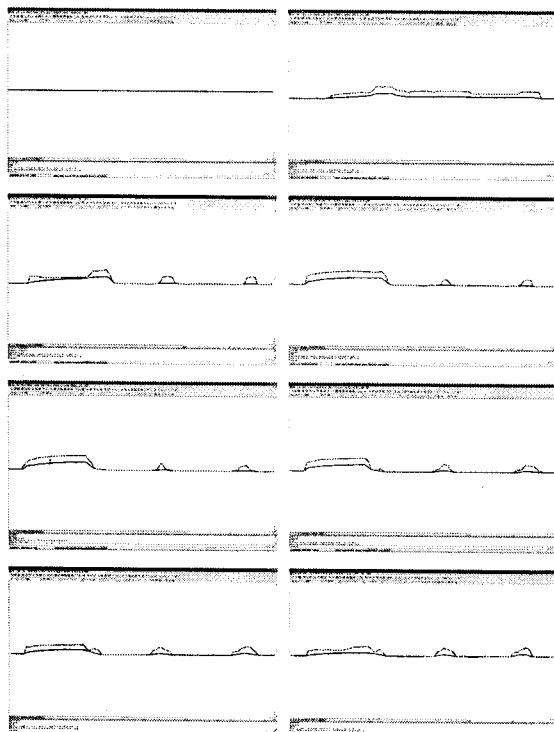


Fig. 14 The results carried out in the output module



모듈에서는 면적모듈에서 자동적으로 창출되어진 이웃하는 두 x-y평면에 대해 사다리꼴 법칙으로 체적을 계산한다. 동일한 방법으로 N개로 분할된 평면사이의 체적을 구한 후, 합산하여 그 결과를 출력모듈에 넘긴다. 출력모듈에서는 에어포켓의 형상 및 위치와 체적을 컴퓨터 화면상에 출력시키는 데 이를 Fig. 14에 나타내었다.

6. 결론

스텝핑 공정시 소재와 금형사이의 밀폐된 공기층인 에어포켓의 발생은 최종성형단계에서 성형하

중을 급격히 상승시킬 뿐만 아니라 취출시 에어포켓내의 압축공기에 의해 성형이 완료된 제품에 변형을 일으킨다. 이를 해결하기 위하여 현장에서는 스템핑 공정 시 금형에 에어벤트홀을 내어 공기를 금형외부로 배출시킨다. 그러나 에어벤트홀의 형상 및 위치예측과 그에 따른 체적계산의 어려움으로 인하여 관련된 모든 공정을 현장 작업자의 경험적 지식에 의존하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 스템핑 공정 시 각각의 스트로크에 따른 드로우 금형에서 발생하는 에어포켓의 형상을 AutoCAD내의 프로그래밍언어인 AutoLISP을 이용해 그래픽하고 그래픽화된 각각의 에어포켓 형상 및 위치예측과 그에 따른 체적을 자동으로 계산할 수 있는 설계자동화 시스템을 개발했다. 이는 에어포켓의 발생과 체적 등을 예측 및 분석하여 최소의 에어벤트 구멍과 그에 따른 수량을 이론적으로 계산할 수 있는 발판을 마련하였다.^{6,8} 또한 금형의 구조설계 시에 리브구조에 의한 에어벤트홀 가공 시 발생 가능한 불량을 방지할 수 있으므로 작업능률을 향상시키고 시행착오를 최소화함으로써 금형개발에 필요한 시간과 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 지원사업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, J. H. and Kim, C., "Development of an Integrated System of Automated Design of Gerotor Oil Pump," J. of The Korean society for precision engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 88-96, 2006.
2. Kim, J. H., Kim, C. and Kim, C. H., "Optimum design on the lobe shapes of Gerotor Oil Pump," J. of The Korean society for precision engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 124-131, 2006.
3. Tlustý, J., Smith, S. and Zamudía, C., "New NC Routines for Quality in Milling," Annals of the CIRP, Vol. 39, Issue 1, pp. 517-521, 1990.
4. Colbourne, J. R., "Gear Shape and Theoretical Flow Rate in Internal Gear Pumps," Transactions of the CSME, Vol. 3, No. 4, pp. 215-223, 1975.
5. Choi, J. C., Kim, B. M., Cho, H. Y., Kim, C., Kim, J. H., "An integrated CAD system for the blanking of irregular-shaped sheet metal products," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 83, Issue 1-3, pp. 84-97, 1998.
6. Oosthuizen, P. H. and Carscallen, W. E., "Compressible Fluid Flow," McGraw-Hill, pp. 184-193, 1997.
7. Munson, B. R. and Young, D. F., "Fundamentals of Fluid Mechanics(3rd Edition)," Wiley, pp. 121-123, 1998.
8. Chapra, S. C. and Canale, R. P., "Numerical Methods for Engineers(5th Edition)," McGraw-Hill, pp. 116-123, 2006.