

# Hot Forming 시 Boron Sheet 의 특성 평가를 위한 유한요소 해석 및 실험적 연구

\*안상현<sup>1</sup>, #강총길<sup>1</sup>, 권기영<sup>2</sup>

\*S. H. An<sup>1</sup>, #C. G. Kang(cgkang@pusan.ac.kr)<sup>1</sup>, K. Y. Kwon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 기계공학부, <sup>2</sup>부산대학교 하이브리드소재기술루션 협동과정

Keywords : Hot forming, Boron sheet, Simulation.

## 1. 서론

오늘날 차량 경량화 및 충돌 안정성을 만족시키기 위하여 알루미늄 합금강판, 마그네슘 합금강판 등의 신소재를 이용하거나, 하이드로포밍(Hydroforming), 용접 블랭크 등의 신 성형기술을 이용하여 경량부품을 개발 및 제작하고 있다. 그러나 알루미늄 강판이나 마그네슘 합금 강판등이 철강소재에 비하여 차체 중량을 줄이는데 효과는 있지만, 가격이 비싸고 성형성이 열악하여 실제 차체 제작에 적용 시 제한 사항이 많다.

철강소재를 이용한 차체의 경우에는 AHSS 를 많이 적용하게 되는데, 이러한 소재의 특징은 높은 강도를 가지며 상대적으로 소재 연신율이 낮기 때문에 기존의 상온 스탬핑 공정으로는 부품을 성형하는데 한계가 있다. 이러한 낮은 성형성을 극복하기 위하여 여러 가지 새로운 가공방법이 사용되고 있다. 그 중 대표적인 방법이 HPF(Hot Press Forming)공정이다.

차체경량화를 위하여 철강재료에서 알루미늄소재나 플라스틱과 같은 대체소재를 이용하여 차체부품으로 활용하고자 하는 연구가 다양하게 시도되고 있다. 프레스공정에서 소재를 경화시키는 프레스경화공정은 보론강과 같이 경화능이 큰 재료의 판재를 고온상태로 가열 후 상온의 금형을 이용하여 성형하는 새로운 판재성형 방법으로써 1975 년 스웨덴의 SABB 사에서 개발된 이후 유럽과 미국 등에서 응용되고 있다.

핫프레스 공법은 보통 소재를 900℃ 이상 가열한 후 프레스공정에서 냉각속도를 제어하여 마르텐사이트 조직을 얻은 공정이다. 이때 냉각속도에 미치는 인자는 프레스공정에서 가열된 소재와 금형 사이의 열전달 현상에 의하여 결정된다. 가압공정에서 소재의 열전달 현상에 미치는 인자는 열전달 계수를 제어하는 것이다. 이러한 열전달 계수는 900℃로 가열된 판재가 성형이 완료된 후 펀치의 가압력과 가압시간이 열전달 계수 값에 크게 영향을 미친다. 자동차 부품의 고강도 보론강의 적용연구에서 Lee[1] 등은 보론강의 열처리 조건에 따른 기계적 특성을 파악하였고, Lee[2] 등은 마이크로 구조와 기계적 특성 사이의 관계를 규명하였다. Kim[3] 등은 열변형 거동의 유한해석과 실험적 연구를 수행하였다. Xing[4] 등은 보론강판을 실제성형 후 스프링백에 대한 결과를 해석하는 연구를 수행하였다.

지금까지의 연구는 보론강판을 이용한 성형실험 및 공정해석과 구조해석 연구가 대부분이었지만 제품의 성형과정에서 냉각속도를 고려한 연구는 발표되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 Hot Press Forming 성형에서 가장 중요하게 여겨지는 냉각속도를 제어하는 주요 성형조건에 따라 실험 하기에 앞서 유한 요소 해석을 통하여 예측하고 고온상태의 강판을 냉간금형을 이용하여 프레스 성형을 실시하여 기계적성질 및 미세조직을 관찰하였다. 본 연구는 향후 핫프레스포밍 공정에서 효율적인 냉각속도제어에 검토할 수 있는 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. Hot Press Forming 실험방법 및 유한요소 해석

### 2.1 Hot Press Forming 공정개요

HPF 은 강판을 900℃ 이상의 고온으로 가열 한 후 상온의

금형으로 성형함과 동시에 급냉하여 강도를 증가시켜 초고강도 부품을 제조하는 성형 방법으로, 성형성이 우수한 고온의 상태에서 성형이 이루어져 복잡한 형상의 부품을 성형할 수 있다. 1300 MPa 전후의 인장강도를 갖게 되므로 자동차 충돌부품에 사용이 급속히 증가하고 있으며, 차량 경량화와 동시에 점차 강화되는 충돌법규를 만족시킬 수 있는 가장 효과적인 기술로 크게 각광받고 있는 신기술이다.

Hot Press Forming 공정은 강도가 매우 큼에도 불구하고 우수한 성형성, 용접성을 가지고 있다. UHSS 의 경우는 연신률이 아주 작아 제품 형상에 큰 제약이 있으며, 특히 성형 후 스프링백에 의한 형상변화로 인하여 자동차부품간의 조립에 큰 문제가 있으나, HPF 의 경우 고온 성형시 연신률이 일반연강 (Mild steel) 보다 뛰어나서 복잡한 형상의 제품 성형이 가능하며, 성형 후 스프링백이 거의 없어 정밀한 부품을 제작할 수 있다.

일반적으로 마르텐사이트 시작온도(MS)보다 200℃ 정도 낮은 온도까지 냉각해야 90% 이상의 마르텐 사이트 조직을 얻을 수 있다. 즉, 충분한 마르텐사이트 조직을 얻기 위해서는 냉각 속도가 약 25℃/s 이상이 되어야 한다.

### 2.2 Hot Press Forming 실험장치

본 연구에서 사용한 핫프레스포밍 장비중 프레스는 최대 하중 200ton 의 복동식 유압프레스를 사용하였으며, 금형과 펀치에는 냉각수 유입을 위해 냉각 홀을 설계하여 제작하였다. Electric furnace 는 10~12kW 출력을 가지며 최고온도 1100℃ 까지 가열 가능하며, 판재소재의 고정을 위해 내화벽돌을 이용 하였다. 또한 금형과 소재의 온도변화를 측정하기 위해 data logger(TDS-602)를 설치하여 측정하였다. 펀치 하중은 capacity 20ton 로드셀을 이용하여 측정하였으며, 로드셀 데이터 수집기(strainmeter)를 통해 얻은 데이터는 컴퓨터에 저장할 수 있도록 설치 되어있다.

실험에 사용된 금형은 온도 변화를 관찰하기 위하여 각 포지션별 Thermocouple 을 설치 하였고, 냉각 홀은 직경  $\phi$  10 길이 100mm 의 동일한 크기를 제작하였다.

### 2.3 Hot Press Forming 유한요소 해석

프레스 성형 실험에 앞서 JSTAMP 를 이용하여 유한요소 해석을 실시하였다. 유한요소 해석을 통한 Simulation 결과를 바탕으로 실제 프레스 성형 실험 시 나타날 수 있는 여러 결과들을 예측 할 수 있었으며, 이를 통하여 최적의 성형 조건을 알아 보았다.

Fig. 1 은 유한요소 해석을 통한 최적 조건에서의 Simulation 결과로 Maximum Thinning 이 6.3% 로 과단부위 없이 안정적으로 성형 되었고, blank 의 position 별 온도 변화를 포함하여 나타내고 있다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 Hot Press Forming 실험조건

본 실험에 사용된 보론강판은 200X100 의 두께 1.4t 를 사용하였으며, 강판이 electric furnace 에서 완전 오스테나이트조직을 가질 수 있도록 930℃에서 5min 동안 가열하였다. 냉각시 물의 온도는 상온(20℃)을 유지하였다.

성형조건은 Hot Press Forming 성형에서 가장 중요하게 여겨지는 냉각속도에 따른 성형품의 기계적성질을 확인하기 위해 중요한 변수로 작용할 수 있는 펀치의 가압력(pressing

force)과 금형온도(die temperature) 변화에 따른 미세조직 관찰과 기계적 성질을 알아 보았다.

Table 1 Experimental conditions of hot press forming process

Conditions	Die temperature (°C)	Pressing force (kN)	Holding time(s)
1	20	200	275
2	20	100	275
3	20	50	275
4	100	50	275
5	200	50	275
6	300	50	275

Table 1 는 핫프레스포밍 실험의 변수 조건을 나타낸 것이다.

3.2 펀치하중에 따른 성형결과

실험에서 펀치 가압부의 인장강도 및 경도가 우수함을 알 수 있었는데, 이러한 현상이 펀치 하중에 의해 나타나는 현상인지에 대하여 확인해 볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 펀치 pressing force 에 따른 기계적 성질 및 마이크로 조직사진을 관찰해 보았다.

하중에 따른 인장강도의 특별한 차이는 확인할 수 없었으며, 연신율 또한 10%내외로 일정함을 확인 하였다. 하지만 하중이 가압되는 부분에는 최대인장강도 및 항복강도가 150MPa 정도의 차이를 확인할 수 있었다.

3.3 금형온도에 따른 성형결과

본 실험에서는 금형의 온도에 따른 제품의 미세조직 및 기계적 성질에 대해 알아 보았다.

금형온도가 상승함에 따라 blank 의 냉각속도가 현저하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 경도, 인장강도 등 기계적 성질에 큰 영향을 미칠 것 이라고 생각된다.

금형온도가 상승함에 따라 경도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 hot press forming 성형시 냉각속도가 금형의 온도변화에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 특히 금형온도가 300°C일때의 조직과 경도는 현저히 떨어짐을 보였다. Fig. 2 는 금형온도에 따른 각 위치별 최대인장강도를 비교하여 나타낸 그래프이다. 금형온도가 20°C와 100°C일때의 강도는 큰 차이가 없었으나, 금형의 온도가 200°C 이상 상승하면 100MPa 이상의 강도차이가 나타났다.

4. 결론

Hot press forming 공정을 이용한 하이브리드 보론강관의 강도 향상을 목적으로 고온상태의 강관을 냉간금형을 이용하여 유한요소 해석을 통하여 Simulation 하여 결과를 예측하고 프레스 성형을 실시하여 성형조건에 따른 기계적성질 및 미세조직변화를 관찰해 보았다.

(1)성형시 펀치하중에 따른 인장강도의 변화는 나타나지 않았으며 연신율 또한 10% 내외로 일정함을 확인 하였다. 하지만 하중을 직접받는 가압부의 강도와 비 가압부의 강도변화를 확인할 수 있었다. 가압부의 최대인장강도 및 항복강도가 100MPa 이상 큼을 알 수 있다. 이는 유한요소 해석을 통한 Simulation 결과와 유사하게 가압부가 비 가압부보다는 냉각 속도가 늦었지만 마르텐사이트 조직으로 변태하기에는 충분 하였고 펀치하중에 의하여 상대적으로 가압부가 비가압부 보다 조직이 세밀해 진 것으로 사료된다.

(2)금형의 온도가 100°C 까지는 인장강도의 변화가 크게 나타나지 않았지만, 200°C 이상일 때는 다소 감소함을 확인할 수 있었다. 경도변화는 100°C 까지는 약간 감소하다가 200°C 이상일 때는 조금 더 큰 감소량을 확인할 수 있었다. 이는 금형의 온도가 200°C이상 일 때부터 blank 의 냉각 속도에 더 많은 영향을 주어 충분한 마르텐사이트 조직으로 변태 하지 못하게 영향을 끼친 것으로 사료된다.

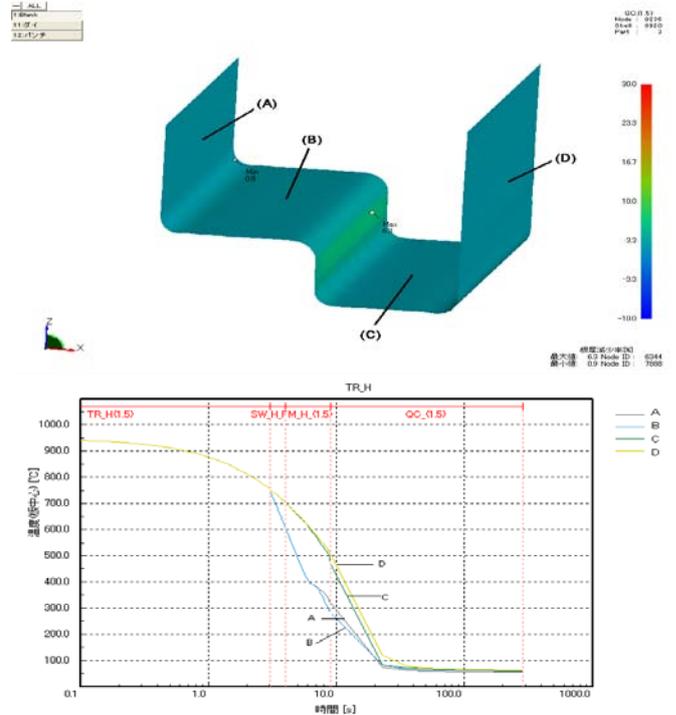


Fig. 1 The result of simulation for optimal condition and change of the boron sheet temperature according to the position.

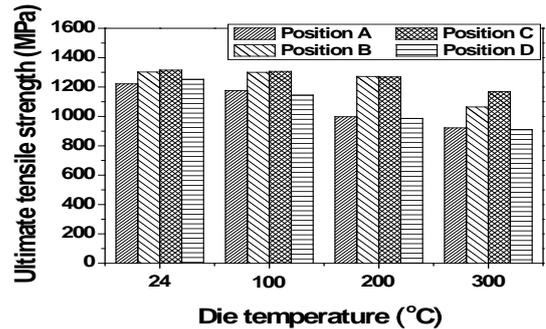


Fig. 2 Ultimate tensile strength of boron sheet for each position by die temperature, (pressing force: 50kN, holding time: 275s)

후기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. J. H. Lee, D. S. Yoo and S. K. Park, "A Study on Fatigue strength by hardenability of Boron Addition Steel", J. Korea Society of Industrial Application, Vol. 6, No. 4, pp 299-305, November,2003.
2. J.S. Lee, M.S. Chae, C. D. Park, and Y. S. Kim, "Mechanical and microstructural characteristic of a high-strength boron-alloyed steel for hot press forming", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, pp 334-349, 2007. 5
3. H. S. Kim, M. H. Seo, S. J. Kim, S. C. Baik, W. J. Bang and H. R. Lee, "Finite Element Analysis and Experimental Investigation on the Thermal Deforming Behaviour of Steel Sheets during Press Hardening", J. Kor. Inst. Met. & Mater, Vol. 39, No. 9, pp 1076-1084, 2001.
4. Z. W. Xing, J. Bao and Y. Y. Yang, "Numerical simulation of hot stamping of quenchant boron steel", Materials Science and Engineering A 499, pp 28-31, 2009.