

# 고장력강판의 스프링백 저감을 위한 서보프레스 슬라이드모션 평가

송재선<sup>1</sup> · 윤국태<sup>1</sup> · 박춘달<sup>1</sup> · 허재영<sup>1</sup> · 김용환<sup>#</sup>

## Evaluation of Servo Press Slide Motion for Springback Reduction of High Strength Steel

J. S. Song, K. T. Youn, C. D. Park, J. Y. Heo, Y. H. Kim

(Received May 15, 2017 / Revised July 17, 2017 / Accepted August 23, 2017)

### Abstract

Vehicle weight reduction is a known strategy to improve fuel efficiency and strengthen exhaust gas regulation. The use of high strength steel can satisfy safety, efficiency, emission, manufacturability, durability, and cost requirements. However, springback of high strength steel results in undesired shape defects. Springback is one of the most important issues of high strength steel for many applications in an automobile. Servo press has various capabilities to improve defects, process conditions, and productivity problems when forming a high strength steel. Especially, servo press can be set to function with variable slide motion in a single operation. In this study, the effect of servo press slide motion on 980MPa high strength steel was investigated through U-bending test.

**Key Words** : Servo Press, Slide Motion Control, High Strength Steel, Spring Back

### 1. 서론

전 세계적으로 자동차 산업은 낮은 가격, 높은 품질, 더 좋은 성능, 더 높은 안정성, 그리고 개선된 연비향상 등의 소비자 요구와 충돌안정성, 평균 연비기준, 가스배출 규제 등 정부규제를 따라 변하고 있으며, 이러한 요구와 규제를 만족하기 위해서 제품디자인의 최적화, 차량 중량감소, 낮은 비용의 재료사용, 제조 공정 혁신 등의 솔루션이 제시되고 있다. 특히, 최근 화석연료의 고갈에 따른 자동차의 연료효율 향상과 배기가스 규제의 강화에 대응하기 위한 차량의 경량화는 큰 이슈로 대두되고 있다[1].

일반적으로 자동차 전체 무게는 차체(body) 40%, 채시(chassis) 25%, 파워 트레인(power train) 15% 그리

고 부대장치(equipment) 20%로 분산되며, 이 중에서도 차체의 경량화가 큰 이슈로 대두되고 있고, 차량의 중량이 10% 감소 시 연비는 6-8% 정도 개선된다.

차체 경량화를 위해서는 보강재 부품의 수를 줄이는 것과 경량소재의 사용이 근본적인 해결방안이지만, 부품의 수를 줄이면 외부 충격 등 안전성에 악영향을 미치게 되고, 경량소재의 사용은 소재에 따라 경량화율이 10-75% 정도로 나타나지만 소재 및 제조 비용이 크게 10배 이상 증가한다[1, 2].

자동차 무게의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 차체를 성형하는 방법 중 가장 일반적이고 많이 사용되는 방법은 프레스에 의한 판재의 성형가공으로 박판의 프레스가공은 복잡한 형상의 제품을 재료손실이 적게 연속고속생산이 가능해 자동차, 항공기, 전자분야로 응용분야가 점차 확대되고 있으나, 재료,

1. 대구기계부품연구원

# Corresponding Author : School of Mechanical Engineering, Chungnam National University, E-mail: yonghkim@cnu.ac.kr

성형성, 금형 등 공정변수에 따라 주름, 파단, 스프링백, 비틀림 등의 결함이 발생된다. 특히 스프링백은 성형 후 외력제거에 따른 내부 잔류응력이 정적평형상태를 유지하기 위하여 발생하며, 치수정밀도 불량률의 원인이 되어 조립불량을 발생시킴으로써 제품 결함의 원인이 된다.

큰 비용 증가 없이 경량화와 동시에 충돌 안전성까지 만족시키기 위해서는 중량감소와 차체 강성을 강화할 수 있는 고강도강판의 적용이 증가하고 있다. 고강도강판의 사용은 인장강도가 높기 때문에 차체의 판 두께를 줄여서 경량화를 달성시킬 수 있지만, 고강도화 될수록 가공이 어렵고 용접성이 떨어지며 금형의 수명이 저하되는 단점이 있다.

고강도강판 적용 확대에 따라 차체용 부품제조를 위해 기존의 프레스성형 공정과 함께 핫스탬핑(hot stamping), 롤포밍(roll forming) 등의 공정이 이용되고 있으며, 1000MPa 이상의 초고강도강판의 경우 국내에서는 핫스탬핑 공법을 적용하여 성형하고 있으나, 해외기술 의존도가 심하고 생산성 저하 및 최종 제품의 단가가 높아지는 단점이 있다. 이렇듯 고강도강판의 적용범위가 늘어나고 있음에도 불구하고 아직까지는 성형성의 문제로 인해 일부 부품에 대해 특정공법만으로 생산을 하는 등 기존의 문제점을 전부 해결하지 못하고 있는 실정이다.

서보프레스는 최근 에너지 상승과 소재의 난성형에 대처하기 위해 도입되었으며, 서보프레스의 도입을 통해 코스트다운, 생산성향상, 가공 정도 향상, 금형 수명 향상, 소음진동의 저감 효과향상 등을 목표로 하고 있다. 최근, 마그네슘, 고장력강판, 알루미늄 등 난성형소재의 고정도/고품질가공, 공정의 단축, 복합성형 등 고부가가치 성형을 위해 자유도의 설정이 높고, 성형에 최적화된 다양한 슬라이드 모션을 설정할 수 있는 서보프레스의 도입이 급속도로 진행되었다. 그러나, 최적조건 설정의 검토에 많은 시간을 필요로 하고 있으며, 현재 국내에서 서보프레스를 이용한 성형성 평가 등에 대한 연구는 진행 중이지만 가시화된 연구결과가 미미한 상태이다[3, 4].

이에 본 연구에서는 980MPa급 고강도강판에 서보프레스의 각종 슬라이드모션 제어시 적용되는 공정변수가 스프링백에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 서보프레스

서보프레스는 프레스의 직접적인 운동에너지원이 플라이휠에서 서보모터로 변경된 것 외에는 기계식 프레스와 크게 차이가 없으나, 슬라이드의 위치 및 속도를 용이하게 제어할 수 있는 등 지금까지의 기계프레스에서는 실현할 수 없는 다양한 슬라이드의 움직임이 설정할 수 있는 것이 큰 특징이다. 이 특성을 살려 가공의 고효율화, 성형한계의 향상, 제품정밀도 향상에 기인했으며, 서보프레스의 주요기능은 다음과 같다

- ① 저속 가압
- ② 가압 유지
- ③ 반복 가압
- ④ 가속·감속
- ⑤ 가공상태 모니터
- ⑥ 임의의 위치에서 슬라이드 정지
- ⑦ 스트로크 길이 가변설정
- ⑧ 슬라이드위치의 피드백 제어

이러한 서보프레스는 전단시 파단직전에 슬라이드를 감속함으로써 소음의 저감과 슬라이드를 상하 운동시키면서 하강시켜 버(burr) 없는 가공이 가능하며, 딥드로잉 등의 판재성형에서 펀치 및 다이 등의 공구를 진동시킴으로써 판재와 공구와의 윤활성능을 향상시켜 성형한계가 향상될 뿐만 아니라 가공력의 저감, 주름의 발생 방지 가능 등 그 효과가 보고되고 있으나, 서보프레스를 이용한 성형의 결과는 소재, 금형, 가공조건 등에 의해 다르게 얻어질 것이며, 적용효과가 항상 향상된 결과만을 얻을 수는 없다[5~9].

슬라이드 모션은 시간과 위치에 의해 그 경우의 수가 Fig. 1과 같이 다양하게 나타나지만, 서보프레스는 위치와 시간을 제어함으로써 기본적인 성형속도를 늦게 하는 방향으로 소성가공 성능을 높여 짧은 스트로크의 성형을 제외하고는 성형속도가 늦어지게 되어 생산성이 낮아지는 경향이 있다. 슬라이드 위치를 제어하는 모션은 하사점 도달 전 슬라이드 위치를 상승-하강 반복 이동시키는 Program모션, 시간을 제어하는 모션은 하사점에서 한번의 유지시간을 부여하는 Stop모션과 하사점 도달 후 슬라이드 위치를 이동하여 두 번의 유지시간을 부여한 Half모션으로 구분할 수 있으며, 본 연구에 적용된 슬라이드모션의 특징은 다음과 같다.

- ① Crank모션: 일정 성형속도로 하사점까지 상형다이를 1회 하강하는 모션으로 일반적인 기계식, 유압식 프레스 성형에 적용되는 모션 → 하사점

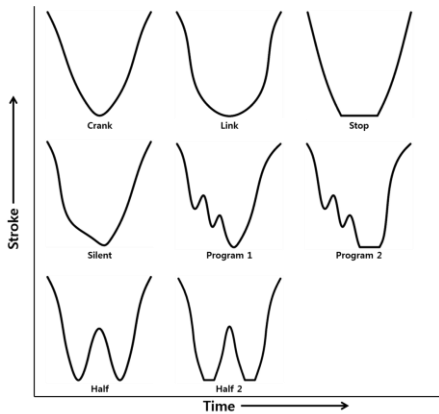


Fig. 1 Typical slide motions pattern of servo-press

도달 횟수 1회, 유지시간 0초

- ② Stop모션: 일정 성형속도로 상형다이를 하사점까지 1회 하강과 동시에 하강된 상형다이에 유지시간을 부여 → 하사점 도달 횟수 1회, 유지시간 1~5초
- ③ Half모션: 일정속도로 하사점까지 하강된 상형다이를 상승시킨 후 다시 하사점까지 하강시키는 즉, 2회의 하강하는 모션으로 성형 깊이를 2번의 반복 성형 및 하사점 도달 시 유지시간을 부여하여 위치와 동시에 시간제어 → 하사점 도달 횟수 2회, 유지시간 0~5초
- ④ Program모션: 일정 성형속도로 하강 도중 상형다이를 일정높이 상승 시킨 후 다시 하강. 즉, 하강-상승-하강-상승-하강의 단계적 위치조절 모션으로 상승 개시위치, 상승높이, 상승횟수 등 변화 → 하사점 도달 횟수 1회, 유지시간 0초

### 3. 슬라이드모션에 따른 영향분석

#### 3.1 성형시험 조건 및 측정방법

성형시험은 “U” 형상의 굽힘 시험으로 굽힘의 구성 및 시험에 사용된 C-Frame Single Action 200ton 서보프레스를 Fig. 2에 나타냈으며, 시험에 사용된 시험편은 길이 230mm, 폭 45mm, 두께 0.8mm의 980MPa급 GA도금강관으로 시험 시 시험편의 양면에 점도 46cSt의 윤활유를 도포하였다. 제품의 성형 깊이 50mm의 성형에 대하여 슬라이드모션은 크게 위치와 시간을 제어하였으며, 성형 속도는 제어하지 않고 30SPM(stroke per minute; 250mm/s)의 일정속도로 진행을 하였다.

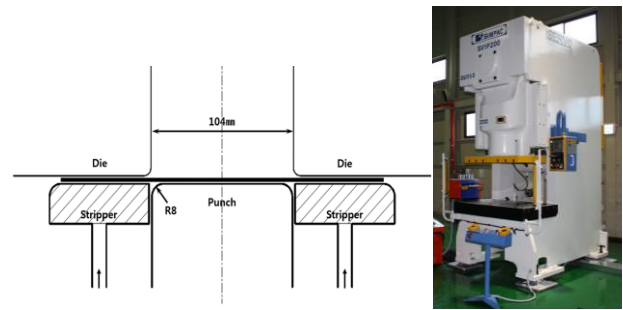


Fig. 2 The schematic of U-bending die and Servo press machine used in this study

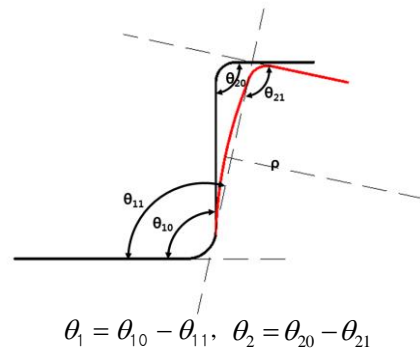


Fig. 3 Illustration of springback

Table 1 Slide motion definitions for servo press forming

Motion Type	Holding Time	Forming Time
Crank	0 sec	2 sec
Stop #1	1 sec	3 sec
Stop #2	3 sec	5 sec
Stop #3	5 sec	7 sec

각 조건 별 5개의 시험편을 성형 후 Fig. 3과 같이 Wall Opening Angle( $\theta_1$ ), Flange Angle( $\theta_2$ ), Sidewall Curl( $1/\rho$ )의 3가지 항목을 3차원(CMM) 측정하여 최대/최소값을 제외한 산술평균으로 그 값을 나타내었으며, 데이터의 평균을 중심으로 산포를 나타내는 표준편차를 계산하여 도시하였다.

#### 3.2. 시간제어에 의한 시험결과

##### 3.2.1 하사점 1회 도달 후 유지시간 영향

슬라이드의 시간을 제어하는 방법으로 상형다이가 하사점까지 하강된 후 유지시간을 부여하는 슬라이드 모션(Stop 모션)의 조건에 대하여 Table 1 및 Fig. 4에 나타내었으며, 하사점에서 1초, 3초 그리고 5초의 시간을 유지하도록 설정하였다.

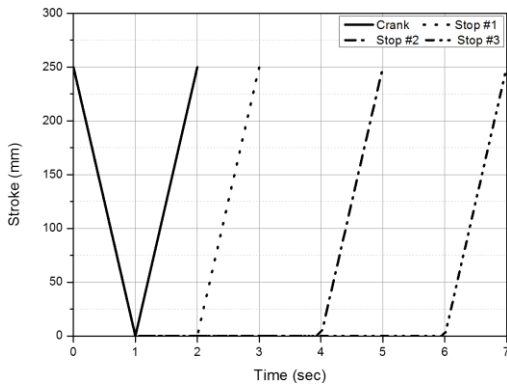
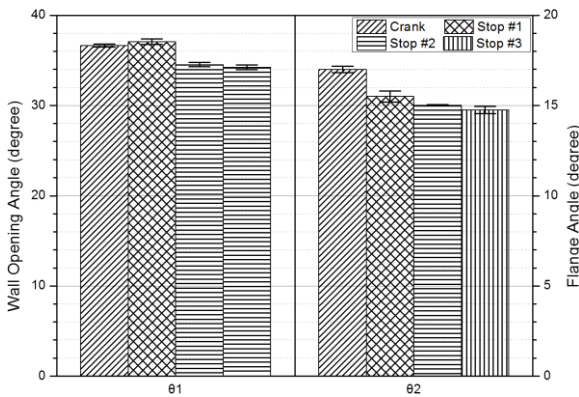
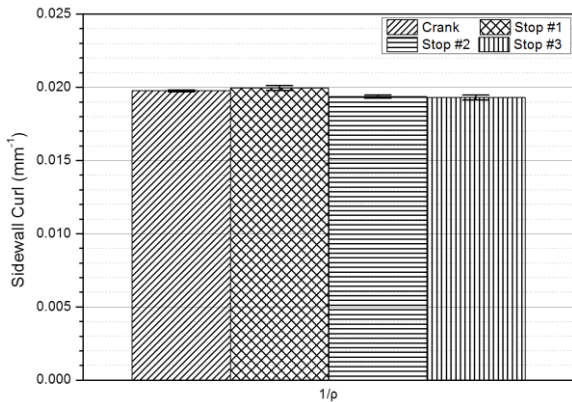


Fig. 4 The schematic of stop slide motion



(a) Wall opening angle & flange angle



(b) Sidewall curl

Fig. 5 Comparison of the springback measurements according to holding time

Fig. 5에 하사점에서 시간을 유지하여 성형한 경우와 기존의 슬라이드모션제어 없이 일정속도로 성형(Crank모션)한 경우를 비교하여 나타내었다. 하사점에서 1초의 시간을 유지한 경우 Wall Opening Angle과 Sidewall Curl은 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으나 그 차이는 크지 않았다. 3초의 시간을

Table 2 Slide motion definitions for servo press forming

Motion Type	Holding Time	Forming Time
Half #1	0 sec	2.4 sec
Half #2	1 sec	4.4 sec
Half #3	3 sec	8.4 sec
Half #4	5 sec	12.4 sec

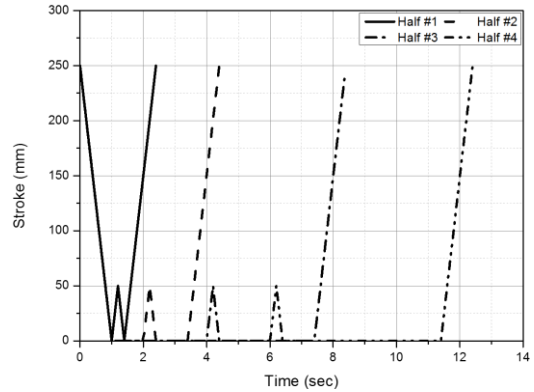


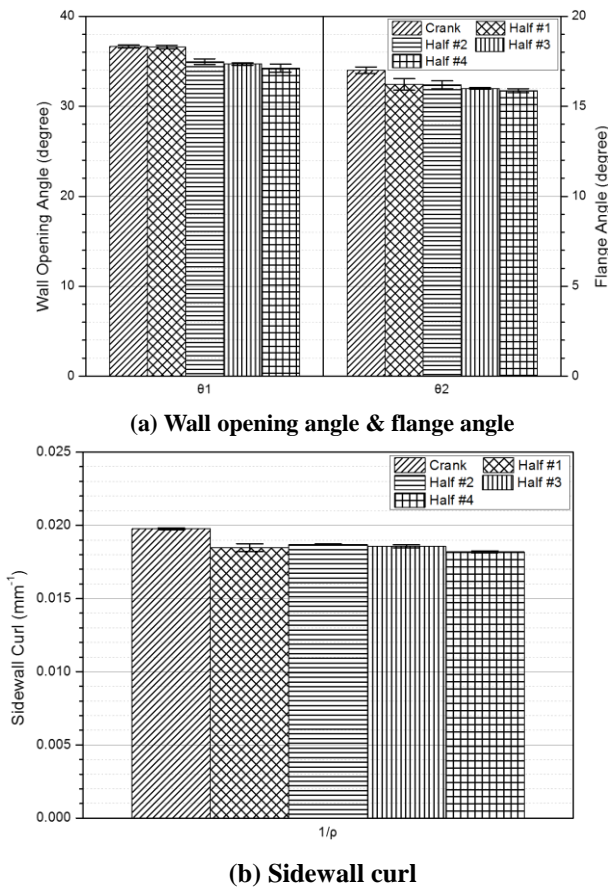
Fig. 6 The schematic of half slide motion

유지한 경우 Wall Opening Angle은 5.7%, Flange Angle은 1.6%, Sidewall Curl은 2.1% 감소하였으며, 5초의 시간을 유지한 경우 Wall Opening Angle은 6.6%, Flange Angle은 3.3%, Sidewall Curl은 2.4% 감소하였다. 하사점에서 3초 이상 유지 시 스프링백이 감소함을 확인하였다.

### 3.2.2 하사점 2회 도달 후 유지시간 영향

슬라이드의 시간을 제어함과 동시에 위치를 제어하면서 성형을 한 경우로서, 하사점까지 도달된 상형다이를 상승시킨 후 다시 하사점까지 하강시키는 2번의 반복성형으로, 하사점 도달 후 상승높이(이동량)은 50mm로 설정하였고, 상형다이가 하사점 도달 시 1초, 3초 그리고 5초의 시간을 유지하도록 설정하였으며, 성형조건에 대하여 Table 2 및 Fig. 6에 나타내었다.

성형결과 Fig. 7와 같이 하사점에 2회 도달만 했을 경우(유지시간 0초) 기존의 공정에 비해 Wall Opening Angle은 0.2% 감소하였으나, 1초 유지 시 4.6%, 3초 유지 시 5.3%, 5초 유지 시 6.6% 감소하였다. 또한, 5초 유지 시 Flange Angle은 6.7%, Sidewall Curl은 6.0% 감소됨에 따라 하사점 도달시에 시간을 길게 유지할수록 스프링 백이 작아짐을 알 수 있다.



**Fig. 7 Comparison of the springback measurements according to holding time & number of reaching BDC**

3.2.3 하사점 유지시간과 도달회수의 영향도 분석

다양한 슬라이드모션의 변화를 위한 공정변수 중 하사점 도달 후 유지시간과 하사점 도달 횟수를 제어한 경우 즉, Stop모션과 Half모션에서 기존의 슬라이드모션(Crank모션)에 비해 스프링백이 전반적으로 많이 저감되는 경향이 나타났다. 이에, 하사점 도달 회수와 유지시간을 주요 인자로 하여 스프링백에 미치는 영향도를 분석하였다.

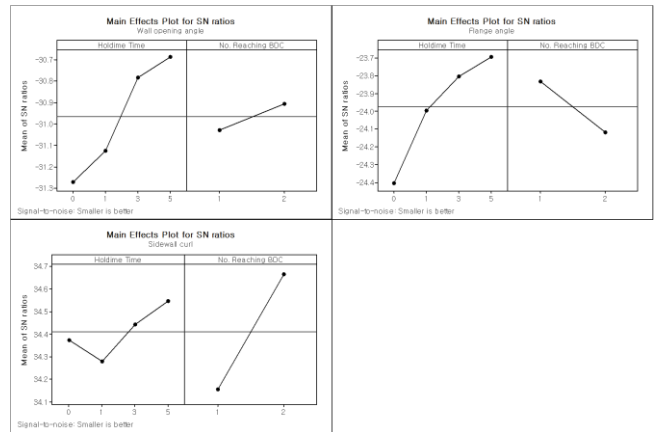
4Level의 유지시간과 2Level의 하사점 도달 횟수를 혼합 설계하여 Table 3과 같이 총 8경우의 시험에 대해 특성치가 작을수록 좋은 망소특성을 이용하여 인자들을 SN비 분석을 하였다. SN비에 영향을 주는 인자의 최적수준은 SN비를 최대화 하는 수준이며, 수준별 요인 효과도는 Fig. 8 와 같다.

각 항목별 수준의 변화가 큰 인자가 스프링백에

**Table 3 Orthogonal array table**

Case	Holding Time	No. Reaching BDC
1	0 sec	1
2	0 sec	2
3	1 sec	1
4	1 sec	2
5	3 sec	1
6	3 sec	2
7	5 sec	1
8	5 sec	2

※ BDC: Bottom Dead Center



**Fig. 8 Plot of main effect of SN ratio**

가장 큰 영향을 미치고 있음을 의미한다. 즉, Wall Opening Angle과 Flange Angle의 경우 하사점에서 유지시간이 Sidewall Curl의 경우 하사점 도달회수가 스프링백을 저감시키는데 큰 영향인자로 작용하였다.

3.3. 위치제어에 의한 시험결과

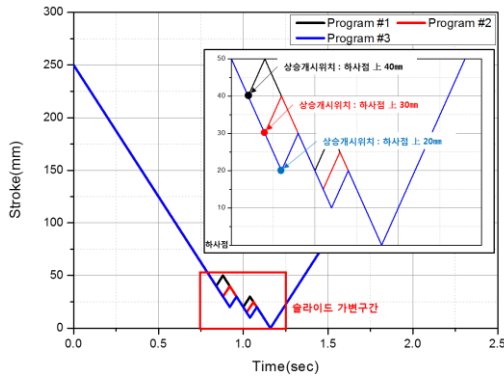
3.3.1 상승개시위치의 영향

슬라이드의 위치를 제어하는 방법으로 상형다이가 하사점까지 여러 단계를 거쳐 하강하는 슬라이드 모션의 성형 조건에 대하여 Table 4 와 Fig. 9 에 나타내었다. 상형다이가 상승을 시작하는 상승개시 위치를 하사점으로부터 상향 40mm, 30mm, 20mm 위치에서 상승이 시작되도록 설정하였으며, 상승개시 위치의 50%지점인 20mm, 15mm, 10mm 위치에서 다음 단계의 상승이 진행되도록 설정하였다.



**Table 4 Slide motion definitions for servo press forming**

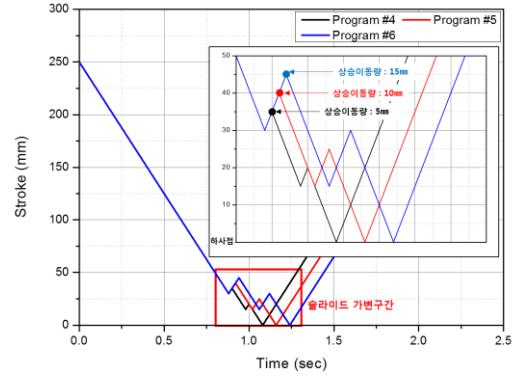
Motion Type	Rise Start Point	Forming Time
Program #1	40 mm	2.16 sec
Program #2	30 mm	
Program #3	20 mm	



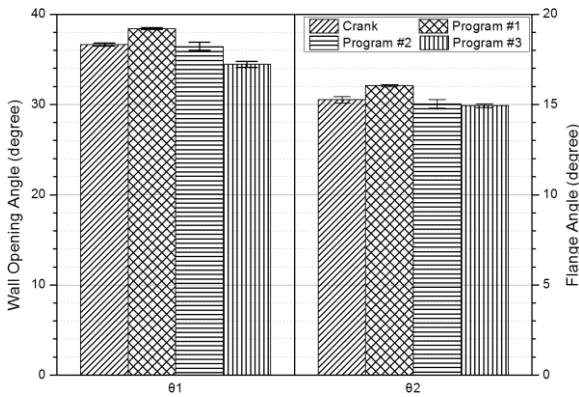
**Fig. 9 The schematic of program slide motion; change of rise start point**

**Table 5 Slide motion definitions for servo press forming**

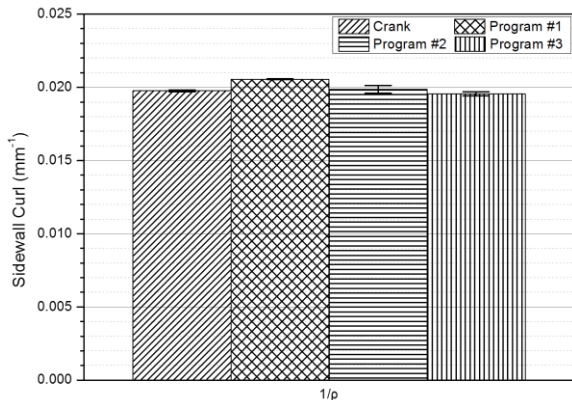
Motion Type	Rise Height	Forming Time
Program #4	5 mm	2.08 sec
Program #5 (= #2)	10 mm	2.16 sec
Program #6	15 mm	2.24 sec



**Fig.11 The schematic of program slide motion; change of rise height**



**(a) Wall opening angle & flange angle**



**(b) Sidewall curl**

**Fig.10 Comparison of the springback measurements according to rise start position**

상승높이는 10mm, 하사점 도달 전 상승횟수는 2회 그리고 각 단계의 슬라이드 상승 전 및 하사점에서 유지시간은 0초로 설정하였다.

하사점으로부터 상향 40mm 위치에서 상승이 시작된 경우를 제외한 상향 30mm, 20mm 위치의 경우 Fig. 10과 같이 기존의 슬라이드모션 제어 없이 일정 속도로 성형(Crank모션)한 경우보다 스프링백이 작게 측정되었으며, Wall Opening Angle은 최대 5.9%, Flange Angle은 2.1%, Sidewall Curl은 1.1% 감소하였다. 상승개시위치가 하사점으로부터 상향 40mm 위치인 경우보다 상향 20mm 위치인 경우 Wall Opening Angle은 10.3%, Flange Angle은 6.9%, Sidewall Curl은 4.9% 감소하였다. 즉, 상승개시 위치가 하사점에 가까울수록 스프링백이 작아지는 경향을 확인할 수 있었다.

**3.3.2 상승높이의 영향**

하사점까지 여러 단계를 거쳐 하강시키는 슬라이드모션(상승개시위치30mm, 상승횟수 2회)에서 성형 중 상승높이의 변화에 따른 성형조건에 대하여 Table 5와 Fig. 11에 나타내었다. 상승높이를 5mm, 10mm, 15mm 변화시켜가며 성형을 진행한 결과 상승되는 높이가 높을수록 즉, 상승되는 이동량이 많을수록 Fig. 12와 같이 스프링백이 작게 측정 되었다.

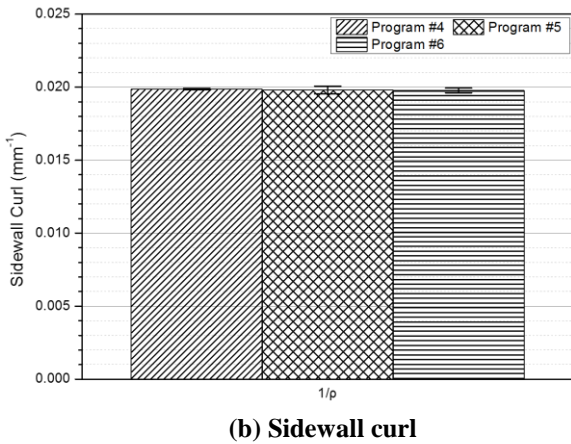
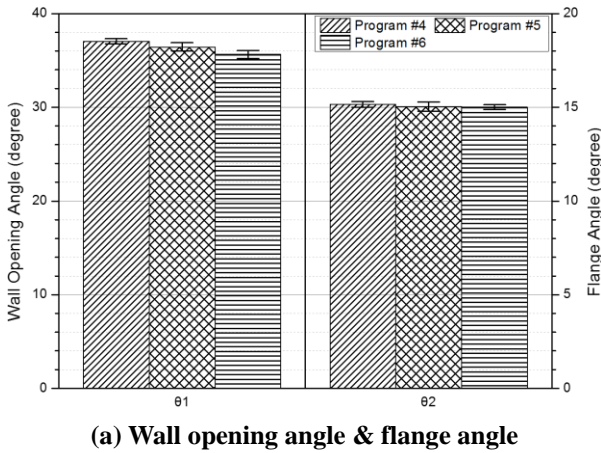


Fig.12 Comparison of the springback measurements according to rise height

상승높이가 5mm 인 경우보다 15mm 인 경우 Wall Opening Angle 은 3.8%, Flange Angle 은 1.0%, Sidewall Curl 은 0.5% 감소하였으나, Flange Angle 과 Sidewall Curl 의 차이는 미미하였다.

3.3.3 상승횟수의 영향

상형다이가 하사점까지 여러 단계를 거쳐 하강시키는 슬라이드 모션(상승개시위치 40mm, 상승높이 10mm)에서 성형 중 상승횟수의 변화에 따른 성형 조건에 대하여 Table 6 과 Fig. 13 에 나타내었다.

하사점 도달 전 상승횟수를 2 회, 3 회, 4 회 변화시켜가며 성형을 진행한 결과 상승횟수가 많을수록 Fig. 14 와 같이 스프링백의 양이 작게 측정 되었고, 상승횟수가 2 회인 경우보다 4 회인 경우 Wall Opening Angle 은 3.0%, Flange Angle 은 4.1%, Sidewall Curl 은 2.6% 감소함을 확인 하였다.

Table 6 Slide motion definitions for servo press forming

Motion	No. Rise	Forming Time
Program #7 (= #1)	2	2.16 sec
Program #8	3	2.24 sec
Program #9	4	2.32 sec

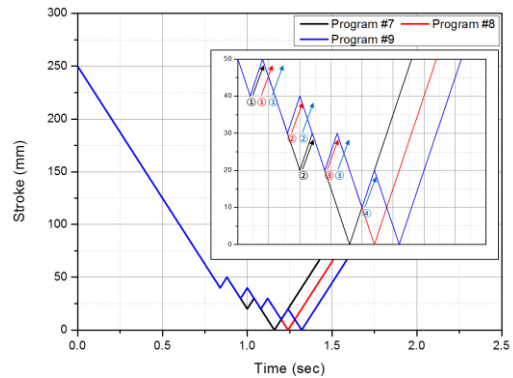


Fig.13 The schematic of program slide motion; change of rise number

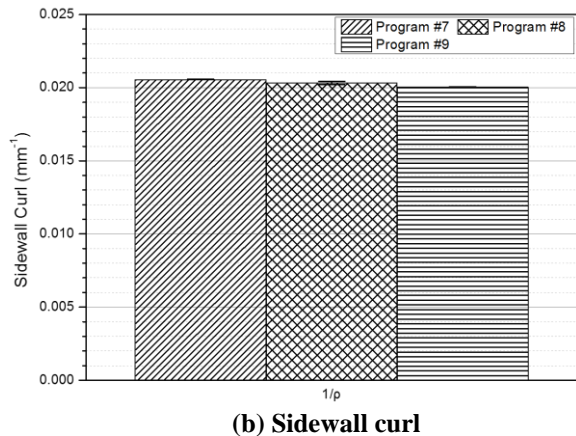
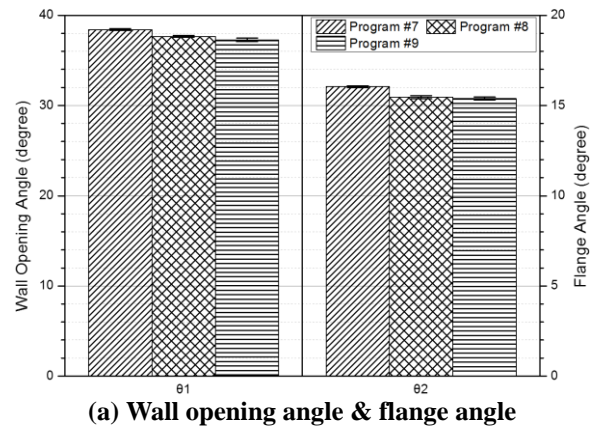


Fig.14 Comparison of the springback measurements according to rise number

### 3.3.4. 위치제어의 해석적 고찰

대부분의 서보프레스에 관한 연구들은 슬라이드 상승·하강 스텝의 적절한 위치 검토보다는 성형 중 몇 번의 반복으로 성형성을 향상시키는 것에 대한 연구가 대부분 이었다. 본 연구에서는 슬라이드의 상승·하강 스텝의 적절한 위치를 검토하기 위해 상승이 시작되는 개시위치, 상승높이 그리고 상승횟수에 대한 영향을 검토하고, 각각의 공정변수에 의한 스프링백 변화의 원인을 분석하고자 상승개시위치 및 상승높이에 따른 성형공정(Fig. 9, Fig. 11)을 PAM-STAMP를 이용하여 성형해석을 진행하였다.

슬라이드의 상하 반복적인 움직임을 통해 서서히 성형하는 것은 부하에 의해 생긴 금형 및 프레임의 변형을 감소시키고, 금형과 소재 간 윤활유의 고인/부족 방지를 통해 판 두께 감소 억제를 통하여 정도를 좋게 할 수 있다고 보고되고 있으나 아직까지 그 이유가 명확하게 밝혀지지는 않았다.

그러나, 상승개시위치와 상승높이에 따른 성형 해석 후 각 단계별 하강 후 성형품의 Center Line을 따라 나타낸 응력선도에서 나타나듯이 각 공정별 발생하는 응력의 최대 크기는 유사하지만, 단계에 따른 응력선도의 폭이 상이함을 알 수 있었다. 즉, Fig. 15의 상승개시위치에 따른 응력선도에 나타나듯이 상승개시위치가 하사점에 가까울수록 응력선도의 폭은 좁게 나타났으며, 상승높이에 따른 응력선도의 폭은 Fig. 16과 같이 그 차이가 미미하게 나타났다.

측정결과 스프링백의 차이가 크게 나타나는 상승개시위치에 따른 성형의 경우 개시위치에 따라 단계별 응력 변화의 폭이 크게 나타났으며, 스프링백의 차이가 작게 나타나는 상승높이에 따른 성형의 경우 단계별 응력 변화의 폭이 작게 나타났다. 각 공정별 스프링백의 측정결과를 성형해석의 응력밴드 폭의 차이로부터 예측할 수 있음을 확인 하였다.

여러 단계를 거쳐 성형이 진행될 경우 단계별 응력의 변화가 작을수록 스프링백이 작음을 알 수 있고, 응력의 변화가 작기 때문에 스프링백이 감소하는 경향이 나타났다 판단된다. 또한, 각각의 위치에서 상대적으로 응력이 높게 나타남에도 불구하고 스프링백이 작게 발생됨에 따라 응력의 크기보다는 단계별 응력 변화의 폭이 스프링백에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

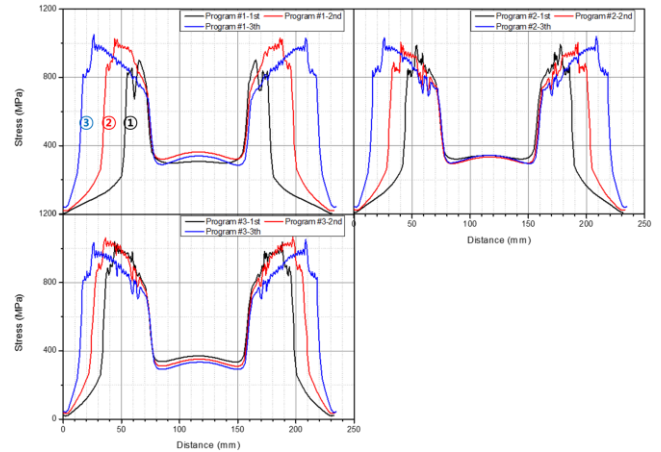


Fig.15 Comparison of the stress distribution according to rise start position

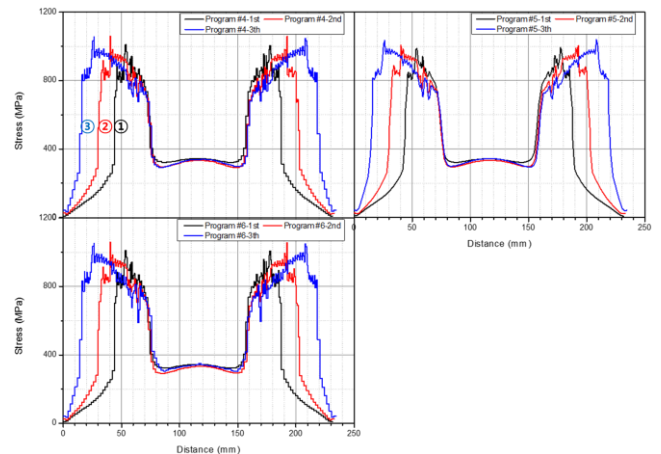


Fig.16 Comparison of the stress distribution according to rise height

## 4. 결론

본 연구에서는 서보프레스의 다양한 슬라이드모션의 공정변수가 고장력강판의 스프링백에 미치는 영향을 실험/해석적 분석을 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 슬라이드 시간제어에 의해 하사점에서 3초 이상의 유지시간을 부여시 하사점에 1회 도달하였음에도 스프링백 저감에 효과가 있음을 확인 할 수 있었으며, 유지시간이 길수록 스프링백 저감량이 크을 알 수 있었다.

(2) 하사점에 도달회수가 2회인 경우 유지시간을 부여하지 않았음에도 스프링백 저감에 좋은 효과를



나타내었으며, 더불어 유지시간까지 부여시 스프링백의 저감량이 더 커짐을 알 수 있었다.

(3) 하사점에서의 유지시간과 하사점 도달횟수가 각각의 스프링백을 저감시키기 위한 영향인자로 작용시 Wall Opening Angle 과 Flange Angle 의 경우 하사점에서 유지시간이 스프링백을 저감시키는데 큰 영향인자로 작용하였으며, Sidewall Curl 의 경우 하사점 도달횟수가 스프링백을 저감시키는데 큰 영향인자로 작용하였다.

(4) 하사점 도달 전 상형다이의 상승에 의한 위치 제어 시 스프링백 저감에 큰 효과가 없음을 확인하였다. 다만, 상승을 시작하는 위치가 하사점과 가까울수록, 상승높이가 높을수록, 상승횟수가 많을수록 스프링백이 상대적으로 작게 나타났고, 이는 단계별 발생하는 응력의 변화 폭이 작음으로 인해 스프링백이 감소됨으로 판단된다.

적절한 모션과 스텝의 설정에 따라 일반적인 프레스보다 성형성을 향상시킬 수 있지만, 시험 결과에서 나타났듯이 기존의 슬라이드 모션에 비해 좋은 결과를 나타내는 모션도 있지만 성형시간이 더 소요됨에도 불구하고 안 좋게 나타나는 모션도 존재함을 확인하였으며, 과도한 스텝은 프레스의 사이클을 저하시켜 생산성이 떨어지고, 변화된 모션이 기존의 모션에 비해 반드시 우수한 것은 아님을 알 수 있다

## 후 기

본 연구의 일부는 충남대학교 자체연구비 지원사업을 통해 연구한 내용이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## REFERENCES

- [1] M. Y. Demeri, 2013, Advanced High-Strength Steel: Science, Technology, Application, ASM International.
- [2] H. Komine, M. Asakura, T. Geka, T. Kiso, M. Takamura, T. Sugiyama, M. Asakawa, 2016, Reduction of Springback for Hat Channel with High-strength Steel Sheets by Stroke-returning Deep-drawing Process, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol. 57, No. 660, pp. 60~65.
- [3] T. Yoshida, K. Sato, E. Isogai, K. Hashimoto, 2014, Springback Problems in Forming of High-strength Steel Sheets and Countermeasures, Nippon Steel Technical Report, Vol. 103, pp. 4~10.
- [4] N. Shinomiya, N. Shirakawa, 2013, Estimation of Numerical Control Servo Press Motion for Deep Drawing, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol. 54, No. 629, pp. 78~82.
- [5] Y. Tamai, Y. Yamasaki, A. Yoshitake, T. Imura, 2010, Improving Deep Drawability of Steel Sheet by Motion Control of Servo Press, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol. 51, No. 592, pp. 68~72.
- [6] N. Shinomiya, N. Shirakawa, 2015, Improved form Accuracy Throught Slide Motion Control in Impact Extrusion of Square Cups, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol. 56, No. 654, pp. 47~52.
- [7] T. Iwata, N. Iwata, S. Hotta, 2015, Material Model Incorporating Strain Rate and Sheet Metal Forming Analysis Under Slide Motion, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol. 56, No. 658, pp. 81~86.
- [8] N. Shinomiya, N. Shirakawa, 2013, Estimation of Numerical Control Servo Press Motion for Deep Drawing, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol. 54, No. 629, pp. 78~82.
- [9] K. H. Kang, S. H. Kim, H. C. Ro, 2016, Change in Springback Tendency during Forming of a Hat-type Product with High Strength Steel using a Digital Servo Press, Trans. Mater. Process., Vol. 25, No. 1, pp. 21~28.