

자동차 부품의 하이드로포밍 공정

김현영

(강원대학교 기계·메카트로닉스공학부)

Hydroforming Process for Automotive Applications

Heon Young Kim

1. 서론

최근에 자동차 업계는 경량화 및 고품질 확보에 대한 사회적 욕구를 만족하면서 가격 경쟁력 있는 자동차를 생산하기 위하여 노력하고 있다. 미국, 일본, 유럽의 선진국을 중심으로 하이드로포밍(hydroforming), 레이저 용접판재(tailor welded blanks ; TWB) 및 고장력 강판(high strength steel ; HSS)의 적용이 그 사례이다.

하이드로포밍 공정이 도입된 1960년대에는 배기 부품이나 세면대 배관 부품 등에 사용되었으나 자동차 부품 산업에 적용된 1990년대 들어서 급속히 발전하기 시작하였다. 하이드로포밍 공정은 (a) 균일한 제품 두께, (b) 성형 후 재료의 좁은 경화영역, (c) 정밀한 제품 생산 가능, (d) 제품의 강성 증가, (e) 가격 경쟁력 향상, (f) 부품 개수 감소에 의한 경량화 등의 장점이 있다. 현재 하이드로포밍 기술을 적용하여 생산하고 있는 자동차 부품에는 사이드 레일(side rail), 서브프레임(subframe), 데시패널(dash panel), 배기관(exhaust manifold), 크로스 멤버(cross member), 필라(pillar), 레일 루프(rail roof), 패키지 트레일(package trail) 등의 승용차 부품 및 트럭용 부품에 이르기까지 다양한 종류가 있다.(Table 1)

2. 하이드로포밍의 종류

하이드로포밍 기술은 크게 판재(sheet)를 이용한 성형

과 판재(sheet)를 이용한 성형으로 나눌 수 있다. 튜브 하이드로포밍(tube hydroforming) 공정은 Fig. 1에 나타내었고 시트 하이드로포밍(sheet hydro-forming)과 용접판재 하이드로포밍(welded blank hydroforming) 공정은 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 튜브 하이드로포밍 공정은 단면이 원형인 튜브를 최종 형상의 중심선을 따라 굽힌 후 금형 내에서 튜브에 내압을 가함으로써 튜브를 확장시켜 원하는 형상을 얻는 공정이다. 시트 하이드로포밍 공정은 판재와 하형 금형 사이에 압력을 가한 후 펀치로 눌러 원하는 형상을 얻는 공정이다. 그리고 시트 하이드로포밍 공정의 한 종류인 용접판재 하이드로포밍 공정은 두개의 판재 가장자리를 용접한 후 판재 사이에 유체를 이용하여 내압을 가함으로써 원하는 형상을 얻는다.

3. 튜브 하이드로포밍

3.1 튜브 하이드로포밍의 종류⁶⁾

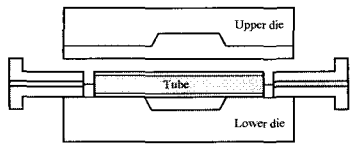
(1)고압 하이드로포밍

(HPH : High Pressure Hydroforming, Germany)

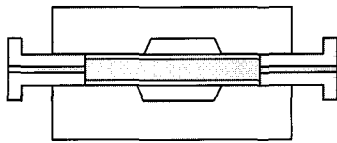
금형 사이에서 블랭크 핀칭(pinching : 소재가 금형에 의해 찢히는 현상)을 방지하기 위한 방법으로 최종 부품의 표면보다 5-10% 작은 원주 길이를 갖는 튜브를 사용한다. Fig. 4에서 상형 금형이 닫힐 때, 튜브 내부에 유체 압력을 가하지 않고 금형만으로 압착하여 하이드로포밍이 가능한 형상으로 만들어 준다.

Table 1 Hydroformed parts for automotive body

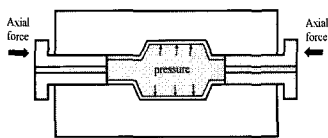
Body systems	body shell, seat frames, side rails
Chassis systems	engine cradles, ladder frames, safety requirements, radiator frame
Suspension systems	control arms, steering columns
Engine/Drive systems	camshaft, driving shaft, exhaust manifold, engine cooling system



(a) Loading into the hydroforming die

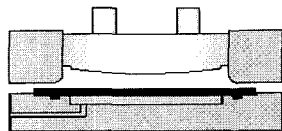


(b) Closing of the hydroforming die

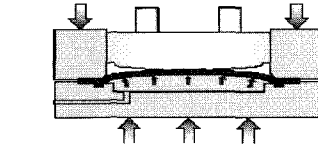


(c) Hydroforming

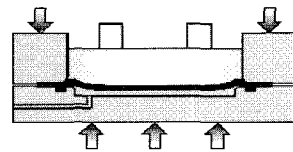
Fig. 1 Tube hydroforming process



(a) Loading into the hydroforming die

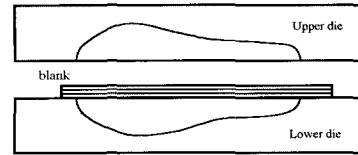


(b) Closing of the hydroforming die

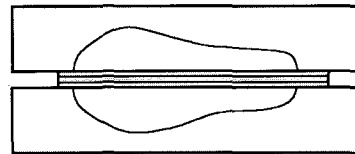


(c) Hydroforming

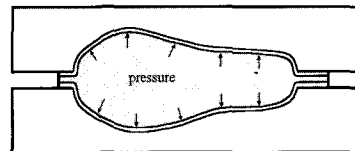
Fig. 2 Sheet hydroforming process



(a) Loading into the hydroforming die



(b) Closing of the hydroforming die



(c) Hydroforming

Fig. 3 Welded blank hydroforming process

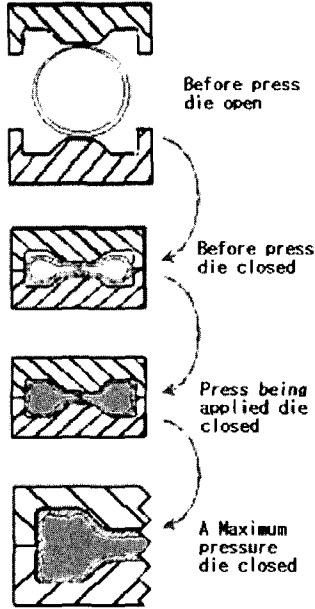


Fig. 4 High-pressure hydroforming process⁽⁶⁾

금형이 완전히 닫혔을 때 제품의 코너부분은 원하는 형상으로 완벽하게 성형되지 않는다. 따라서 금형이 완전히 닫힌 후 코너부가 완벽하게 성형될 수 있는 높은 압력이 필요하게 된다. 최고 압력은 보통 140MPa을 넘어서며 최대 690MPa 이상 올라가기도 한다. 성형에 필요한 내압은 재료의 항복 응력, 벽두께, 코너부의 내부 반경에 따라 다르다. 최대 내압을 증가시키는 다른 이유는 치수 정확성의 확보이다. 성형압력을 증가시킬수록 스프링백 현상을 줄일 수 있기 때문이다.

튜브 내에 유압이 가해지면 튜브 벽은 다이 캐비티 형상을 따라 부풀어오르기 시작한다. 이때 부품의 두께 분포는 매우 중요하다. 균일한 두께를 갖는 제품을 생산하기 위해 튜브 재료, 튜브 제조법, 윤활유 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 많은 연구가 진행되고 있다.

(2) 저압 하이드로포밍

(PSH : Pressure Sequence Hydroforming)

대다수의 자동차 구성품들은 굽힘을 가지고 있으며 때때로 하이드로포밍을 위해 프리포밍(preforming)이 필요하다. 저압 하이드로포밍은 하이드로포밍 공정전에 튜브가 제품과 거의 비슷한 형상을 갖도록 프리포밍을 한다.

초기에 금형이 부분적으로 닫힐 때 튜브는 금형에 의해 눌러져 성형된다. 이때 튜브의 양끝은 밀폐되고 낮은 압력의 유체가 튜브 안에 가득차게 된다. 튜브 안에 가득찬 유체는 튜브를 성형이 가능한 솔리드처럼 만들어 주게 된다. 이렇게 튜브 내의 유체 압력이 유지된 상태에서 금형은 계속 닫히기 시작한다. Fig. 5에서 튜브는 다이 캐비티 내에 위치하고 있으며 초기에 금형은 닫힘을 시작한다. 금형이 닫히는 동안 유체가 가득찬 튜브형 블랭크는 풍선을 누르는 것과 같은 효과에 의해 금형 캐비티 형상을 따라 성형된다. 상하형 금형이 완전히 닫히면 하이드로포밍 성형을 위해 고정된다. 이때 튜브는 금형 캐비티와 거의 비슷한 형상을 갖게 된다. 하지만 튜브 벽과 코너쪽의 세부적인 부분은 성형이 되지 않았기 때문에 추가적인 낮은 압력을 발생시켜 성형을 완료하게 된다. 저압 하이드로포밍 성형 공정은 필요 압력보다 낮은 압력으로 복잡한 형상을 성형할 수 있도록 해준다. 일반적으로 필요 압력은 48MPa 이하이며 이 방법의 장점은 다이가 닫혔을 때 다이 캐비티와 블랭크가 거의 같은 형상이기 때문에 튜브 벽의 두께의 얇아짐 없이도 만족할 만한 성형을 할 수 있다는 것이다. Table 2 에서 고압 하이드로포밍과 저압 하이드로포밍의 장단점을 비교하였다.

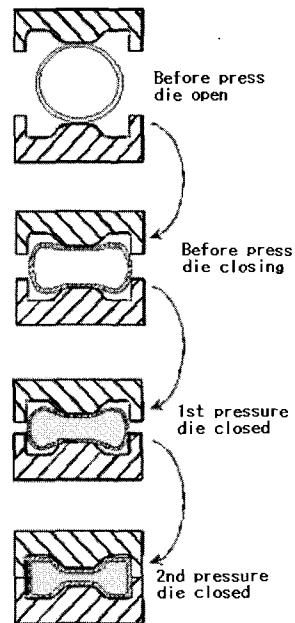


Fig. 5 Pressure sequence hydroforming process⁽⁶⁾

Table 2 Comparison of high pressure hydroforming process and pressure sequence hydroforming process

<p>High Pressure hydroforming (S.P.S, Germany)</p>	<p>Characteristics</p> <ul style="list-style-type: none"> * High forming pressure (15-30ksi) * High friction * Large metal flow (slightly smaller than the finished part perimeter) * Reduced thickness in corners * High press tonnage (>3,500 ton) * Residual stress (spring back) <p>Capability</p> <ul style="list-style-type: none"> * Length : 1-3 m * Diameter : 25-150 mm
<p>Pressure Sequence Hydroforming (Vari-form, HDT, USA)</p>	<p>Characteristics</p> <ul style="list-style-type: none"> * Low forming pressure (<5ksi) * Low friction * Small metal flow (substantially equal in perimeter to the finished part) * Uniform wall thickness * Low press tonnage (about 1,500 ton) <p>Capability</p> <ul style="list-style-type: none"> * Relatively simple parts

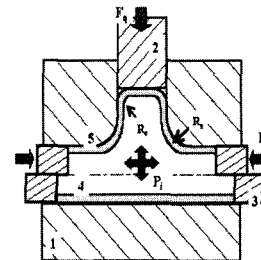
3.2 튜브 하이드로포밍의 공정 변수

Fig. 6은 일반적인 T 형 튜브의 하이드로포밍 성형을 보여준다. 튜브는 축방향 실린더에 의해 팽창영역 (expansion zone: Re 부분) 방향으로 밀리면서 내부압력을 받게된다. 이와 같은 튜브 하이드로포밍 시스템에서 고려할 사항은 (a) 성형 제품, (b) 금형, (c) 금형과 재료의 접촉면 상태, (d) 소성역학, (e) 최종 제품의 특징, (f) 경제적인 공정, (g) 환경친화적인 공정 등이 있다.

Fig. 7은 전형적인 하이드로포밍 시스템의 구성요소들을 보여준다. 구성요소들은 튜브 형상과 제품의 품질을 결정하는 재료 물성치, 두께 분포, 치수의 정확성등을 포함하고 있다. 각각의 구성요소들은 공정 성공에 매우 중요하기 때문에 공정 개발 단계동안 집중적으로 다뤄지게 된다.

하이드로포밍은 등장 이후 빠르게 스탬핑 공정과 대체되고 있다. 하이드로포밍이 스탬핑 대신 사용된 것은 단지 10년 정도밖에 되지 않았다. 하지만 많은 자동차 플랫폼 설계자들은 초기 설계안으로서 하이드로포밍 기술

을 채택하고 있다.



- Pi: Internal pressure
- Fa: Axial force
- Fq: Counter force
- Rc: Corner radius
- Re: Entry radius
- 1. Dies
- 2. Counter cylinder
- 3. Axial cylinders
- 4. Initial tube
- 5. Final tube

Fig. 6 Active forces in a tube hydroforming process⁽⁷⁾

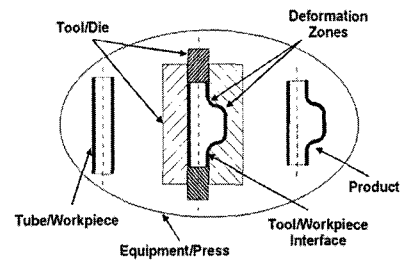


Fig. 7 Hydroforming system components

Table 3 The possible parameters that might affect the tube hydroforming process⁽⁸⁻⁹⁾

(a)	preparation of tubes (material selection, quality of the incoming tube)
(b)	pre-form design and production method
(c)	part design for hydroforming
(d)	welding and assembly of hydroformed components (fixturing and joining)
(e)	crush performance and joint stiffness
(f)	selection of lubricant, which will not break down at high pressures
(g)	rapid process development

3.3 하이드로포밍용 튜브^(10~11)

하이드로포밍 공정을 위해 도입된 튜브형 재료는 Fig. 8에서처럼 매우 다양한 형상을 갖는다. 부품, 성형공정, 성형능력, 이용가능성, 가격 등의 요소를 고려하여 튜브 하이드로포밍에 사용할 재료를 선택한다.

하이드로포밍에서 사용되는 재료들에는 저탄소강(SAE 1006 / 1008 / 1010), 바디와 세시를 위한 HSLA, 캄샤프트와 드라이브샤프트를 위한 고강도강(SAE 1015 / 1045), 배기 부품을 위한 스테인리스강(AISI 304, AISI 309), 바디와 세시를 위한 알루미늄 합금(AA 1050, AA 5019, AA 6260), 하우징과 T형 조인트를 위한 구리가 있다.

튜브의 특성은 하이드로포밍 공정의 성공을 위해 매우 중요하다. 따라서 튜브의 재료 물성치(재료 합성, 용접 타입, 항복 응력, 최대 인장 강도, 연신률, 유동 특성)과 치수(직경, 두께)는 최종 제품에 대한 요구를 만족하도록 결정되어야 한다. 특히FLD(Formability Limits Diagram) 선도는 공정개발의 소요되는 시간을 줄이기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 효과적으로 사용할 수 있게 해준다. 시뮬레이션 결과를 FLD 선도로 평가하여 하이드로포밍 공정에서 성형 불안정이 발생할 부분을 미리 확인하고 비용이 많이 드는 시제품을 만들기 전에 수정할 수 있기 때문이다.

하이드로포밍 공정에서의 재료 수행 능력을 평가하기 위해 벌지(bulge) 테스트를 수행한다. 벌지 테스트는 튜브형 재료에 내압을 가하여 튜브를 팽창시키는 것이다. 튜브의 양끝은 고정하고 튜브 내압은 튜브가 터질 때까지 상승시키며 벌징된 튜브 직경과 내부 압력에 의해 2축 인장 응력 상태 아래서 튜브가 터지기 전에 튜브 외경을 얻으면 튜브 재료의 유동응력을 결정할 수 있다.

이 결과는 재료의 성형성의 중요한 지표로서 사용되어 진다.

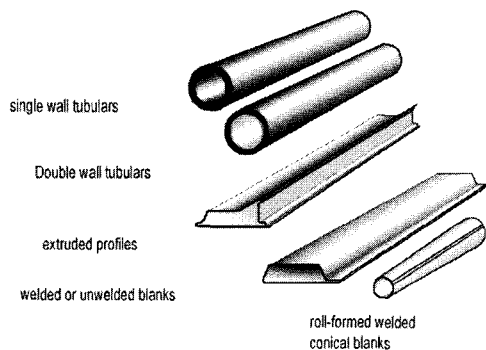


Fig. 8 Useable Blank Material Form

3.4 하이드로포밍 다이의 분류

(1) 단면방향(crosswise)과 길이방향(lengthwise) 분할 다이

튜브 하이드로포밍 공정에서 사용되는 금형은 디자인과 형상, 표면 마무리, 경도, 사용환경에서의 기계적 성질과 열적 특성 등을 만족시켜야 한다. 튜브 하이드로포밍에서 사용되는 다이는 단면방향 또는 길이방향의 상하로 분할된다. 단면방향 분할 다이는 길이방향 분할 다이에 비해서 제품의 반경 치수를 보다 정확히 예측할 수 있으며 다이의 단힘력 또한 매우 작다.(Fig. 9 (a)) 하지만, 만약 제품이 튜브의 프리포밍되는 주축에 수직인 방향으로 굽힘이나 돌출된 형상을 가지고 있다면 단면방향 분할 다이를 사용하는 것은 매우 어렵게 될 것이다. 그래서 이때는 길이방향 분할 다이가 사용된다. 길이방향 분할 다이는 다양한 각도에서 많은 연결을 가지는 부품을 성형하기에 유용하기 때문이다. (Fig. 9 (b)) 그렇지만 일반적으로 단면 방향 분할 다이는 언제나 적용이 가능하기 때문에 선호되고 있다.

(2) 폐쇄형 다이(Close die)와 개방형 다이 (Open die)

폐쇄형 다이는 성형다이가 측면으로 분할되며 성형 과정을 시작할 때 다이가 닫히는 시간이 독립적으로 존재한다. 뿐만 아니라 튜브형 블랭크의 끝을 잡아 주도록 도와준다. 블랭크는 성형과정 동안 펀치들에 의해서 눌러지게 된다. 폐쇄형 다이를 사용함으로써 튜브 자유 길이를 최소로 제한할 수 있으며 튜브형 블랭크의 보다 안정적인 가이드(guiding)를 가능하게 해준다. 그러므로, 좌굴에 대한 위험은 줄어들게 된다.(Fig. 10 (a))

개방형 다이는 성형 과정의 초기에 분할된 상하 다이가 열려 있다. 열려있는 거리는 다이와 튜브형 블랭크의 길이 차이와 일치한다. 다이가 이동하면서 다이 벽은 닫히게 되고 팽창되는 튜브는 다이 표면과 접촉하게 된다.

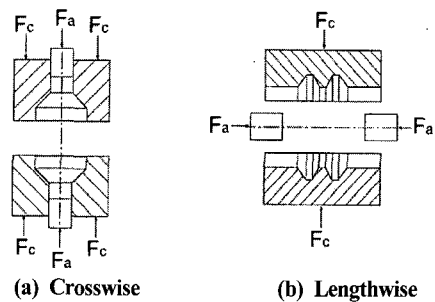


Fig. 9 Crosswise split die and Lengthwise split die

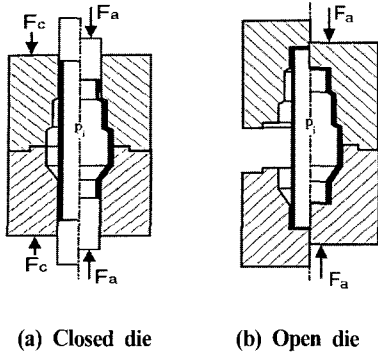


Fig. 10 Closed die and Open die

개방형 다이를 사용할 때 다이와 튜브와의 마찰은 매우 작거나 거의 없게 된다. 하지만 개방형 다이와 비교할 때 좌굴의 위험성은 더 커서 성형성에 많은 제약을 받게 된다.(Fig. 10 (b))

(3) 수평 다이 (Horizontal die)

Fig. 11은 하이드로포밍 다이의 레이아웃(layout)을 묘사하고 있다. 수평 다이는 튜브를 하이드로포밍 성형 전에 프리포밍을 수행한다. 다이 홀더 플레이트(die holder plate)는 실린더 홀더 브라켓(cylinder holder bracket)의 프레스 스트로크(press stroke)와 높이에 의해 결정되는 조립된 높이를 조절할 수 있도록 해준다. 그리고 씰 펀치(seal punch)는 수평 실린더에 의해 성형과정 동안 블랭크의 끝을 밀폐하고 눌러주는 역할을 한다.

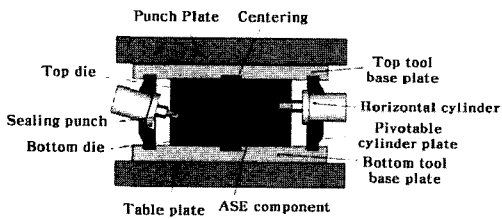


Fig. 11 Schematic view of a horizontal die layout

3.5 윤활(Lubrication)^(7,9)

하이드로포밍 공정에서 윤활과 마찰 상태는 축방향 피딩(axial feeding)이 필요한 부분에서 매우 중요하다. 이 경우, 윤활유는 미끄럼 마찰을 줄이고, 고착을 막고, 틀

의 마멸을 방지하는데 큰 역할을 한다. 윤활은 또한 튜브 단면이 최종 치수로 성형될 때 치수 조정 단계 동안 중요한 요인으로 작용한다. 성형과정에서 튜브 표면은 다이와 접촉하여 마찰면을 구성하게 되며 윤활유가 과도한 마찰력이 발생하지 않도록 도와준다. 그러나 제품의 두께 방향 변형률 분포는 균일하지 않게 된다. Fig. 12는 초기 튜브 단면 AB가 하이드로포밍 후 단면CD의 곡면 길이가 될 때까지 늘어나고 있음을 보여준다.

하이드로포밍 공정은 성형과 마찰 특성에 따라 3지역으로 구분하는 것이 가능하다. 3 지역은 Fig. 13에서 보여지는 것처럼 안내영역 (Guided zone), 천이영역 (Transition zone), 팽창영역 (Expansion zone)이다.

안내영역에서 튜브는 벽 두께가 일정하다. 그러나, 천이영역에서 튜브는 축 방향 실린더들의 이동과 내부 압력에 의해서 압착이 되어 다이의 형상을 따라 소성변형이 발생하게 된다. 그리고, 팽창영역은 재료가 최종 제품의 치수로 성형되는 곳이다. 이처럼 3지역은 각기 다른 특성을 가지고 있다. 튜브 하이드로포밍에서 마찰력에 영향을 주는 주요 인자는 윤활유, 튜브 재료(표면상태와 항복응력)와 다이 표면(표면 마무리, 강도, 표면처리, 코팅)이며 내부압력, 미끄러짐 속도와 거리에 의존하는 이

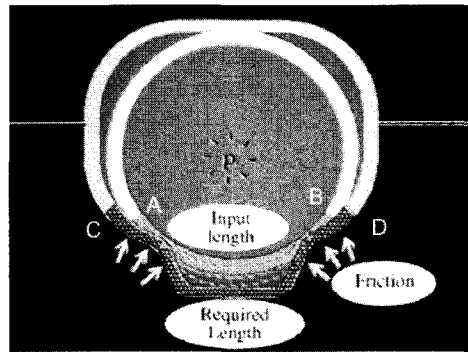


Fig. 12 Friction interface in tube hydroforming⁽⁹⁾

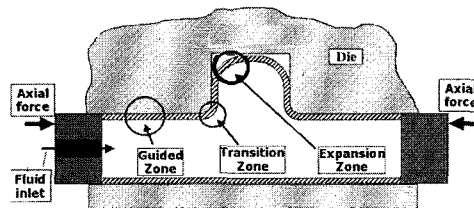


Fig. 13 Friction zones in tube hydroforming⁽⁷⁾

변수들은 윤활유 선택을 위해 중요하게 고려된다. 하이드로포밍에 사용될 윤활유는 쉽게 적용하고 제거할 수 있어야 한다. 하이드로포밍을 위해 사용이 가능한 윤활유는 솔리드 윤활유, 왁스, 오일, 에멀전(emulsion)등의 다양한 타입이 있다.

3.6 버클링(Buckling), 주름(Wrinkling), 파열(Bursting)

소성변형이 발생하는 불안정한 상태 동안, 버클링, 주름, 파열과 같은 문제점들이 튜브 하이드로포밍에서 발생할 수 있다. 버클링의 위험은 과도하게 높은 축방향 힘의 결과로 공정 초기에 나타난다.⁽⁷⁾ 버클링은 금형 형상과 공정 변수들에 의한 튜브 변수들의 상관관계에 의해 발생한다. 대칭이 아닌 변형은 일정한 벽두께를 가지지 않는 튜브에 의해 발생하며 튜브 벽이 금형 캐비티의 안쪽 벽과 접촉하기 전에 변형하여 발생할 수도 있다. (Fig. 14 (A))

튜브 하이드로포밍에서 주름은 축력이 내부 압력보다 매우 높을 때 공정의 초기 구간에서 발생한다. 주름은 일반적으로 팽창과정 동안 내부 압력의 증가에 의해 제거 될 수 있다. (Fig. 14 (B))

파열과 파단은 튜브 재료가 팽창하는 동안 최대 인장 응력이 성형한계를 넘을 때 그리고 성형한계를 넘는 높은 내압의 결과로서 발생한다. 파열은 튜브형 벽의 국부적인 넥킹(necking)과 함께 시작하며 튜브의 독특한 벌징(bulging)과 함께 발생한다. (Fig. 14 (C))

하이드로포밍 공정에서 버클링, 주름, 파열과 같은 결함이 없는 부품을 생산하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 활용할 수 있다. 튜브 하이드로포밍 공정 시뮬레이션을 수행하기 위한 상용 유한 요소 해석 소프트웨어는 Pam-Stamp, LS-Dyna와 같은 프로그램이 유명하다.

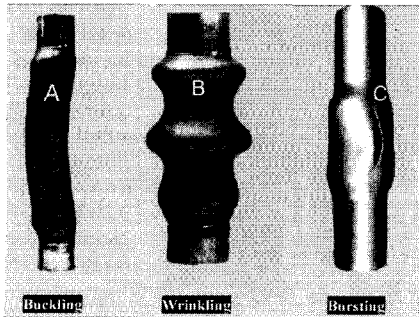


Fig. 14 Examples of buckling, wrinkling and bursting⁽¹²⁾

컴퓨터 시뮬레이션은 튜브의 두께 변화를 예측할 수 있으며 이 결과로 파열이 발생하는 지점을 판단할 수 있다. 또한 버클링과 주름발생도 예측할 수 있다. 이 문제점들은 과도한 축방향 피딩과 불충분한 내부 압력에 의해 발생하기도 한다. 성형해석을 위한 최적의 내부압력과 축방향 피딩을 구하기 위해 제품이 완벽하게 성형될 때까지 반복적으로 시뮬레이션을 수행하게 된다. Fig. 15는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 T형 튜브의 단계적인 성형을 보여준다.

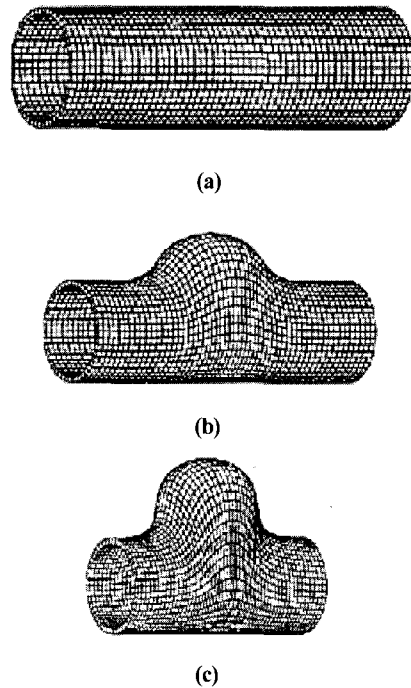


Fig. 15 Deformed shapes of T shape tube hydroforming simulation⁽¹⁾

3.7 하이드로포밍 프레스 설계

하이드로포밍 프레스의 중요 설계 사항은 다이의 단힘과 열림, 성형 공정 동안 클램핑 하중의 공급, 탄성 편향의 제거 그리고 다이 분할선이다. 공정의 실행을 위해 요구하는 추가 장치들은 축방향 실린더(axial force cylinder)와 압력 장치 (pressure intensifier)가 있다. 하이드로포밍 프레스는 매우 고가의 장비이다. 따라서 연구소와 관련업체들은 금형의 열림/단힘을 위한 독립된 액션을 취할 수 있는 장비와 클램핑력을 생성하는 장비를 낮

은 가격에 개발하기 위해 노력해야 하며 프레스 제작자들도 프레스 사이클 타임을 줄이기 위해 노력해야 한다. 다이의 단협/열림, 톨의 움직임, 튜브를 충전하고 압력을 가하기 위한 유체의 이동은 사이클 타임을 결정하기 위한 중요한 요소들이다. 생산효율을 결정하는 다른 중요한 요소로는 벤딩(bending)과 프리포밍 공정이 있다. 그리고 여러 벤딩 머신을 통하여 하이드로포밍 공정으로 부품을 공급하거나 한번의 하이드로포밍 사이클 동안에 여러 개의 부품을 성형하는 것은 생산을 증가를 위해 도움을 줄 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 유압 프레스 장치의 사용 때문에 발생하는 환경에 대한 유해성도 새로운 생산 공장을 건설할 때 전부 고려되어야 할 것이다. Fig. 16은 관재 하이드로포밍 공정에 사용되는 유압 프레스이다.

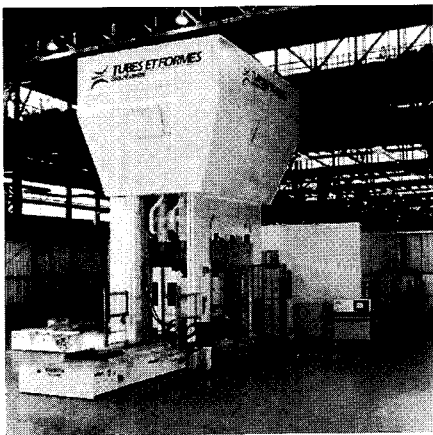


Fig. 16 Example THF press, 5000 ton capacity SPS

4. 시트 하이드로포밍^(2,3,13)

시트 하이드로포밍 공정의 다양한 타입들이 항공산업에서 수년동안 사용되었다. 시트 하이드로포밍은 (a) 알루미늄 합금과 고강도 철판 같은 낮은 성형성을 갖는 합금의 성형, (b) 작은 크기의 부품, (c) 프로토타입(prototype)의 제작에 유리하다. 이런 장점들 때문에 우주항공산업에서 이용되어 온 시트 하이드로포밍 공정은 자동차 산업에 적용되고 있다.

시트 하이드로포밍의 원리는 Fig. 2에서 보여주고 있다. 블랭크가 금형에서 블랭크 홀더에 의해 고정되면 압력실이 만들어 지고 블랭크 홀더와 씰의 작용에 의해 압력실의 기밀이 유지된다. 이때 펀치는 압력실의 압력에 저항하면서 블랭크를 성형하게 된다.

시트 하이드로포밍의 개발과 연구는 일본과 독일에서 많이 이루어지고 있다. 아미노(Amino)사와 도요다(Toyota)사는 1980년부터 시트 하이드로포밍 기술을 사용하고 있으며 많은 독일 대학들과 프레스 제작회사들이 짧은 사이클 시간과 프로토타입을 만들 수 있는 유압 프레스를 제작하고 있다. 시트 하이드로포밍을 자동차 산업에 적용할 때, 다음과 같은 장점이 있다. (a) 좋은 변형률 분포와 큰 드로우 깊이를 얻을 수 있다. (b) 한번의 프레스 사이클 동안 복잡한 형상의 제품을 성형할 수 있다. (c) 한 개의 금형만을 사용하기 때문에 금형비를 줄일 수 있다. (d) 유압에 의해서 성형하기 때문에 훌륭한 제품 표면을 얻을 수 있다.

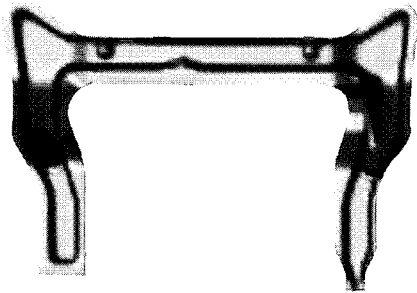
시트 하이드로포밍에서 2개의 블랭크를 사용하여 성형하는 방법으로 용접관재 하이드로포밍이 있다. 용접관재 하이드로포밍 기술은 예비형상의 용접관재를 다이 캐비티 내에서 유압을 이용하여 원하는 형상으로 성형하는 기술을 말한다. 예비형상의 용접관재는 두 관재의 재료와 두께를 서로 같게 또는 각각 달리하여 레이저용접(laser welding)을 통하여 만들어진다. 이 기술을 사용할 경우 플랜지로부터 다이내로 재료가 유동하므로 관재유압성형기술의 성형한계를 넘는 단면형상의 부품을 생산할 수 있다.

용접관재 설계시 다이 유입부 형상반경에 비하여 용접관재가 작거나 같게 되면 소재가 완전히 유입된 뒤 다시 팽창하게 되어 다이 파손의 원인이 되며, 성형 중 소재의 위치조정이 어렵게 된다. 따라서 용접관재의 크기는 다이 유입부 형상반경을 고려하여 설계해야 한다. Fig. 17은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 해석 결과와 시제품의 형상을 보여준다.

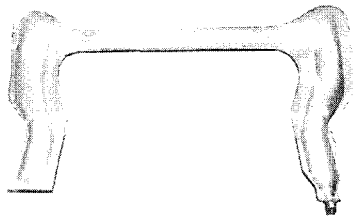
용접과정에서 용접선 부근의 열영향부(heat affected zone)는 표면경화현상으로 인하여 재료의 항복응력이 저하된다. 따라서 성형과정에서 인장력이 발생할 경우 다른 부분에 비하여 파단이 발생하기 쉬운 부분이다. 용접결함은 용접관재의 성형성을 저하시키는 또 다른 원인이 될 수 있으므로 레이저용접시 용접결함을 최소화 시켜야 한다. 관재를 사용하여 성형할 경우 성형이 완료되기 전에 관재의 두께감소가 심하다. 반면 용접관재를 사용할 경우 재료의 두께감소가 크지 않고 원하는 제품형상으로 성형할 수 있다.

이처럼 다이내부형상이 복잡할 경우 관재는 성형방법 자체의 한계와 소재와 다이와의 마찰로 인하여 성형과정에서 심한 국부적 두께감소를 수반하게 된다. 따라서 장치 비용과 초기 소재 제작에 소요되는 번거러움을 고려하더라도 다이내부형상이 관재유압성형 기술의 성형한계

를 넘을 경우 관재유압성형 기술의 적용여부를 고려해 볼 수 있다. Fig. 18은 튜브 하이드로포밍 공정과 용접판재 하이드로포밍 공정 사이의 성형성 비교를 보여준다.

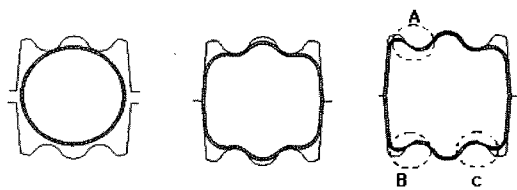


(a) FE Model

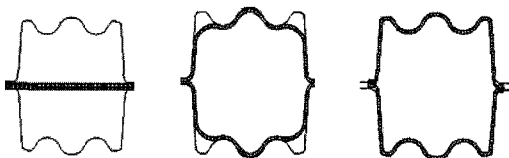


(b) Prototype

Fig. 17 FE Model and Prototype of subframe for welded blank hydroforming⁽²⁾



(a) Tube hydroforming



(b) Welded blank hydroforming

Fig. 18 Formability comparison between tube and welded blank hydroforming⁽²⁾

5. 결론

자동차 부품 생산에 이용되고 있는 하이드로포밍은 질적으로나 양적으로 많은 발전을 이루었다. 다양한 영역에서 연구가 활발히 수행되었으며 하이드로포밍의 적용파트도 계속해서 증가해 왔다. 하지만 아직은 하이드로포밍 프레스가 고가이고 높은 수준의 노하우가 필요하기 때문에 자동차 산업 이외의 분야에서 폭넓게 사용되지는 못하고 있다. 하이드로포밍 공정을 올바르게 이해하여 튜브 준비, 하이드로포밍된 구성부품의 용접과 연결방법, 빠른 공정 사이클의 개발등 실제 공정을 개선하는 연구에 집중해야 하겠다.

참고 문헌

- (1) Kim, H. J., Jeon, B. H., Kim, H. Y. and Kim, J.J., 1993, "Finite Element Analysis Liquid Bulge Forming Process of T-Shaped Pipe by An Explicit Code", *Advanced Technology of Plasticity*, pp. 545~550.
- (2) 신용승, 김현영, 전병희, 오수익, 박병철, 이우식, 2001, "용접판재 유압성형을 이용한 자동차 서브프레임의 트리아웃과 금형설계", *춘계학술대회 논문집* pp. 59~62.
- (3) 김현영, 신용승, 홍춘기, 전병희, 오수익, 2001, "자동차 엔진마운트 브래킷의 관재 및 용접판재 유압성형에 대한 성형해석", *한국소성가공학회 논문집*, Vol 10. num 1, pp. 3~14.
- (4) 양재봉, 전병희, 오수익, 2000, "민감도 해석을 이용한 Tube hydroforming의 성형공정 최적화에 대한 연구", *한국소성가공학회지*, 제9권 제7호, pp. 723~730.
- (5) 강대철, 윤석만, 전병희, 오수익, 전한수, (2000) "Weld line 위치에 따른 Hydroforming 특성에 관한 연구", *한국소성가공학회지*, 제9권 제5호, pp. 504~511.
- (6) Morphy, G., 1998, "Pressure-Sequence and High - Pressure Hydroforming", *Tube & Pipe Journal*, 28-135, September/October 1998, pp. 90~96.
- (7) Sokolowski, T., Gerke, K., Koc, M., Ahmetoglu, M. A. and Altan, T., 1998, "Evaluation of Tube Formability and Material Characteristics in Tube Hydroforming", Report No. ERC/NSM-R-98-25, pp. 1~20.
- (8) Bobbert, S., Bischer, M., Ahmetoglu, M. A. and Altan, T., 1997, "Tool and Process Design for Tube

- Hydroforming - A State of the Art Review and Applications of Compute Simulations", Report No. ERC/NSM-R-97-2, pp. 3~51.
- (9) Leitloff, F. U., 1997, "Hydroforming - From Feasibility Analysis to Series Production", Proceedings of the Conference on Innovations in Hydroforming Technology, Columbus, Ohio, September 15-17, 1997.
- (10) Brewster, K., Sutter, K., Ahmetoglu, M. A. and Altan, T., 1996, "Hydroforming Tube", The Tube & Pipe Quarterly, vol. 7, no. 4, pp. 34~40.
- (11) Derek, B., 1998, "Tube Testing for the Hydroforming Industry", Tube & Pipe Journal, pp. 69~76.
- (12) Dohmann, F., Hartl, C., 1996, "Hydroforming - A Method to Manufacture Lightweight Parts", Journals of Materials Processing Technology, vol. 60, pp. 669~676.
- (13) Taylan Altan, 2002, "R&D Update : Sheet hydroforming in automotive applications", March-April 2002 Stamping Journal.