한국소성가공학회 2003 년도 춘계학술대회 논문집 pp.249~253

하이드로포밍을 적용한 Engine Cradle 의 소재 특성에 따른 성형성 고찰

박재헌* · 최이천* · 김경기*

A Study on the Formability of Engine Cradle applied to Hydroforming according to Material Properties

J. H. Park, Y. C. Choi and K. K. Kim

Abstract

In recent years, developments of light weight vehicle are one of the most important issues in automotive makers. New materials and new processes have been studied on the point of weight saving of chassis worldwide. Associated with materials, applications of high strength steel, aluminium, magnesium are being developed. On the point of new processes, tailored welded blank and hydroforming have been applied. In this paper, focusing to both material and process, we have applied hydroforming process to the engine cradle. In addition to that, three kinds of high strength steel have been applied to the development of light weight material for hydroforming. All the studies have been carried by FEM

Key Words : light weight vehicle, high strength steel , hydroforming, engine cradle, FEM

1. 서 론

세계 주요 자동차 메이커들은 지구 온난화 방지에 따른 저 연비차의 개발이 최대 이슈가 되고 있다. 특히, 자동차 차체분야의 경량화에는 크게 소재와 신공법 측면에서 검토되고 있는데, 소재 측면에서는 고장력 강판, 알루미늄, 마그네슘 소재 등의 적용 기술이 개발되어 활용되고 있으며, 공법 측면에서는 테일러드 블랭크(Tailor welded Blank), 하이드로포밍(Hydroforming) 같은 신공법을 통해서 경량화를 이루고 있다.

특히 하이드로포밍은 차체경량화 뿐 아니라 강성향상, 품질정도 향상 등 많은 이점이 있어 전세계적으로 샤시부품, 차체부품 및 배기계 등에 활발히 적용하고 있는 실정이다. 일반적으로 하이드로포밍이라 하면 관재 하이드로포밍을 일컫는데, 하이드로포밍을 적용하면 부품수와 공정수가 줄어들어 성형과 조립에 소요되는 비용을 절감할 수 있다. 또한 고압의 수압을 이용하여 소재를 변형시키므로 치수정밀도가 높고 제품의 응력 분포가 고르며 점용접으로 조립되지 않으므로 고강도를

* 기아자동차 프레스생기팀

유지할 수 있어 소재의 두께를 줄일 수 있다. 반면에 하이드로포밍 공법을 적용하면 소재의 확관량에 한계가 있으므로 제품설계 및 공정설계에 대한 많은 노하우가 필요하고 고가의 설비 투자가 부담스러운 단점이 있다.

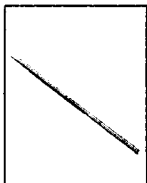
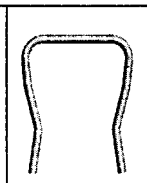
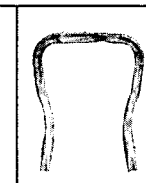
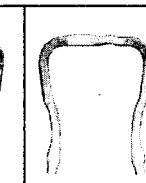
현재 당사 Engine Cradle 은 상하 크로스 멤버, 좌우 사이드 멤버를 각각 프레스 성형 후 용접하여 만들고 있으나, 상부 크로스 멤버와 좌우 사이드 멤버를 일체화하여 하이드로포밍 가능하도록 설계하여 약 10% 경량화를 이룰 수 있었다. 본 논문에서는 하이드로포밍을 적용한 Engine Cradle 의 소재 두께를 줄여 추가 경량화를 이루고자 38Kg, 45Kg, 60Kg 급 고강도 소재의 적용 가능성을 FEM 을 통해 확인하고 향후 소재개발의 방향을 수립하고자 하였다.

2. 공정설계 및 소재특성

2.1 공정설계

Engine Cradle 을 하이드로포밍 공법으로 적용하기 위한 공정을 다음과 같이 설계하였다. 초기 소재를 제품형태에 맞게 6 회 Pre_bending 하고 Pre_forming 공정을 통해 소재가 하이드로포밍 다이에 삽입되고 적절한 성형단면을 형성할 수 있도록 하였다. 이 후 Pre_forming 한 소재를 하이드로포밍 다이에 위치시킨 후 유체를 유입시켜 확관하는 동시에 적절히 피딩(feeding)하여 하이드로포밍 성형하였다. 관재 하이드로포밍 공정을 Table 1 에 도시하였다.

Table 1 Hydroforming Process

			
Initial Tube	**Pre_ Bending**	**Pre_ forming**	**Hydro_ forming**

2.2 소재특성

Engine Cradle 에 고강도강 적용하기 위해 사용한 3 종류의 소재 특성은 Table 2 와 같다. 관재길이 3000(mm), 외경 Φ73(mm), 두께 2.6(mm)이고 38Kg, 45Kg, 60Kg 급인 3 종류 소재에 대해 동일한 공정을 적용하여 소재의 성형성을 비교 분석하였다.

Table 2 Mechanical Properties of Tubes

Mat. / Properties	A	B	C
YS(kg/mm^2)	28.0	33.0	50.7
TS(kg/mm^2)	35.7	49.9	62.6
El(%)	41	36	25
n	0.269	0.142	0.095

3. Pre_bending

3.1 Pre_bending 공정검토

일반적으로 튜브(tube) 밴딩(bending)은 CNC 밴딩방식을 많이 채택하고 있으며 본 연구에서도 CNC 로 6 군데 밴딩하였다. 1 차 CNC 밴딩 툴(tool) 구성은 Fig. 1 과 같다. 그 외의 밴딩은 밴딩반경에 따라 밴드다이의 반경만 변경되고 1 차 밴딩과 동일하다.

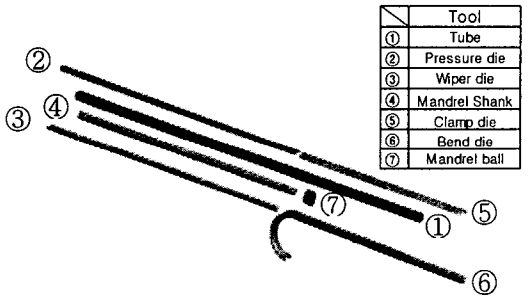


Fig. 1 Components of Pre_bending Tool

Fig. 2 에서 Pre_bending 순서를 도시하고 있다. Pre_bending 은 최종 제품 형상에 맞춰 6 군데 밴딩하였다. 1 차 ~ 6 차 밴딩에 대한 밴딩조건은 Table 3 와 같다. 밴딩은 좌우가 대칭이 되도록 공정설계하였다. 따라서 2, 3, 4 차 밴딩은 1, 5, 6 차 밴딩과 동일함을 알 수 있다. 또한 1 차와 2 차 밴딩부가 하이드로포밍시 가장 취약한 부분이므로 제품의 파단을 방지하기 위해 끝단에 약 10 톤의 힘으로 피딩하였다.

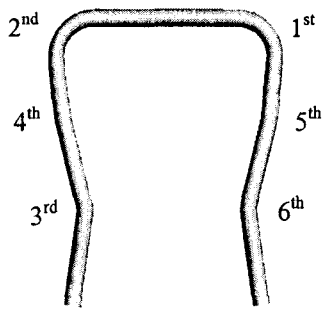


Fig. 2 Sequence of Pre_bending

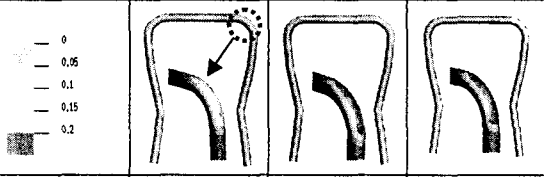
Table 3 Conditions of Pre_bending Process

	Bending Radius (mm)	Bending Angle (°)	Feeding Force (kN)
1st bending	156	96	100
5th bending	230	7	-
6th bending	150	21	-

3.2 소재에 따른 Pre_bending 해석결과

Pre_bending 해석상 소재와 밴딩반경에 따라 최대 두께 감소를 보이는 부분은 약간 상이하나 일반적으로 최대 굽힘부인 1, 2 차 밴딩부에서 두께 감소가 크게 나타났다. 또한 1, 2 차 밴딩부가 하이드로포밍시 가장 취약한 부분으로 판단되므로 성형 해석결과는 1 차 밴딩부를 중심으로 비교 분석하였다. Pre_bending 결과와 1 차 밴딩부 두께 감소율 분포를 Table 4 에서 보여준다. A, B, C 소재의 두께 감소율을 비교한 결과 강도가 강한 소재일수록 밴딩에 의한 두께 감소가 많은 경향을 알 수 있다. 또한 두께감소율 10%를 보이는 영역이 커짐을 알 수 있다.

Table 4 Comparison of Pre_bending results at the 1st bending parts

	A	B	C
			
Thinning (dot circle)	0.15	0.18	0.22

4. Pre_forming

4.1 Pre_forming 공정검토

Pre_bending 한 단품을 하이드로포밍 금형에 삽입 될 수 있고 액압성형에 알맞은 형상이 되도록 별도의 Pre_forming 공정이 필요하다. Pre_forming 금형을 Fig. 3 에서 도시하고 있다. Pre_bending 한 소재를 하이드로포밍 다이에 안착 될 수 있도록 최종 제품을 토대로 상형과 하형으로 금형을 분리하였으며 국부적으로 상, 하형만으로 하이드로포밍 금형에 안착이 어려운 부분은 별도의 Cam 을 설치하여 소재에 변형을 주었다.

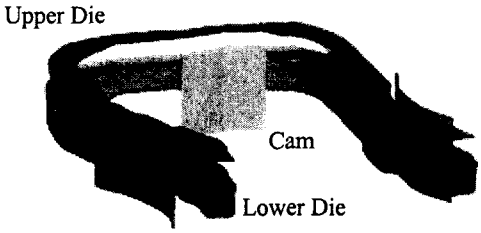
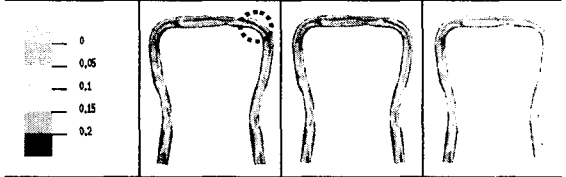


Fig. 3 Pre_forming Tool

3.2 소재에 따른 Pre_forming 해석결과

소재에 따른 Pre_forming 두께 감소율 결과를 Table 5 에서 보여준다. Pre_bending 해석결과와 비교하면 두께 감소율의 변화가 매우 미미한 것을 알 수 있다.

Table 5 Comparison of Pre_forming results at the 1st bending parts

	A	B	C
			
Thinning (dot circle)	0.16	0.19	0.23

5. Hydroforming

5.1 Hydroforming 공정검토

하이드로포밍 금형은 Fig. 4 와 같다. 하이드로포밍 공정에서 소재의 calibration 시 최대 확관부(P, Q)에서 파단을 방지하기 위해 양 끝단에

axial feeder 를 설치하여 이를 통해 유체를 삽입하고 소재를 피딩하였다. axial feeder 는 소재가 원할하게 유입 될 수 있도록 사각형상으로 설계하였다.

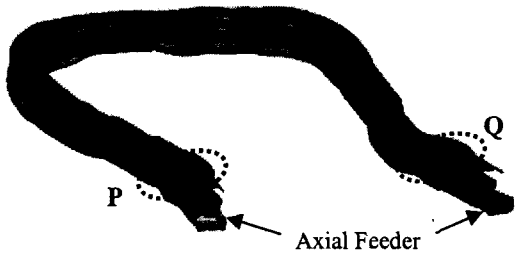


Fig. 4 Hydroforming Tool

일반적으로 하이드로포밍 공법 적용시 가장 중요한 요소는 제품단면의 최소 코너 R 에 따른 최대압력 산출과 압력-피딩량간의 최적화이다. 제품단면의 최소 코너 R 이 작을수록 성형에 요구되는 내압은 커지므로 과다한 프레스 설비용량이 요구된다. 따라서 하이드로포밍 공법을 적용하기 위해서는 제품 설계에 매우 신중해야 한다. 또한 피딩없이 내압을 높일 경우 소재 유입이 없으므로 높은 확관률은 기대할 수 없고 원하는 형상을 얻을 수 없다. 반대로 내압을 일정하게 유지한 채 피딩량만 높이면 제품면에 주름 발생을 초래한다. 그러므로 튜브의 확관을 통해 원하는 형상을 얻으려면 최적의 압력-피딩 조건의 산출이 필수적이다.

본 Engine Cradle 의 경우 제품 단면 최소 코너 반경을 R13 으로 하이드로포밍 공법적용에 알맞게 설계하였다.

A 소재의 하이드로포밍 성형에 적용된 압력-피딩곡선은 Fig. 5 와 같다. 압력곡선은 Bulging 구간과 Calibration 구간으로 나뉜다. Bulging 구간에서는 내압을 약 260bar(26Mpa)로 유지하며 소재를 피딩시켜 확관시 소재가 유입 되므로써 파단을 예방하고자 하였다. 피딩량은 확관률을 고려하여 약 40mm 피딩하였다. Calibration 구간에서는 내압을 770bar 까지 높여 제품단면 코너반경 R13 까지 확관하도록 압력조절하였다. 원활한 소재 유입을 위하여 윤활이 필수적이므로 해석상 윤활조건인 마찰계수를 0.05(무윤활:0.15, 완전윤활:0.01)로 설정하였다. Table 6 은 소재에 따른 bulging 압, Calibration 압, 그리고 피딩량을 보여준다.

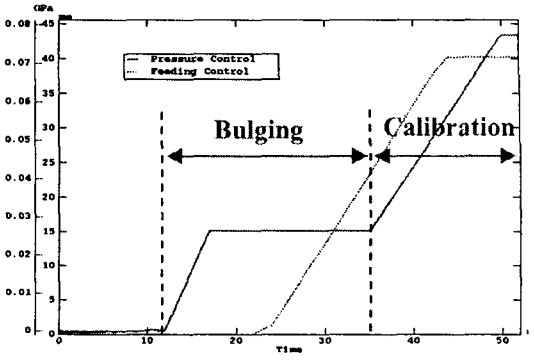


Fig. 5 Pressure & Feeding Control of A Material on Hydroforming Process

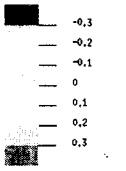
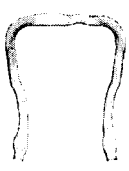
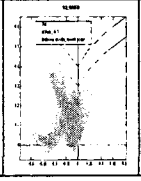
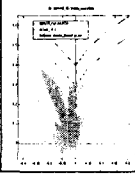
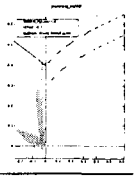
Table 6 Holding & Calibration Pressure and End Feeding Value

		A	B	C
Pressure (bar)	Holding	260	380	470
	Calibration	770	1240	1520
End feeding (mm)		40	50	40

5.2 소재에 따른 Hydroforming 해석결과

하이드로포밍 결과와 1 차 밴딩부와 최대 확관부의 두께 감소율 분포 및 FLD 를 Table 7 에서 보여준다. Pre_forming 해석결과와 비교하면 최종 두께 감소율은 밴딩에서 이미 두께감소가 많이 된 1 차 밴딩부분에서 파단위험이 가장 큰 것으로 나타났다. 그러나 최대 확관률 부분인 끝단부(P, Q)에서 하이드로포밍 공정에 의한 두께 감소 변화가 가장 큰 것으로 나타났으나 끝단 피딩으로 파단을 방지할 수 있을 것으로 판단된다. Table 7 에서 보면 1 차 밴딩부의 최대 두께 감소량이 A, B 소재 대비 C 소재가 현격히 감소하였는데 소재의 연신율과 밀접하게 관계가 있는 것을 알 수 있다. 따라서 본 Engine Cradle 에 적용할 수 있는 소재는 A, B 정도가 적합하며, 최소 연신율이 35% 이상인 소재가 필요함을 확인 할 수 있었다.

Table 7 Comparison of Hydroformig results and FLD

	A	B	C
			
1st bending Part			
Thinning	0.27	0.31	0.45
FLD			

4. 결 론

Engine Cradle 을 하이드로포밍 공법으로 전환하고 하이드로포밍 소재 개발을 위해 행한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) Pre_bending 공정에서는 최대밴딩부의 두께 감소율을 줄이기 위해 feeding force 가 요구된다.

(2) Pre_forming 은 두께감소 및 strain 분포측면에서 큰 영향은 없는 것으로 판단된다.

(3) Hydroforming 해석결과 A 와 B 소재는 강도에 비하여 El 에 큰 차이가 없어 비교적 비슷한 성형성이 예상된다.

(4) C 소재의 경우 A 및 B 소재에 비해 큰 강도 특성 뿐 아니라 연신율에서도 매우 열악하므로 Hydroforming 공법 적용시 파단이 예상된다.

(5) 따라서 C 소재는 파단이 예상되나, A 와 B 소재는 Trial 을 통해 검증해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

(1) Mason, M., 1993, "Hydroforming Tubes for Automotive Body Structure Applications", SAE Techical Paper No. 930575

(2) Shah, S. and Bruggemann, C., 1994, "Tube Hydroforming-Process Capability and Production Applications.", Proceeding of Body Assembly & Manufacturing, IBEC '94, PP.26~30

(3) Harry S., March 2000, "Computer Sinulation of Tubular Hydroforming", HYDROFORMING JOURNAL, pp. 7~23

(4) Jay, L., 2001, "Tube Hydroforming Process Development with Aid of Computer Simulation", SAE Techical Paper 2001-01-1134

(5) 박재헌, 최이천, 오영근, 2001, "사이드멤버 관재 하이드로포밍 성형해석", 2001 년도 춘계 학술대회논문집, pp. 54~58.

(6) 박재헌, 최이천, 김경기, 2002, "Side Member 관재 하이드로포밍 시제품 개발", 2002 년도 추계 학술대회논문집, pp. 57~61.