

# 다단 복합 프레스 성형 공정에서의 최적 성형 해석 기법에 관한 연구

## A Study on optimal press analysis method in the multistage combined stamping

\*정희진<sup>1</sup>, 김동우<sup>2</sup>, #고태조<sup>3</sup>, 송태성<sup>1</sup>

\*H. J. Jeong<sup>1</sup>, D.W.Kim<sup>2</sup>, #T.J. Ko(tjko@yu.ac.kr)<sup>3</sup>, T.S.Song<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경북하이브리드부품연구원, <sup>2</sup>아진산업(주), <sup>3</sup>영남대학교 기계공학부

Key words : combined stamping, multistage, FEM, press, analysis

### 1. 서론

프레스 성형 공정은 가공 도중에 소재의 손실을 최소화할 수 있고, 단위제품 당 생산시간이 짧아 낮은 가격으로 대량생산이 가능하며, 무게에 비해 강도가 높고 표면특성이 우수한 장점이 있으므로 자동차, 기계 및 전자부품산업 등에서 매우 중요한 제조공정 중 하나로 활용되고 있다. 특히 자동차 차체 및 사시 부품은 대부분 박판성형으로 이루어지는데 이는 드로잉, 벤딩, 리드로잉, 아이어닝 등이 조합된 복합 변형조건을 내포하고 있으므로 고난이도의 성형공법이 요구되고 있다.

최근 프레스성형가공은 자동차 경량화 추세와 맞물려 고장력 강판, 마그네슘 판재의 성형에 대한 기술수요가 급격히 증대되고 있다. 하지만 이러한 신소재는 기존의 강판 소재에 비해 성형성이 매우 떨어지므로 우수한 성형성을 확보할 수 있는 기술에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

그 중 대표적인 기술로 프레스금형의 펀치부를 분할하여 제어함으로써 한번에 다공정을 수행할 수 있는 다단 복합 성형 기술을 들 수 있다. 다단 복합 성형 기술을 통해 복합곡면 형상의 부품의 성형을 매우 효율적으로 수행할 수 있으며, 생산공정의 감소를 통한 생산성 향상을 이끌어낼 수 있다.

본 연구에서는 이러한 다단 복합 성형 공정의 전산 성형 해석을 수행하여 공법의 신뢰성을 검증하는 한편 다단복합 성형에 최적화된 해석 기법을 제시하고자 한다.

### 2. 다단 복합 프레스 금형 설계

일반적으로 한계드로잉비 이상의 성형 높이를 지니는 제품의 경우 다공정으로 성형하게 된다. 또한 복합, 다중 곡면을 가지는 성형품의 경우 추가 드로잉(Re-Drawing) 공정이 필요하다. 그러나 공정수가 증가함에 따라 금형비 상승, 생산시간 증가 등으로 인해 경쟁력 확보가 어려울 뿐만 아니라, 제품의 외관 품질 향상과 판두께의 균일화가 쉽지 않다는 단점이 있다. 상형금형의 펀치부를 분할하여 다중곡면을 한 공정에 다단성형할 수 있는 기술이 개발된다면 성형성의 획기적인 보완 및 공정 최소화를 이끌어 내는 것이 가능하다.

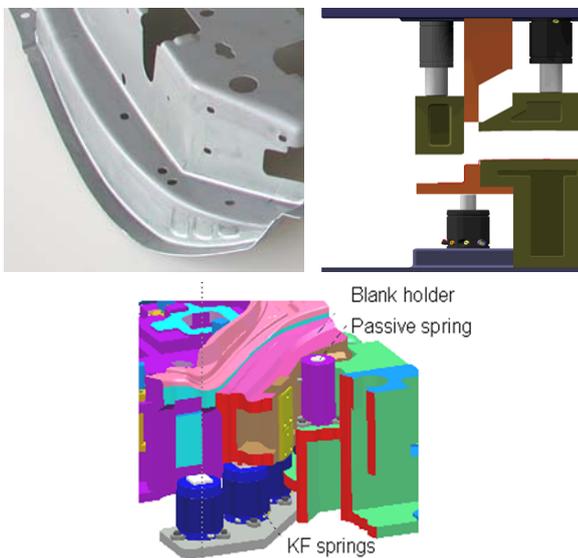


Fig. 1 multistage combined Die for door panel

기존의 프레스금형이 단순하게 상, 하형 및 펀치부, 블랭크홀더 등으로 구성되어있는데 반해 다단복합금형은 펀치부를 분할하여 가스스프링 또는 유압실린더로 순차제어하여 성형하는 형태로 구성되어 있다. Fig.2는 가스스프링을 이용하여 자동차 도어 판넬 Draw 금형의 펀치부를 순차제어하는 알고리즘을 도시한 것으로, 다양한 형태의 복잡형상 부품에 적용이 가능하다.

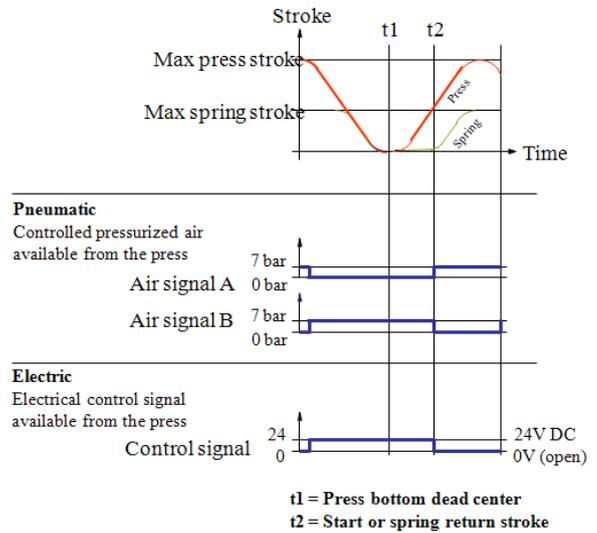


Fig. 2 sequential control algorithm using gas spring

본 연구에서는 자동차 SIDE OTR 모듈의 구성부품인 REINF-FR PLR OTR LWR의 성형에 상기의 금형 및 순차제어 알고리즘을 적용하여 Fig.3과 같이 펀치부를 분할한 금형 시스템을 구상하였다.



Fig. 3 punch separation

### 3. 다단 복합 성형 해석

일반적인 프레스 성형 공정은 펀치의 진행속도가 느린 준정적인 상태로 가정이 가능하므로 정적 내연적 해석방법(static implicit method)<sup>1</sup>을 적용하는 경우 그 신뢰도가 높게 나타난다는 것이 일반적인 시각이다. 이외에도 외연적 시간 적분법(Explicit Time-Integration Method)<sup>2</sup>이 있는데, 이 방법은 시간 증분(time increment)을 안정 한계(stability limit)이하로 유지하면 축차에 의한 수렴없이 항상 해를 구할 수 있을 뿐 아니라 복잡한 형태의 접촉이 계제된 문제도 쉽게 해결된다.<sup>4</sup>

식 (1)은 시간  $t_{n+1}$  상태의 해를 구하기 위한 시간증분  $\Delta t_{n+1}$ 에 대해 도시한 것이다. N은 해석에 사용된 박판요소의 총 개수이고,  $\Delta t_i$ 는 i번째 요소에서 계산된 임계시간증분, 는 시간증분의 결정을 위한 안전상수이다.<sup>3</sup>

$$\Delta t_{n+1} = \alpha \min(\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_N) \quad (1)$$

또한 외연적 시간 적분법에서는 해의 안정성(stability)을 위해 시간 증분을 안정 한계(일반적으로 내연적 시간 적분법의 1/100 ~ 1/1000 정도)내로 유지해야 하기 때문에 전체 계산 스텝수는 매우 크게 되지만 계산 소요 시간에 있어서는 복잡한 3차원 형상 및 접촉의 경우 내연적 시간 적분법에 비해 감소하는 효과가 있다.

최근의 성형해석 프로그램은 대부분 외연적 시간 적분법을 활용한 동적 외연적 해석방법을 채택하고 있으며 해의 안정성을 보장하기 위한 시간증분을 자동적으로 결정하도록 해준다. 그러므로 사용자가 시간증분에 대하여 크게 고려하지 않아도 해석을 수행할 수 있게 해 주므로, 일반적인 성형경향을 예측하기위해서는 가장 적합한 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 신뢰성있는 외연적 해석 알고리즘을 탑재한 Dyna-Form 5.6과 LS-Dyna solver를 이용하여 해석을 수행하였다. 성형해석에 사용된 재질은 자동차 Door에 주로 쓰이는 냉간 압연강판 DQ 36 계열로 주요 물성치는 Table 1과 같다. 성형시 윤활은 무윤활 조건으로 가정하였다.

Table 1 Material property

Property	Pinion
Sheet thickness	1.2 mm
Young's modulus	E = 2×10 <sup>5</sup> MPa
Poisson's ratio	ν= 0.3
Binder Holding Force	30 ton
Friction Coefficient	0.18

해석은 2가지 유형으로 분류하여 실시하였다. 우선 일반적인 딥드로잉 공정으로 단동성형해석을 수행하였으며, 두 번째로 multi-stage 해석기법을 활용하여 Fig.3과 같이 편치를 3분할한 다단성형해석을 수행하였다.

Fig.4는 일반적인 딥 드로잉 공정으로 성형해석한 결과를 나타낸 것인데, 복합곡면이 교차하는 부위와 성형깊이가 깊은 측면부에 넓은 범위의 Crack 분포가 나타남을 확인할 수 있다. 성형후 소재의 thickness의 분포를 확인해보면 측면 상단부 Crack 부위가 0.423556mm으로 나타나 실제성형이 이루어질 경우 넓은 범위의 측면부 파열이 우려된다. 이러한 경우 한번의 Draw 공정으로는 성형이 어려우며, 성형깊이가 더 깊을 경우 윤활 및 온간적용등의 추가대책이 요구될 것으로 예상된다.

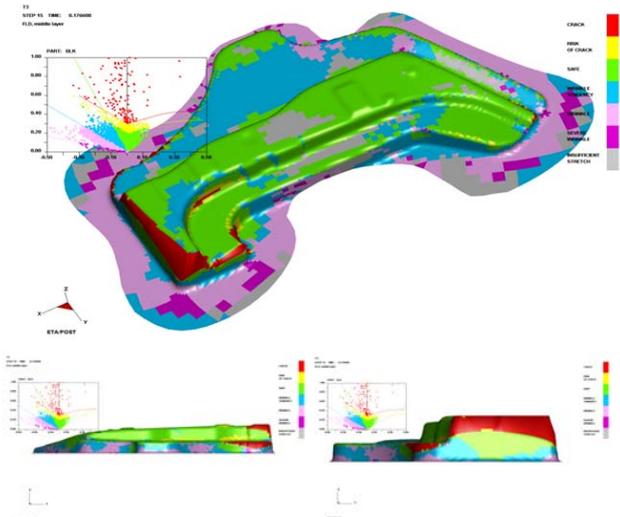


Fig. 4 Analysis using general deep drawing method

일한 재료 물성치를 적용하여 성형해석한 결과로 Crack 부위가 확인되지 않고 있다. 가장 성형성이 떨어지는 측면상단부 또한 thickness가 0.784226으로 미세한 Necking이 우려되는 수준이다. 그리고 Fig.4에서 확인되었던 주름발생부위 또한 현저히 감소한 것을 확인할 수 있었다.

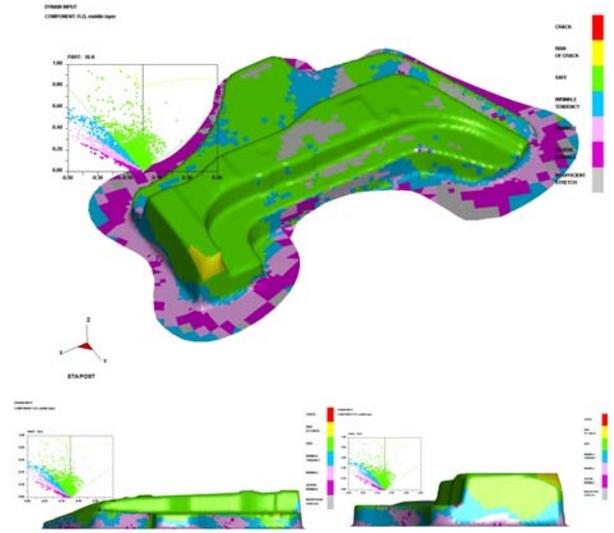


Fig. 5 Analysis using multi-stage method

#### 4. 결론

다단복합 프레스 성형공법의 신뢰성을 전산성형해석을 통해 규명하고 최적의 해석방안을 제안하는 연구를 수행하였다. REINF-FR PLR OTR LWR 부품 성형을 위해 다단복합금형 설계를 수행하였으며, 편치의 순차(다단)제어시스템에 대한 알고리즘을 제안하였으며, Dyna-Form 및 LS-Dyna solver의 multi-stage 해석기법을 활용하여 다단복합공정을 성형해석하였다.

이러한 일련의 과정을 통해 다단복합성형공정의 실제적용을 위한 신뢰성을 확보할 수 있었다.

본 연구 결과를 토대로 향후 복잡형상의 자동차 차체/샤시 부품 및 고장력강판, 마그네슘 등의 난성형 소재에도 적용을 검토할 것이며, 온/열간 공법과의 복합화도 기대가 된다.

#### 후기

본 연구는 아진산업(주)와 (재)경북하이브리드부품연구원의 다단복합성형공법 선행공동연구를 통해 수행된 연구결과임.

#### 참고문헌

- Hibbit H.D., Marcal P.V., and Rice J.R., "Finite element formulation for problems of large strain and large displacements", Int. J. Solids Struct., Vol. 6, pp.1069- 1089, 1970.
- R. Hill, "Theoretical Plasticity of Textured aggregates", Math. Proc. Camb. Phil. Sci, Vol.85, pp.179-191, 1979.
- 심현보, 전성문, 손기찬, "박관성형에서의 외연적유한요소법의 안정성과 내연적 해석법과의 비교", 한국소성가공학회지 제9권, 제3호, pp. 1-13, 2000.
- 정동원, "외연적 시간 적분법을 이용한 박관성형공정의 강소성 유한요소해석", 박사학위논문, KAIST, 1995.

Fig.5는 Dyna-Form의 multi-stage 해석기법을 활용하여 동