

# 자동차용 中空 구동축 성형장치 개발 및 성형공정에 관한 연구

오 태 원\*, 유 택 인\*, 현 동 훈\*\*

## A Study on the Rotary Swaging Machine and Process Development of Automotive Tubular Drive Shaft

Oh Tae Won\*, Yu Teak In\* , Hyun Dong Hun\*\*

### Abstract

This Paper deals with the weight-lowering and the traits of NVH(Noise, Vibration and Harshness) by the development of tubular shaft replacing the existing solid Drive Shaft for the lighter and less-noisy automobiles. By the review of Swaging Process this study reveals the various forming traits of Swaging, one of the forming methods for tubular shafts. Furthermore, it showed the possibility of Drive Shaft manufacturing through designing & manufacturing of Swaging machine for tubular shaft, and the production & analysis of the tubular shaft with the relevant process and tools. This study also shows that the forming by swaging not only makes the mass production of tubular Drive Shaft possible but also may be widely applied to other products with many advantages in review of dimensional precision, thickness change, hardness increase and surface roughness of the swaged products.

**Key Words :** tubular shaft, solid Drive Shaft, Swaging machine

### 1. 서론

최근 자동차에 대한 연구는 연비개선과 환경보호에 관련된 연구가 많이 수행되고 있다. 자동차에 대한 경량화, 저 소음화를 위해 선진 자동차 제조사는 중공축을 개발하여 NVH(Noise, Vibration and Harshness) 특성을 향상시키고 있다. 기존 중실축 대비 중공축은 10~23%의 중량절감과 30%정도의 강성증대와 공진문제를 해결하고 있다.[1] 자동차의 구동축(Drive Shaft)은 유니버설조인트에 조립되어 회전력을 차륜에 전달하는 요소로서 전륜, 후륜 구동차 및 4륜구동차에 적용하고 있다.

현재 중공 구동축은 축 끝단을 용접하거나 스웨이징(swaging)공법으로 성형한다. 스웨이징 공법은 칩(chip)

발생이 적고 생산성이 높으며 강 및 비철재료에도 적용이 가능하다. 재료의 유동선(Fiber flow)을 확보할 수 있어 원소재보다 표면경도, 인장, 압축강도 및 굽힘강도가 향상되며, 절삭가공과 비교하여 표면거칠기와 치수 정밀도가 우수하다.[5]

성형은 소재중심을 향해 내, 외경 및 일부 감싸지는 금형에 스펀들 회전력에 의한 성형력을 가해 냉간상태에서 원형, 사각형, 테이퍼 제품을 생산한다.[2][3][8] 공정은 회전, 직선운동을 하는 2~6개의 다이스 타격에 의해 점진적으로 내경 및 외경을 성형한다.[4][6]

성형법중 Feed In성형은 비교적 성형각도가 작은 제품이나 직경이 가늘고 길이가 긴 소재의 성형에 적합하다. 한편 Reccss성형은 비교적 성형각도가 큰 제품 및 길이가 짧은 소재성형에 적합하나, 성형기는 일반 스웨이징 성형기보다 복잡하고 소음과 진동이 심하다. 기타 봉재 성형법과 튜브 성형법이 있다. 또한

\* 주저자, (주)현양 기술연구소, (otwon12@hanmail.net)

주소: 425-836 경기도 안산시 성곡동 675

+ 한국산업기술대학교 기계공학과

++ 한국산업기술대학교 기계공학과

테이퍼성형, 내·외부성형, 튜브끝단 오므리기 성형, 터미널끝단 오므리기 성형이 있다.

연성과 연신율이 높은 재료는 스웨이징 성형에 용이하며, 한 공정당 성형한계는 재질과 경도, 연성, 연신율, 단면감소를, 스웨이징 다이의 형상, 성형기 용량에 관련된다. 구리, 알루미늄과 같은 비철금속은 1회 성형에서 약 70%, 저탄소강은 한 공정당 약 40%의 단면감소가 가능하다.

## 2. 스웨이징 성형기 개발

### 2.1 이론

본 연구에서 중공 구동축은 Feed-In성형과 Recess성형의 혼합공정으로 스웨이징 성형기 및 금형을 개발하였다. 성형기는 제품성형에 영향을 주는 소재 이송속도, 스펀들의 회전수, 금형설계, 설비의 유압압력, 스웨이징 유지시간, 스웨이징 소재의 두께편차 및 경도산포 변수에 중점을 두어 설계하였다.

봉재성형에 있어 소재유동은 한 방향으로 제한되지 않으며, Fig. 1과 같이 금속은 직선부분으로 이동하기 보다는 Feed의 역방향인 Taper의 바깥쪽으로 이동한다. 반대방향으로 이동현상이 발생할 경우 금형제작시 측면틀새나 타원형으로 하여 제한하였다.

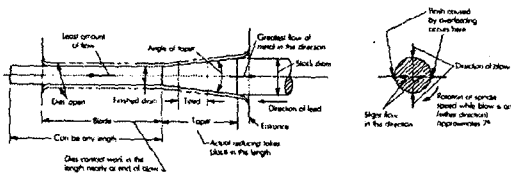


Fig 1. 스웨이징 성형시의 소재의 유동

튜브성형에 있어 두께변화는 소재의 경도, 연성, 스웨이징 다이, 성형속도에 따라 다르며 일반적으로 Fig. 2와 식 (1)과 같다.

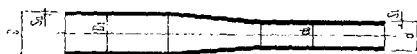


Fig 2. 스웨이징 성형시의 튜브의 두께변화

$$s_1 = s_0 \times \frac{d}{D} \times 10^{(0.5 \times \frac{D}{d} - 0.45)} \quad (1)$$

### 2.2 스웨이징 성형기 설계

성형제품의 형상에 따라 기계용량, 구조가 다르고 성형공정도 달라진다. 본 연구에서는 중공 드라이브

샤프트 성형용으로 설계하였다. 주요 부는 헤드부, 제품이송부, 제어부이며, 특히 헤드부는 스펀들, 스웨이징 금형, 씸플레이트(Shim Plate), 햄머, 로울러, 로울러케이스, 외륜으로 구성된다.

### (가) 성형기 용량

성형하중능력(Radial Load Capacity)은 성형소재의 압축강도와 인장강도에 좌우되므로 스웨이징 성형기의 각부 치수와 성형하중 능력 파악에 있어, 성형가능한 성형품의 직경은 식 (2)와 같이 하였다.

$$D = \frac{Load}{Die Length \times Tensile Strength} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Load &= Projected Load Area(mm^2) \times Tensile Strength(kg/mm^2) \\ &= Diameter(mm) \times Die Length(mm) \times Tensile Strength(kg/mm^2) \end{aligned}$$

한편, 스웨이징 성형시 요구되는 성형동력은 식 (3)과 같다. 스웨이징 성형기의 햄머의 수량(N)과 로울러 직경(d), 로울러 길이(L), 로울러와 햄머 접촉지점의 직경을 알 때 성형하중은 식 (3)과 같다.

$$F = 1.38 N L \frac{d \times D}{d + D} \quad (3)$$

F(ton) : 성형하중

N : Hammer의 수량

L(in) : Roller의 길이

d(in) : Roller의 직경

D(in) : Roller와 접촉하는 Hammer Crown직경

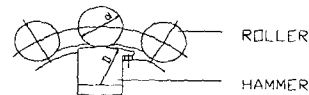


Fig. 3 로울러(Roller)와 햄머(Hammer)

### (나) 성형시의 요구되는 성형력

스웨이징 성형력은 R. L. Kegg가 제시한 식을 이용하였다.[7][9]

$$Pw(kw) = 5.91 \times 10^{-6} \sqrt{\frac{D^2}{\pi^2 KNS}} \times \frac{n A_0 u \omega_1}{\sqrt{\tan \alpha}} \times \left[ \sqrt{\frac{SN}{D^2 K}} \sqrt{\tan \alpha} \frac{f}{\omega_1} + 2 \mu_r \sqrt{\frac{f}{\omega_1}} \right] \quad (4)$$

- A<sub>0</sub>: 성형소재의 변형전 단면적(in<sup>2</sup>)  
 D: 햄머와 로울러가 접촉하는 점에서의 직경(in)  
 d: 로울러의 직경(in)  
 K: 스펀들과 로울러의 직경비(속도비)

$$K = \frac{D + 2d}{2D + 2d} \quad (5)$$

- N: 로울러의 수량  
 S: 금형의 스트로크(Stroke, in)  
 n: 단순 항복응력에 대한 성형 평균응력의 비율

$$n = \frac{(2 - \phi) \tan \alpha}{2\sqrt{3} \mu q} \left[ e^{\frac{4\mu\phi}{(2-\phi)\tan\alpha}} - 1 \right] \quad (6)$$

- ω<sub>1</sub>: 스펀들의 회전수(rpm)  
 α: 금형각도(°)  
 μ<sub>r</sub>: 로울러의 마찰계수  
 μ: 성형소재와 금형 사이의 마찰계수  
 f: 성형소재의 이송 속도비  
 q: 성형소재의 변형전 후 두께비

Table 1. 스웨이징 성형기의 사양

주요 항목		사양
성형품의 크기	튜브(Tube)	Φ8 ~ Φ65mm.
	봉재(Bar)	Φ 8 ~ Φ 35mm.
Roller Part	Roller 수량	12
	직경(mm)	Φ 60
	길이(mm)	140 mm.
Hammer Part	Hammer 수량	4
	Dies	Die 수량 4
	Die size	60 × 67 × 140
Outer Spindle Motor		15 kw, 60Hz, 4P
Inner Spindel Motor		4kw/2800rpm 무단변속기
회전속도(rpm)	Outer Spndle	325.8
	Inner Spndle	33.6 ~ 168.5
성형타격수	내,외륜회전	3,680 strokes/min
	외륜회전	2,490 strokes/min
	내륜회전	237 ~ 1189 strokes/min
회전방향	Outer Spndle	anti-clockwise rotating
	Inner Spndle	clockwise rotating
Feed Unit	Stroke(mm)	max 800
유압 Unit	유압 Motor	15 kW
	유압유 탱크용량	450 ℓ
냉각 Unit	Coolant Motor	10 kW
	Coolant 탱크용량	200 ℓ

### 2.3 스웨이징 성형기 제작

본 연구에서 개발된 성형기는 봉재, 튜브, 와이어의 단면형상을 변화시켜, 축대칭 원형제품 성형이 가능하며, 구동축의 성형은 Feed-In 및 Recess 성형방식으로 하였다. 또한 장·단 구동축 성형이 가능하도록 소재 이송장치의 조정범위를 확대하였다. 그리고 성형기의 내·외륜을 선택적으로 회전시킬 수 있고, 이형 성형을 안정적으로 할 수 있도록 내륜 고정시스템을 갖추었으며, 맨드렐을 헤드부와 이송부에서 적용이 가능하도록 설계하여 여러 형상의 제품성형에 적합하도록 하였다. 내륜의 경우 무단변속기를 장착하여 제품에 따라 회전속도 조절이 가능하며, 동력전달은 외륜의 경우 타이밍벨트를 채용하여 안정적인 회전속도를 얻을 수 있도록 하였으며 성형기 사양은 Table 1과 같다.

### 2.4 스웨이징 성형기의 구조

개발한 스웨이징 성형기의 주요부 중 헤드부의 구조는 Fig. 4와 같다.

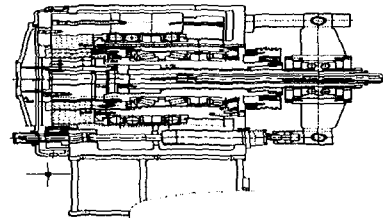


Fig. 4 스웨이징 성형기의 헤드부 조립도

로울러는 성형하중에 견디도록 고속도강을 열처리 후 연마하였고, 12개의 로울러를 균일하게 제작하였다. 한편, 햄머는 동일형상으로 로울러 안쪽에서 내,외륜의 회전에 의해 일정 스트로크만큼 축 중심으로 직선운동을 하여 성형력을 금형에 전달한다. 본 연구에서는 MS Curve를 적용하였으며, 성형 스트로크는 0.8mm이다. 또한 제품성형시 정밀도 확보를 위해 4개의 햄머가 균일하게 제작되도록 하였고, 성형하중에 의해 손상되지 않도록 ASP23을 열처리하였다.

씸 플레이트는 제품성형에 있어 치수보정이 가능하게 하였고 성형 정도에 영향을 주지 않도록 스웨이징 금형과 균일하게 가공하였다. 또한 씸 플레이트 전진시 성형압에 의해 밀리지 않도록 설계되었으며, 씸 플레이트 테이퍼각도는 6°로 하였다. 제품이송장치는 유압으로 제어되는 시스템을 채택하였다. 또한 맨드렐을 이용한 성형을 위해 맨드렐 장착기구를 부착하였고 맨드렐 전·후진시 길이조정이 될 수 있게 하였다.

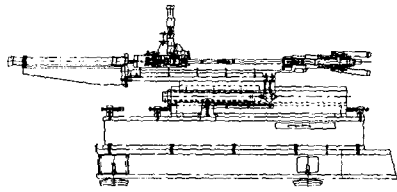


Fig. 5 제품 이송장치의 구조

유압시스템은 각 동작요소마다 개별적으로 속도, 압력제어가 가능하게 하였고, 유압압력의 안정적인 확보를 위해 어큐뮬레이터를 추가하였다.

제어시스템은 성형제품의 형상에 따라 Table 2와 같이 다양한 제어방식을 선택하도록 하였다.

Table 2. 스웨이징 성형기의 제어방식

구 분		FEED MANDREL	HEAD MANDREL	NO MANDREL
FEED IN 성형	DIES CLOSE	○	○	○
	DIES OPEN	●	●	○
RECESS 성형	DIES CLOSE	○	○	○
	DIES OPEN	●	●	○
RECESS + FEED		●	●	●

\* DIES OPEN, CLOSE : 제품 성형후 제품 되출시 DIES 상태를 나타냄.

\* ● : 본 연구에서 적용한 제어방식.



Fig. 6 스웨이징 설비전경

### 3. 중공 구동축의 성형공정 기술개발

성형성을 파악하기 위해 중공 구동축의 재질로 많이 사용되는 스위스 Rothrist사의 34Mn5 합금강과 국내 S45C와 비교하였으며, 시제품을 성형하였다.

Table 3 중공구동축 성형실험재의 규격 (단위 : mm)

구 분	규 격	재 질
국산 소재 (S45C)	Φ30.0×6.0t	S45C
Rothrist社 소재 (34Mn5)	Φ31.0×6.0t	34Mn5

두 튜브소재의 기계적성질은 Table 4와 같다. 시험 결과를 보면 34Mn5 소재가 S45C 보다 항복강도는 낮으나 인장강도는 비슷하며, 연신율은 34Mn5가 약간 좋고 경도는 S45C 소재에 비해 낮음을 나타냈다. 또한 두 재료의 화학조성은 Table 5와 같다. Rothrist社의 소재인 34Mn5를 보면 S45C에 비해 탄소(C)함량이 적었으며, 성형성 향상과 고강도를 만족하기 위해 다른 성분이 첨가된 합금강으로 파악된다.

Table 4 중공구동축 성형실험재의 기계적 성질

구 분		국산 소재(S45C)				Rothrist社 소재(34Mn5)				
소재 치수		30.0×6.0				31.0×6.0				
측정 부위		x1	x2	x3	x4	x1	x2	x3	x4	
치수 (mm)	외경	30.02	30.01	30.015	30.02	30.99	30.98	30.99	30.995	
	내경	18.005	18.0	18.005	18.01	19.0	19.005	19.0	19.0	
	두께	5.97	5.96	6.0	6.01	5.995	6.005	6.035	6.0	
기계적성질	시료 1	인장강도	63.25 kg/mm <sup>2</sup>				66.19 kg/mm <sup>2</sup>			
		항복강도	47.99 kg/mm <sup>2</sup>				40.24 kg/mm <sup>2</sup>			
		연신율	36.2 %				38.2 %			
	시료 2	인장강도	64.35 kg/mm <sup>2</sup>				63.96 kg/mm <sup>2</sup>			
		항복강도	48.87 kg/mm <sup>2</sup>				38.33 kg/mm <sup>2</sup>			
		연신율	38.0 %				38.8 %			
표본경도 (HRB)	시료1	91.8	91.2	92.4	91.7	82.8	82.4	84.0	83.5	
	시료2	93.0	94.0	91.3	91.4	85.3	86.2	86.0	86.2	
	시료3	90.0	89.0	89.0	89.0	84.5	84.8	83.8	85.0	

Table 5. 중공구동축 소재의 화학적 조성

성분	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
S45C	0.43	0.23	0.79	0.011	0.017	-	-
34Mn5	0.35	0.28	1.23	0.010	0.003	0.038	0.040

### 4. 중공 구동축 성형 공정

본 연구에서는 기존의 중실 구동축을 스웨이징 공정에 맞게 중공 구동축으로 재설계하였고, 성형 공정 설계 및 금형설계를 수행하였으며, 금형을 제작하여 시제품을 성형하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 기존의 중실 구동축이다.

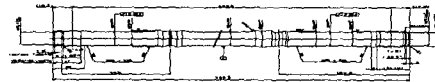


Fig. 7 중실 Drive Shaft



Fig. 8 중실 구동축

구동축에 요구되는 기계적 성질 확보를 위해 중공 구동축 설계시 다양한 요소가 고려되어야 한다. 그러나 소재 수급 및 내구시험 조건 등에 문제가 있어, 본 연구에서는 제품성형공정 및 금형개발을 위해 기존 유럽에서 적용되고 있는 사례를 중심으로 중공 구동축을 설계하였다.

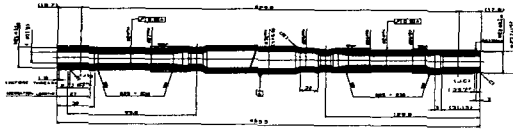


Fig. 9 중공 구동축



Fig. 10 중공 구동축

Fig. 9는 중공 구동축의 도면이다. 보통 스웨이징 공법으로 중공 구동축을 성형을 위해서는 9~11개의 공정이 필요하며, 본 연구에서는 9개의 공정으로 제품 성형을 시도하였다. 제조공정별 주요 성형내용 및 적용된 성형공법은 Table 6과 같다.

Table 6. 제조공정별 성형공법 및 주요 성형내용

공정NO	성형 방법	주요 성형 내용
#10	Feed In	φ31(30) → φ26축관, 예비성형
#20	Recess	φ26→φ24 그루브 성형
#30	Recess	φ26→φ25.66 세레이션 전경성형
#40	Cnc Lathe	Facing + Groove 가공
#50	Recess	φ31(30)→φ24 그루브 성형
#60	Recess	φ31(30)→φ25.66 세레이션 전경성형
#70	Extrusion	세레이션 성형(1)
#80	Extrusion	세레이션 성형(2)
#90	Cnc Lathe	Facing + Groove 가공

## 5. 중공 구동축 성형용 금형설계 및 제작

### 5.1 스웨이징 금형 설계

금형설계에 있어 본 연구에서는 #10공정의 경우 φ31(30)→φ26로 축관시 방전깊이를 12.975, 방전 확대경 φ27.196를 적용하였다. 한편 제품성형시 소재가 투입되는 초입부 각도는 10°를 적용하여 성형에 무리가 없게 하였다. 제품치수를 최종적으로 결정하는 평면부는 30mm로 하여 치수의 안정성을 높일 수 있도록 고려하였다.

Fig. 11은 #10공정용 금형의 제작도면이다.

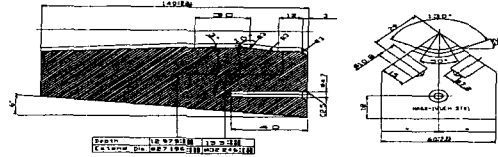


Fig 11. 중공 구동축 제조 금형 설계도(#10공정)

### 5.2 스웨이징 금형 제작

중공 구동축 성형용으로 개발된 금형은 4개가 한 세트이며, 고속도강을 열처리하고 연마하여 Blank를 만들고 방전가공 및 래핑하였다. 금형의 경사면에는 스프링을 장착할 수 있는 4개의 구멍을 가공하여 성형후 금형의 복귀가 원활 하도록 하였다.

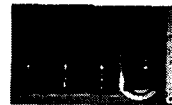
Fig 12는 중공 구동축 성형용 금형이다.

#10 Feed In #20 Recess



#30 Recess

#50 Recess



#60 Recess

#70,80 Extrusion



Fig. 12 중공 구동축 성형용 금형

## 6. 결과 및 고찰

### 6.1. 중공 구동축 성형조건 및 성형제품

Fig. 13, Fig. 14는 스웨이징 한 중공 구동축이다. 실험에서 34Mn5와 S45C 파이프 소재를 스웨이징 성형 5개 공정, CNC Turning 2개공정, Extrusion 2개공정으로 동일설비, 동일금형으로 성형하였다. 각 공정별 성형시 성형상의 문제점은 없었으며, 내·외륜 동시회전으로 성형 타격수를 증가시켜 제품의 표면거칠기와 치수정도가 우수하였다. 34Mn5와 S45C의 성형성 차이는 부분적으로 나타났으나 유압 및 씰 플레이트의 미세조정으로 해결할 수 있었다. 또한 성형공정에서 #50공정은 보통 예비성형(Feed In)후 Recess성형을 실시하나, 본 실험에서는 예비성형과정을 생략하고 실험하여 다소 소재의 흐름이 불균일하였으나 중공 구동축이 요구하는 치수에는 문제가 없었다.

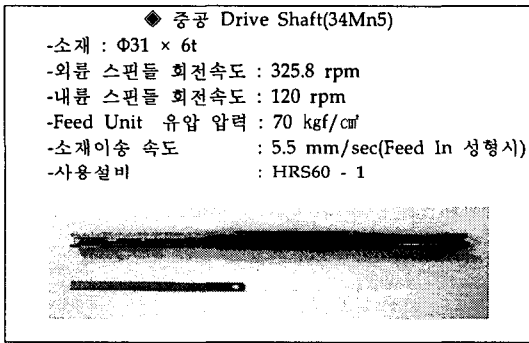


Fig. 13 중공 Drive Shaft 성형 제품(34Mn5)

내·외륜 스피들의 회전속도는 외륜의 경우 325.8rpm으로 하였고, 내륜의 경우 무단 변속기를 이용하여 120rpm으로 조절하여 성형하였다. 중공구동축을 성형후 기존 중실 구동축과 중량을 비교한 결과 약 12.8% 중량감소를 보였다.

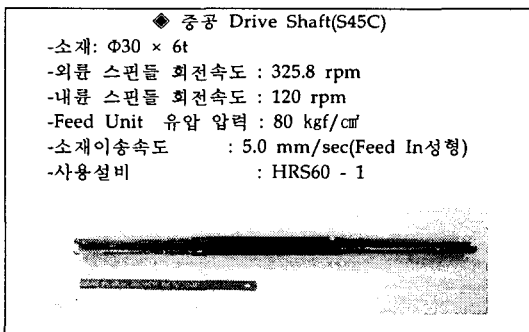


Fig. 14 중공 Drive Shaft 성형 제품(S45C)

Table 7. 성형된 중공 구동축 표면경도 변화 (단위: HRB)

구분	국산 소재(S45C)				Rothrist社 소재(34Mn5)			
	시료1	시료2	시료3	시료4	시료1	시료2	시료3	시료4
측정부								
소재부	91.8	93.0	90.0	91.0	82.8	85.3	84.5	85.0
	91.2	94.0	90.0	91.0	82.4	86.2	84.8	86.0
	92.4	91.3	89.0	92.0	84.0	86.0	83.8	86.5
	91.7	91.4	89.0	92.0	83.5	86.2	85.0	87.0
Feed부	92.0	93.0	91.0	91.0	92.0	93.0	92.0	92.0
	94.0	92.0	92.0	92.0	93.0	92.0	92.0	92.0
	92.0	93.0	92.0	92.0	93.0	91.0	92.0	92.0
	93.0	92.0	92.0	93.0	92.0	92.0	91.0	92.0
Recess부	96.0	97.0	95.0	97.0	96.0	95.0	93.0	95.0
	96.0	95.0	95.0	96.0	95.0	95.0	94.0	94.0
	96.0	95.0	96.0	96.0	96.0	94.0	94.0	95.0
	96.0	96.0	96.0	97.0	96.0	95.0	94.0	95.0
측정부위	①Recess부		②소재부		③Feed부			
	▼		▼		▼			

### 6.2. 성형품의 경도 변화

Table 7은 34Mn5와 S45C로 성형된 중공 구동축의 표면경도를 비교한 것이다. 측정결과 34Mn5가 S45C에 비해 원소재 경도는 낮으나 성형후 표면경도 증가는 높게 관찰되었다. 이는 스웨이징 성형시 Mn이 가공경화에 영향을 주는 것으로 판단된다.

### 6.3. 성형품의 치수 정도

Table 8은 34Mn5와 S45C 소재로 성형된 중공 구동축의 외경치수이다. 34Mn5와 S45C 소재로 성형된 중공 구동축 외경치수의 차이는 세팅조건 차이로 판단되며, 두 소재 모두 스웨이징 공법에서 높은 치수정도를 얻을 수 있었다.

Table 8. 스웨이징 한 중공 구동축 치수정도 (단위: mm)

구분	국산소재(S45C)				Rothrist社 소재(34Mn5)			
	시료1	시료2	시료3	시료4	시료1	시료2	시료3	시료4
측정부								
Feed부 외경 Spec. $\phi 25.7-\phi 26.3$	26.070	26.072	26.070	26.068	26.050	26.048	26.055	26.060
	26.071	26.070	26.072	26.070	26.058	26.050	26.050	26.058
Recess부 외경 Spec. $\phi 23.9-\phi 24.1$	23.959	23.955	23.957	23.958	23.958	23.959	23.956	23.954
	23.957	23.957	23.956	23.955	23.959	23.961	23.955	23.956
측정부	①(Recess부)				②(Feed부)			
	▼				▼			

### 6.4 성형품의 두께 변화

Table 9는 34Mn5와 S45C 소재로 성형된 중공 구동축의 Feed In부와 Recess부의 두께변화이며, 두께 증가는 표와 같이 성형법 및 부위에 따라 0.5mm~1.5mm 증가함을 볼 수 있었다.

Table 9. 스웨이징 한 중공 구동축 두께 변화 (단위 : mm)

구 분	국산소재(S45C)				Rothrist社 소재(34Mn5)			
	시료 1	시료 2	시료 3	시료 4	시료 1	시료 2	시료 3	시료 4
Feed부	6.5	6.4	6.5	6.4	6.6	6.7	6.7	6.8
Recess부	7.0	6.9	7.1	7.0	7.4	7.5	7.5	7.5
측정부	①(Recess부)				②(Feed 부)			
	▼				▼			

### 6.5 성형품의 표면 거칠기

Table 10은 34Mn5와 S45C의 중공 구동축의 Feed In부와 Recess부 표면거칠기이다. 34Mn5와 S45C 모두 우수한 표면거칠기를 얻을 수 있었고, 성형성이 좋은 34Mn5의 표면거칠기가 탁월하게 관찰되었다. 또한 스웨이징 공법면에서 Recess공법이 Feed In공법보다 표면거칠기가 우수함을 알 수 있었다.

Table 10. 스웨이징 한 중공 구동축 표면거칠기

구 분	국산 소재(S45C)	Rothrist社 소재(34Mn5)
Feed부	Ra 0.9516 $\mu$ m	Ra 0.7580 $\mu$ m
Recess부	Ra 0.5803 $\mu$ m	Ra 0.3108 $\mu$ m
중실 구동축	Ra 3.9671 $\mu$ m	
측정부위	①(Recess부)	②(Feed 부)
	▼	▼

## 7. 결론

자동차용 중공 구동축의 스웨이징 성형을 위해 성형기와 금형을 설계제작 하여 성형한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구에서 개발한 스웨이징 성형기로 성형한 중공 구동축이 기존 중실 구동축에 비해 12.8% 중량이 감소하였다.

2) 중공 구동축 성형제품을 통하여 스웨이징 후 제품의 표면경도가 증가하였고, 경도증가폭의 경우 Recess 성형방식이 Feed In성형방법보다 높았다. 한편 우수한 치수정도를 얻어 구동축에서 요구하는 치수정도 확보에는 문제가 없었다.

3) 스웨이징 중공 구동축의 성형시 Recess성형 과 Feed In성형에 따른 제품두께 증가폭이 다름을 알 수 있었고, 부품의 해석 및 내구시험을 통해 취약부분은 공법변경을 통해 일부 강성 보완이 가능함을 보였다.

4) 스웨이징 성형법으로 성형된 제품의 표면거칠기는 Recess성형의 경우 0.3~0.589Ra, Feed In성형은 0.76~0.95Ra로서 우수하였다.

### 參考文獻

- [1] Ing. P. Amborn, S. K. Ghosh, I. K. Leadbetter, "Modern Side-Shafts for Passenger Car : Manufacturing Processes II - Monobloc Tube Shafts". pp. 1~5, 1996
- [2] Romed L. Suffredini. " How Swaging affects Mechanical properties of Steel", Metal progress, pp. 109~120, 1963.
- [3] R. S. Dusseau, J. D. Bryzge, Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Chap.14 "Swaging", SME, Vol.2(Forming), pp.14.1~14.21, 1984.
- [4] ASM. Metals Handbook, Forming. "Rotary Swaging of Bar and Tubes". Vol.4, pp. 333~346, 1969.
- [5] Dr. Bernhard Muller, "Application of rotary swaging for the economical production of lightweight components, mainly for the car industry". HMP umformetechnik, pp. 1~5, 1995.
- [6] Serope Kalpakjian, "Dimensional Changes in Tube Swaging" Journal of Engineering for Industry, Vol. 88, No.2, pp. 147~150, 1966.
- [6] W. G. Ovens, E. I. Bartholomew, R. R. Biederman, "Metal flow two die Swaging", Journal of Engineering for Industry, Vol. 98, No.4, pp. 1121~1124, 1976.