

자동차용 Auto Transmission 핵심부품 개발을 위한 Flow Forming 공정의 성형성 연구

김승수* · 나경환* · 최석우* · 박훈재* · 임성주* · 윤덕재*

A Study on the Flow Forming Process to Develop the Main Part of Auto Transmission of Automobile

Seung Soo Kim, Kyoung Hoan Na, Seogou Choi, Hoon Jae Park,
Seong Joo Lim, and Duk Jae Yoon

요약 플로포밍은 무절삭 집진성형공정으로 축 대칭 원형제품의 나뭇잎 소량생산에 있어 스템핑이나 딥드로잉과 같은 박판성형 공정과 비교했을 때 매우 경제적이고 효율적인 공정이다. 본 연구에서는 기존 공정과의 품질비교를 통한 플로포밍 공정의 유용성 검토를 위해 현재 프레스 드로잉 공정으로 생산중인 자동차용 자동변속기 부품을 1-롤러 플로포밍 공정을 이용하여 대체 성형해 보았다. 실험결과 플로포밍 공정은 제조부품의 형상변화에 따른 설비변경 비용과 개발기간이 짧아 효과적인 유연 생산 시스템을 알 수 있었다. 또한 플로포밍 공정을 프레스 드로잉 공정과 연계하여 성형하면 성형품의 정밀도와 생산성 향상에 매우 효과가 있음을 알 수 있었다.

Abstract Flow forming is a chipless metal forming method for axi-symmetric parts, which is more economical, efficient and versatile method of producing parts than the other sheet metal forming process such as stamping or deep drawing. In this study, flow forming process with 1-Roller is applied to produce auto-transmission parts of automobiles which have been produced by press drawing process so far. It can be known that flow forming process is applicable to the flexible manufacturing system due to the low cost for the establishment and it can be combined with press forming process to promote productivity and to improve the accuracy of products.

Key Words : Flow forming, Chipless, Axi-symmetric, Transmission parts

1. 서 론

박판성형 공정에 있어 대부분의 공정은 프레스 성형에 의하여 이루어지고 있으나 수천개 이하의 중소량 생산일 경우 초기설비 투자비 및 직간접 비용의 상승으로 경제성이 저하되고 있다. 이러한 문제점의 해결을 위하여 다량중 소량생산에 적합한 새로운 제조 공정의 개발 및 기존공정의 개선에 대한 많은 노력이 진행되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 최근 공업선진국에서는 항공우주 및 방위산업부품 생산에 주로 이용되던 스피닝 또는 플로포밍 공정을 일반 상용품 생산에 적용하여 많은 성과를 거두고 있다.

플로포밍(flow forming) 공정은 Figure 1에 나타낸 것

*한국생산기술연구원 자본재산업기술개발센터 생산공정 기술연구팀

과 같이 소재의 회전운동과 성형공구의 2차원 운동을

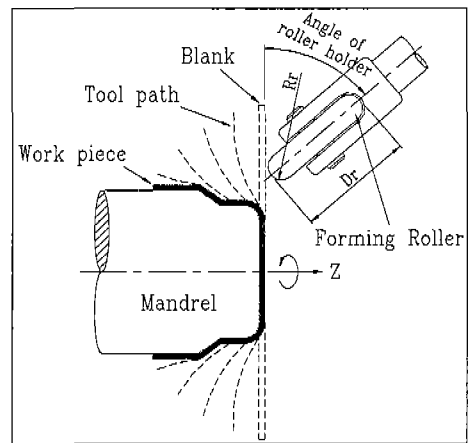


Figure 1. 플로포밍(flow forming) 공정.

본 논문은 향후 본 연구를 위한 예비연구로 지원하는 1998년도 한국생산기술연구원 기본연구과제의 연구결과로 그 핵심 내용은 다량중 소량 생산품에 대하여 기존 프레스드로잉 공정으로 생산되던 축 대칭 원형제품을 플로포밍 공정으로 대체하여 기존 공정과의 품질과 시제품 개발기간 및 개발비 비교를 통한 경쟁력 있는 생산기술을 제안한 것이다. (Tel: 041-589-8623)

이용하여 축대칭 원형제품을 만드는 비절삭 점진성형 공정으로, 다른 성형법에 비해 간단한 공구로 가공이 가능하기 때문에 다품종 소량생산에 뛰어난 경제성을 가지고 있고, 금속유동이 연속적이기 때문에 피로수명, 인장강도 등의 제품특성이 개선되는 효과를 얻을 수 있으며, 대부분의 금속 재료를 이용하여 성형가능하기 때문에 점진성형의 중요한 가공법중의 하나로 연구 개발되고 있다[1,2].

Hayama[3,4]는 스피닝(spining) 또는 플로포밍 공정의 기초 이론 정리와 실험을 병행하여 작업조건들의 영향을 조사하였고, 프레스 드로잉 공정에 의한 제품과의 원가를 비교 분석하여 스피닝공정이 다품종 소량생산에 뛰어난 장점을 가지고 있으며 특별한 형상의 경우 대량생산에도 뛰어난 경제성을 가지고 있음을 제시한 바 있다. Wang[5]은 1개의 롤러와 2개의 볼러를 사용해서 스피닝 하였을 때 각각의 제품에 대한 두께분포 변화량 비교한 결과, 2개의 롤러를 가지고 성형하는 것이 1개의 롤러로 성형하는 것보다 성형품의 두께감소율이 약 10~15% 정도 감소한다고 발표한바 있고, 김종호[6] 등은 알루미늄 원통컵을 1개의 롤러를 이용하여 이송피치, 이송속도, 초기 롤러경로 경사가 및 볼러 설치각도 등의 작업조건 변수들이 스피닝 성형성에 미치는 영향에 관해 실험적 연구를 수행한바 있다. 이러한 선행연구자들의 연구결과를 종합하여 보면 플로포밍 공정에 의한 제품의 형상정밀도 및 치수정밀도는 장치의 제어정밀도와 공구경로(tool path) 제어기술에 의존된다. 이중 공구경로는 제품의 인장과단과 플랜지부 주름이 일어나지 않는 범위 내에서 이루어져야 하며 이를 위해서는 성형속도(mm/rev), 공구직경(Dr), 공구의 코너반경(Rr), 공구의 설치각, 공구경로, 윤활, 플랜지부 극관성보우렌트 등의 성형변수가 적절화되어야함을 알 수 있으나, 아직까지 프레스 드로잉 제품의 특성, 즉 바닥부와 측벽부 두께의 균일성을 유지하며 스프링 백(spring back)을 억제할 수 있는 경제적인 성형법은 개발되지 못하고 있다.

본 연구에서는 선행 연구자들이 부분적으로 수행한 연구결과를 기초로 최근 산업계에서 요구하고 있는 프레스 드로잉 공정에 의한 제품정밀도를 유지할 수 있도록 하는 1-roller 플로포밍 성형법을 연구해 보고자 한다. 연구 결과를 엄밀히 비교해 보기 위해 현재 프레스 드로잉(press drawing)공정으로 생산 중인 자동차용 Auto transmission 부품을 실험크기로 플로포밍 공정으로 대체 성형하고 기존공정과 품질비교를 통한 공정의 유용성을 검토하여 편편업계의 애로사항 해결에 도움을 줄 기반을 마련하고, 아울러 문제점 및 문제점 해결방안을 고찰하여 경제적인 플로포밍 공정계획 수립방향을 제시하고자 한다.

2. 실험

실험은 Figure 2에 나타난 것과 같이 한국생산기술연구원에서 개발한 회전소성 가공장치에 이용하여 실험하였으며 성형속도, 공구의 설치각, 성형물의 직경, 공구반경 등의 성형변수는 선행연구자들이 제시한 값들을 기준으로 본 실험에서 성형할 제품의 크기를 고려하여 일부 조정하여 실험하였다.

실험의 주안점은 프레스 드로잉 제품과 같은 두께 분포, 즉 제품의 바닥과 벽부의 두께가 일정하고 스프링백량이 최소화되는 조건을 찾고, 이때의 두께분포, 직경분포, 스프링백 양을 비교, 검토한다.

Table 1은 본 실험에 사용된 재료의 기계적 성질 및 화학성분을, Table 2는 본 실험에 이용된 회전소성 가공 장치의 주요 사양을 나타낸 것이다.

Table 1. 재료의 기계적 성질 및 화학성분

기호 (재질)	인장강도 (MPa)	기계적 성질		화학성분(%)		
		연신율(%)		P	C	Mn
		두께 (mm) 2.0~2.5	두께 (mm) 2.5~3.2			
SHP2	270이상	33이상	35이상	0.04 이하	0.10 이하	0.50 이하

Table 2. 회전소성 가공장치 주요사양

Machine	
Center height	430 mm
Max. blank diameter	400 mm
Spindle drive capacity	30 kw
Max. Spindle speed	600 rev/min
Slides	
Longitudinal thrust	15 ton
Longitudinal travel	300 mm
Transversal thrust	15 ton
Transversal travel	200 mm
Tail stock	
Contact pressure	60 ton
Travel	300 mm
Formable material thickness	
Stainless steel	6 mm
Steel	15 mm
Brass	20 mm
Soft copper	25 mm
Aluminium 99.5	40 mm

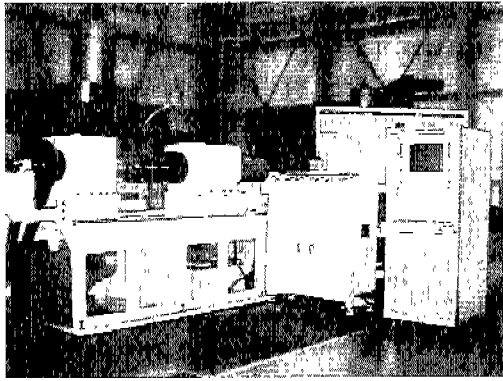


Figure 2. 회전소성 가공장치.

3. 결과 및 고찰

3.1. 리버스 클러치 드럼

Figure 3은 리버스 클러치 드럼의 맨드릴과 블랭크 및 성형품을 나타낸 것이며 Figure 4는 프레스에서 3번의 드로잉공정으로 성형되고 있는 것을 플로터닝 공정에서 3번의 성형경로와 1번의 치수 정밀화(sizing)경로로 성형했을 때의 공구경로를 나타낸 것이다.

Table 3은 본 실험에 적용된 성형조건을 정리한 것이고 Figure 5는 이때의 직경과 두께분포를 비교한 것이다. Figure 5의 t_3 , t_1 는 3차 드로잉 후의 두께 및 4회 틀

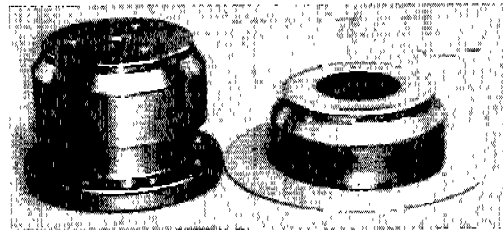


Figure 3. 리버스 클러치 드럼 성형품.

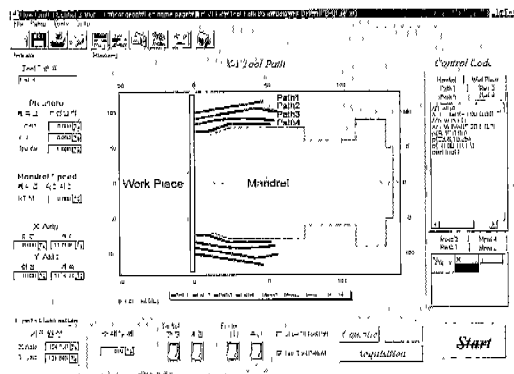
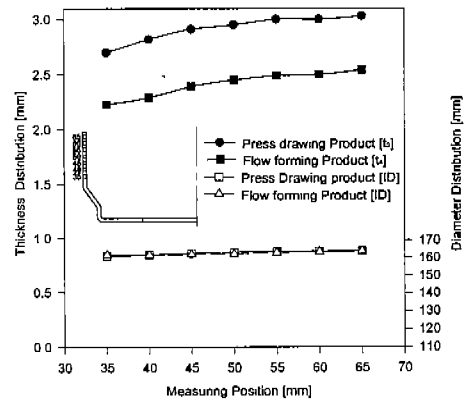


Figure 4. 리버스 클러치 드럼 틀 패스.

Table 3. 리버스 클러치 드럼의 실험조건

제품명	리버스 클러치 드럼	
블랭크 크기(재질)	φ250×2.8 t (SHP-2)	
맨드릴 외경(max.)	φ157.5	
성형롤 크기	φ180×R12	
성형롤 설치각	10°	
패스 수	Forming	3
	Sizing	1
이송속도(mm/rev)	Forming	3.2
	Sizing	0.64
스핀들 회전수(rpm)	560	
Machining time(sec)	45	



Reverse Clutch Drum

Figure 5. 두께 및 직경(내경) 비교.

패스 후의 두께를 의미하며 ID는 성형품의 내경을 의미한다.

플로포밍으로 제작된 이 제품은 드로잉비(시편직경/맨드릴 직경)가 1.6 정도의 제품으로, 직경(내경)은 프레스 드로잉 제품과 비슷한 경향을 나타내고 있으며 두께는 측정위치 증가에 따라 조금씩 두꺼워지는데 전체적으로는 프레스 드로잉 제품보다 약 0.5 mm정도 얇게 나타났다.

3.2. 클러치 허브

Figure 6은 클러치 허브의 맨드릴과 블랭크 및 성형품을 나타낸 것이며 Figure 7은 3번의 프레스 드로잉 공정으로 성형되던 것을 1번의 성형과 1번의 Sizing으로 성형한 공구경로를 나타낸 것이다.

Table 4는 이때의 성형조건을 정리한 것이고, Figure 8은 제품 내경과 두께 분포를 비교한 것이다.

이 제품은 블랭크직경이 151 mm이고 제품직경(내경)이 113 mm로 드로잉비가 1.34 정도의 깊이가 얇은 제품

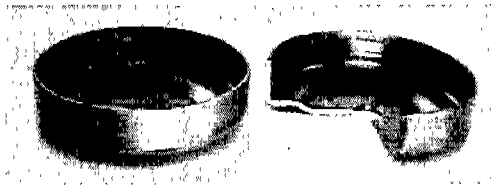


Figure 6. 클러치 허브 성형품.

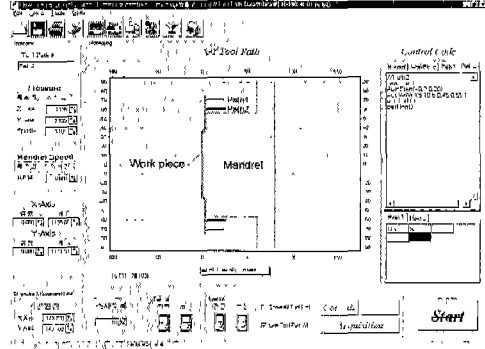


Figure 7. 클러치 허브 툴 패스.

Table 4. 클러치 허브의 실험조건

제품명	클러치 허브	
블랭크 크기(재질)	φ151 × 2.3 t(SHP-2)	
맨드렐 외경(max.)	φ113.0	
성형롤 크기	φ180 × R12	
성형롤 설치각	10°	
툴패스 수	Forming	1
	Sizing	1
이송속도(mm/rev)	Forming	3.17
	Sizing	0.63
스핀들 회전수(rpm)	568	
Machining time(sec)	12	

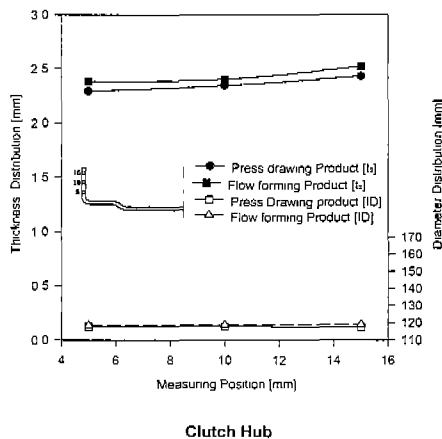


Figure 8. 두께 및 직경(내경) 비교.

으로, 플로포밍 성형조건을 프레스 드로잉공정으로 성형했을 때의 직경분포와 같도록 하면 두께가 약 0.1 mm 정도 얇아지는 경향을 나타내었고, Figure에 나타내지는 않았지만 두께분포가 같도록 맨드렐과 성형롤러의 클리어런스를 조정하면 직경이 측정위치 15에서 약 0.05 mm 정도 커지는 경향을 나타내었다.

3.3. 리버스 클러치 허브

Figure 9는 리버스 클러치 허브의 맨드렐과 블랭크 및 성형품을 나타낸 것이며 Figure 10은 3번의 프레스 드로잉 공칭으로 성형되던 제품을 2번의 성형과 1번의 Sizing으로 성형했을 때의 공구경로를 나타낸 것이다.

Table 5와 Figure 11은 이때의 성형조건과 제품 내경

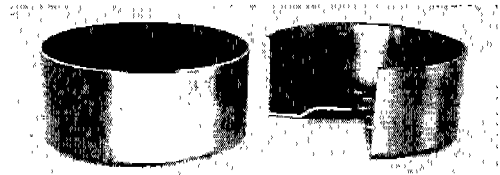


Figure 9. 리버스 클러치 허브 성형품.

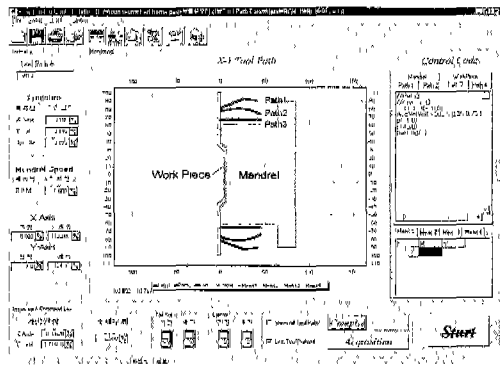


Figure 10. 리버스 클러치 허브 툴 패스.

Table 5. 리버스 클러치 허브의 실험조건

제품명	리버스 클러치 허브	
블랭크 크기(재질)	φ205 × 2.5 t(SHP-2)	
맨드렐 외경(max.)	φ123.0	
성형롤 크기	φ180 × R12	
성형롤 설치각	10°	
툴패스 수	Forming	3
	Sizing	1
이송속도(mm/rev)	Forming	2.56
	Sizing	0.61
스핀들 회전수(rpm)	586	
Machining time(sec)	35	

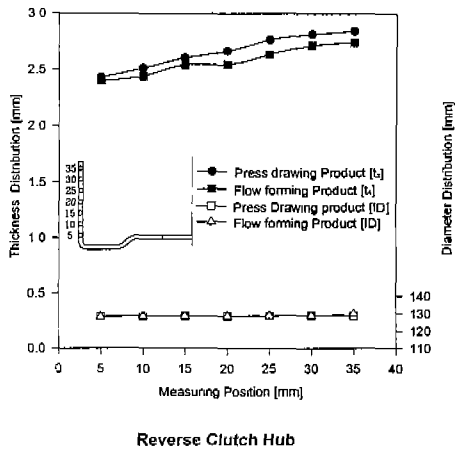


Figure 11. 두께 및 직경(내경) 비교.

및 두께분포를 각각 나타낸 것이다. 이 제품은 드로잉비가 1.67 정도의 비교적 성형깊이가 깊은 제품으로 직경 분포는 비슷한 경향을 나타내고 있고 두께도 측벽부 위쪽으로 갈수록 두꺼워지는 경향을 나타내고 있으나 전체적으로 0.2 mm 정도 얇아지는 경향을 나타내었다.

3.4. 언더 드라이브 클러치 드럼

Figure 12는 언더 드라이브 클러치 드럼의 맨드릴과 블랭크 및 성형품을 나타낸 것이며 Figure 13은 3번의 프레스 드로잉 공정으로 성형되던 제품을 2번의 성형경로와 1번의 Sizing 경로로 성형했을 때의 공구경로를 나

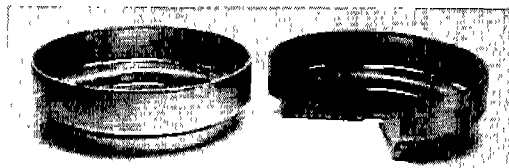


Figure 12. 언더드라이브 클러치드럼 성형품.

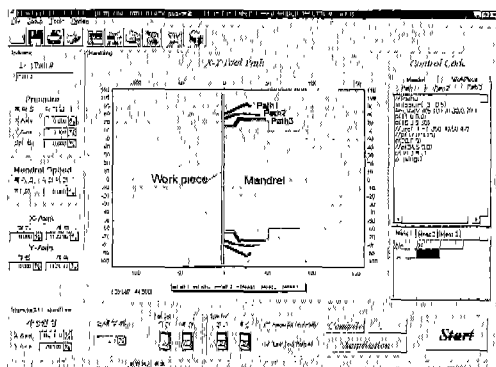
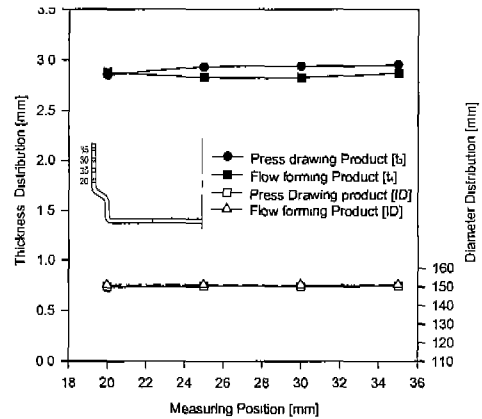


Figure 13. 언더드라이브 클러치드럼 툴패스.

Table 6. 언더 드라이브 클러치 드럼의 실험조건

제품명	언더 드라이브 클러치 드럼	
블랭크 크기(재질)	φ206 × 2.8 t(SHP-2)	
맨드릴 외경(max.)	φ144.5	
성형롤 크기	φ180 × R12	
성형롤 설치각	10°	
틀패스 수	Forming	2
	Sizing	1
이송속도(mm/rev)	Forming	2.56
	Sizing	0.61
스핀들 회전수(rpm)	586	
Machining time(sec)	20	



Under Drive Clutch Drum

Figure 14. 두께 및 직경(내경) 비교.

타낸 것이다.

Table 6은 이때의 성형조건을 정리한 것이고 Figure 14는 제품 내경과 두께분포를 비교한 것이다.

이 제품은 드로잉비가 1.43 정도의 제품으로 직경분포는 비슷한 경향을 나타내고 있고 두께도 측벽부 위쪽으로 갈수록 두꺼워지는 분포를 나타내고 있으나 전체적으로는 플로포밍한 제품이 프레스 드로잉한 제품보다 약 0.2 mm 정도 얇아지는 경향을 나타내었다.

지금까지 드로잉비가 1.34에서 1.67 정도까지의 제품을 블랭크 직경과 맨드릴은 프레스 드로잉공정에서의 크기와 같게 하고, 성형롤러의 크기와 설치각은 고정시킨 후 공구의 경로와 횟수, 이송속도, 맨드릴의 회전수만을 변화시키며 실험해본 결과를 토대로 두께분포와 직경분포를 고찰해 보면 드로잉비가 작을수록 프레스 드로잉제품과 비슷한 수준의 제품 정밀도를 얻을 수 있었고, 드로잉비가 커질수록 정밀도가 떨어지는 경향을 보였다. 본 논문에서는 자세히 언급하지 않았지만 실험

의 우선 순위를 직경정밀도를 맞춘 후 두께정밀도를 맞추려 해본 결과 직경(내경) 정밀도를 높이면 두께 정밀도가 저하되고 두께 정밀도를 높이면 직경정밀도가 저하되어, 직경정밀도와 두께 정밀도는 반비례관계가 있음을 알 수 있었다. 이것은 직경정밀도를 높게 하기 위해서는 맨드릴과 성형롤러 사이의 클리어런스를 원소재 두께보다 작게하여 소재에 전단응력을 주어야 하고 두께정밀도를 높이기 위해서는 소재보다 클리어런스를 같거나 크게 하여 전단응력을 억제시켜야 한다는 것을 의미하기도 한다.

그래프에서는 자세히 나타나지 않았지만 직경편차는 바닥부에서는 프레스 드로잉공정에서의 정밀도와 같은 수준을 유지하다가 위쪽으로 올라갈수록 직경이 커지는 경향, 즉 스프링 백이 커지는 경향을 보이고 있어 이것의 해결을 위한 계속적인 연구가 요구된다.

실험 결과를 토대로 미루어보면 프레스 드로잉제품과 같은 정도의 정밀도 수준을 얻으려면 소재에 인장응력이 작게 걸리도록 성형조건을 신중하여 두께편차를 줄이고, 스프링 백은 바닥부 직경보다 위쪽직경이 작도록 맨드릴을 만들어 상쇄시키는 방법을 적용하면 보다 좋은 효과가 있을 것으로 예측된다. 또한 블랭크를 만들기 위해서는 블랭킹(blanking)공정이 필수적으로 요구되는데 이때 공정수가 늘어나지 않는 범위 내에서 블랭킹과 드로잉을 동시에 할 수 있는 콤파운드(compound) 금형으로 전환하여 블랭킹과 동시에 일정깊이만큼 드로잉된 블랭크를 만들어 플로포밍 공정으로 성형하면 매우 경제적이고 효과적일 것으로 사료된다. 이것은 플로포밍 공정에 있어서 반드시 필요한 블랭크와 맨드릴의 상대 위치 설정을 매우 용이하게 할 수 있어 바람직한 방향으로 판단된다.

이울러 상용 프레스 공정과 본 실험에서 소요된 금형비 등을 비율로 나타내면 Table 7과 같다. 플로포밍 공정을 프레스 양산 공정과 비교하여 볼 때 개당 생산시간은 많이 걸려도 운전인원 및 금형비는 매우 저렴하여 다품종 소량 생산에 매우 큰 효과가 있음을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서 프레스 드로잉 공정으로 성형되고 있는 자동차용 자동변속기 부품을 플로포밍 공정으로 대체 성형해본 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 드로잉비가 1.3 내외의 길이가 얇은 제품은 프레스 드로잉공정에 의한 정밀도 수준 즉, 원소재 두께와 성형품의 바닥부 및 측벽부의 두께 편차가 5%이내이며, 스프링 백이 0에 가까운 양품을 얻을 수 있는 것으로 나타

Table 7. 공정에 따른 금형비 비교

제품명	프레스 공정 : 플로포밍 공정		
	금형비	Machining time(sec)	운전인원
RCD	90 : 1	3.4 : 40	2 : 1
CH	224 : 1	3.4 : 12	2 : 1
RCH	90 : 1	3.4 : 35	2 : 1
UDCD	90 : 1	3.4 : 20	2 : 1

RCD : 리버스 클리치 드럼, CH : 클리치 허브, RCH : 리버스 할리치 허브, UDCD : 언더 드라이브 클리치 드럼

났다.

(2) 두께정밀도와 직경정밀도는 서로 반비례관계인 것으로 나타났다.

(3) 플로포밍 공정이 다품종 소량생산에 매우 효과적인 공정임을 확인하였다.

(4) 플로포밍 공정을 프레스 드로잉공정과 연계하여 성형하면 생산성과 정밀도 모두가 향상될 것으로 예측되었다.

(5) 기업이 요구하는 수준의 상용기술 개발을 위하여 지속적인 연구가 요구된다.

5. 후 기

본 논문은 한국생산기술연구원의 '98 기본연구과제(자동차용 Auto transmission 핵심부품 개발을 위한 Flow Forming 공정의 성형성 연구)의 연구결과를 요약한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] SME, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", chapter 9, 1984.
- [2] A. Baba, "스피닝의 고정도화 동향과 전망", Journal of the JSPT, vol.29, No.324, pp. 13-20, 1988.
- [3] Masujiro Hayama 著. "回轉塑性加工學", pp. 235-610, 1981.
- [4] Masujiro Hayama 著. "新回轉加工學(理論と應用)", pp. 169-272, 1992.
- [5] Q. Wang and Z. R. Wang, "Numerical Simulation and Experimental Study on the New Process of Two-Roller Bending Spinning", Advanced Technology of Plasticity, vol.3, pp. 1387-1390, 1993.
- [6] 김종호, 박규호, 나경환, 김승수, "알루미늄 원통컵의 스피닝 성형성에 영향을 미치는 작업조건 연구", 한국소성가공학회지 제8권 제5호, pp. 465-470, 1999.