

퍼지 전문가 시스템을 이용한 강관 하이드로포밍의 성형성 예측에 관한 연구

박광수* · 김동규* · 이동활* · 문영훈*

Optimization of tube hydroforming process by using fuzzy expert system

K. S. Park, D. K. Kim, D.H. Lee and Y. H. Moon

Abstract

In the tube hydroforming process, a tube is placed into the die cavity and the ends of the tube are sealed by fixing the axial cylinder piston into the ends. Then the tube is pressurized with a hydraulic fluid and simultaneously the axial cylinders move to feed the material into the expansion zone. Therefore, the quantitative relationship between process parameters such as internal pressure and feeding amount and hydroformability, is hard to establish because of their high complexity and many unknown factors. In this study, the empirical and the quantitative relationship between process parameters and hydroformability are analyzed by fuzzy rules. Fuzzy expert system is an advanced expert system which uses fuzzy rule and approximate reasoning. Many process parameters are converted to the quantitative relationship by use of approximate reasoning of fuzzy expert system. The comparison between experimentally measured hydroformability from hydroforming experiments and the predicted values by fuzzy expert system shows a good agreement.

Key Words : Hydroforming, Hydro-formability, Fuzzy expert system, Fuzzy rule,

1. 서 론

최근 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 강관(High strength steel ; HSS)의 적용이 그 사례이다.

하이드로포밍 공정은 균일한 제품 두께, 성형 후 재료의 좁은 경화영역, 정밀한 제품 생산 가능, 제품의 강성 증가, 가격 경쟁력 향상, 부품

개수 감소에 의한 경량화 등의 장점이 있다.

퍼지 전문가 시스템은 경험적 지식을 처리할 수 있는 기존의 전문가 시스템에 퍼지논리를 도입한 시스템으로 다양한 분야에 널리 적용되고 있다. 본 연구에서는 성형성을 하이드로포밍 평가의 기준으로 삼고 퍼지 전문가 시스템의 지식 표현 기법인 퍼지룰(Fuzzy rule)을 활용하여 정량적인 해석이 불가능한 하이드로포밍 변수와 성형성과의 관계를 기술하고 퍼지 전문가 시스템의 근접추론 (Approximate reasoning)을 활용하여 성형성을 예측함으로써 하이드로포밍 품질을 추정하는 시스템을 개발하였다.

* 부산대학교 정밀기계공학과 / 정밀정형 및 금형가공 연구센터

2. 성형성 예측 퍼지 전문가 시스템의 구성

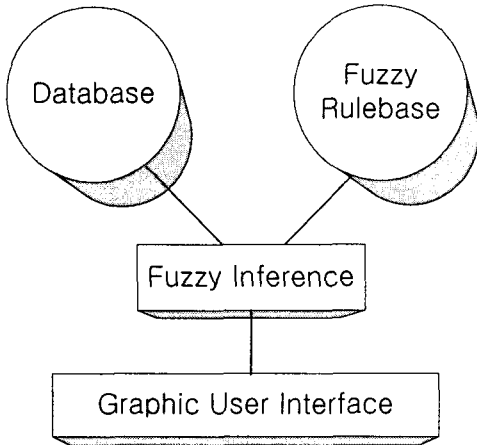


Fig. 1 Structure of fuzzy expert system for estimation of hydroformability

본 연구를 통해 개발된 성형성 예측 퍼지전문가 시스템은 Fig. 1과 같이 데이터베이스, 퍼지룰베이스, 근접추론기구, 그래픽 사용자 인터페이스의 4부분으로 이루어져 있다. 데이터베이스는 강관의 소재에 의해 결정되는 하이드로포밍 성형성 변수의 상관 관계와 사용범위, 성형성 변수의 크기 평가를 위해 사용된 퍼지 집합 정보 등을 수록하고 있고 퍼지룰 베이스는 Table 1에 그 일부가 표현된 퍼지룰을 저장하고 있다. 근접 추론기구는 데이터베이스와 퍼지룰베이스로부터 결론을 도출하는 부분이며 그래픽 사용자 인터페이스는 사용자의 활용이 용이하도록 대화창, 편리한 입출력 기능 등을 구현하는 부분이다.

3. 튜브 하이드로포밍 공정변수와 성형성과의 상관관계 고찰

튜브 하이드로포밍 성형성에 영향을 미치는 공정변수는 하이드로포밍 공정에 관계된 모든 인자라고 할 수 있겠으나 그 중 '영향을 미치는 정도가 크고 작업자에 의해 조정이 가능한 인자'를 들어보면 강관의 종류, 축방향 압입량, 내부압력 등이 이에 해당한다. 본 연구에서는 자동차용 부품소재에 널리 적용되는 38Kg 급, 40Kg 급, 45Kg 급 강관에 적용하고 강관의 두께는 2.6t를 사용한 경우를 대상으로 하였다. 강관의 종류는 강관이 최대로 견딜 수 있는 내부압력에 준하여 기계적 물성치를 갖는

소재로서 하이드로포밍 성형성에 결정적인 영향을 미치는 인자 중의 하나이다. 강성이 높은 소재를 사용하면 최적성형이 이루어지기 전에 파단이 일어나고, 강성이 적은 소재를 사용하면 주름이나 좌굴이 일어난다.

축방향 압입량은 하이드로포밍 성형시 강관에 작용하는 내부압력에 따른 소재의 유입을 원활히 하기 위한 최적의 압입량이 이루어져야 한다. 소재의 유입에 비해 축방향 압입량이 너무 높아지면 좌굴이나 주름이 생기기 쉬우며 소재의 유입에 비해 축방향 압입량이 너무 낮아지면 파단이 일어나게 된다.

내부압력은 성형을 위한 필수 조건으로서 축방향 압입량에 비해 압력이 낮을 시 좌굴이나 주름이 발생하게 되며 압력이 높을 시 파단이 일어나게 된다.

하이드로포밍 변수와 성형성과의 상관관계는 전술한 바와 같이 정성적으로 표현이 가능하며 이는 Fig. 2와 같이 요약될 수 있다.

Hydroforming parameters	Forming height	Bursting	Optimum	Winkling
Feeding amount	High, Large (upward triangle)	Low, Small (downward triangle)	High, Large (upward triangle)	Low, Small (downward triangle)
Internal pressure	Low, Small (downward triangle)	High, Large (upward triangle)	High, Large (upward triangle)	Low, Small (downward triangle)
Material strength	High, Large (upward triangle)	High, Large (upward triangle)	High, Large (upward triangle)	Low, Small (downward triangle)

Fig. 2 Influence of hydroforming parameters on hydroformability

4. 퍼지 전문가 시스템의 설계

3절에서 기술한 하이드로포밍의 각 변수들의 값은 경험적으로 '크다' 또는 '매우 높다'와 같이 일상적으로 쓰는 언어적인 표현으로 애매하게 서술되어 있다. 이와 같이 표현된 변수들은 언어적 변수(Linguistic variable)라 하며 이들은 퍼지 집합의 도입에 의해 비교적 합리적으로 정량화된 형태로 나타낼 수 있다. 퍼지 집합은 집합의 원소를 소속정도와 함께 나타냄으로써 각 원소가 같은 집합에 속해 있어도 달리 평가되도록 한다. 즉, Fig. 3에서 20~30mm feeding amount는 'large'의 집합에 속해있지만 동시에 20~25mm feeding amount의 값은 'middle'의 집합에, 또 25~30mm feeding amount의 값은 'very large'의 집합에도 속하며

속하는 정도가 값에 따라 제각기 다르다. 따라서 20~30mm 사이의 값들은 모두 서로 다르게 평가되며 이는 곧 feeding amount가 그 값에 따라 다른 인자에 미치는 영향의 정도가 다를 것을 의미하는 것으로 실제의 현상과 유사한 매우 합리적인 논리라 할 수 있다. Fig. 4는 하이드로포밍 성형성에 영향을 미치는 각 변수들과 성형높이를 나타내는 변수들의 크기를 퍼지집합으로 표현한 그림이다.

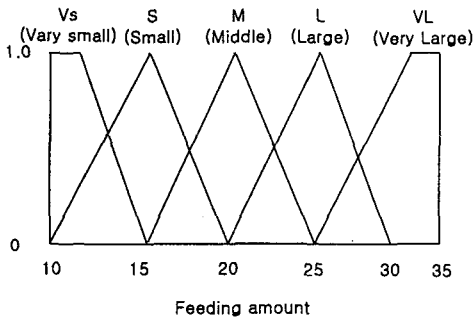


Fig. 3 Evaluation of feeding amount by fuzzy sets

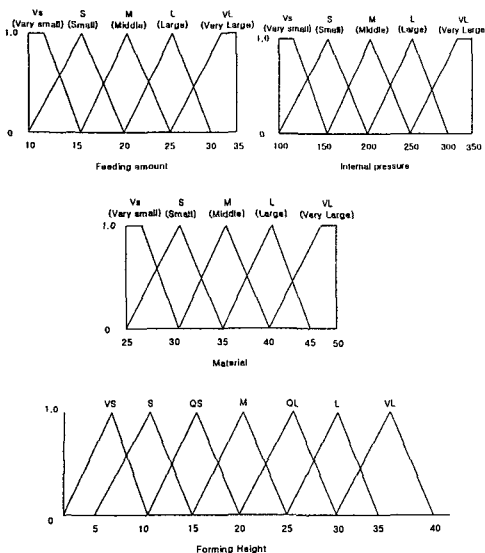


Fig. 4 Evaluation of hydroforming parameters by fuzzy sets

Fig. 2에서 정성적으로 표현되어 있는 하이드로포밍 변수와 성형성과의 상관관계는 언어적 변수를 사용하여 퍼지룰의 형태로 표현 할 수 있다. 룰은 인공지능 분야에서 경험적 지식을 표현하는 대표적인 도구로서 지식을 논리적으로

정리한 후 IF-조건절과 THEN-결론부에 언어적 변수와 퍼지집합을 사용한 룰을 뜻한다. Table 1은 Fig. 2의 내용의 일부를 퍼지룰을 사용하여 표현한 예이다. 퍼지룰로 표현된 정성적인 지식은 퍼지룰의 근접추론에 의해 합리적으로 정량화된 유용한 정보로 변환 될 수 있다.

Table 1 Representation of relationship between hydroforming parameters by fuzzy rules

Rule No	IF	THEN
20	Feeding amount=middle AND Material=middle AND Internal pressure=small AND Gap=large	Forming height=quite small And Hydroformability=small
21	Feeding amount=middle AND Material=middle AND Internal pressure=middle AND Gap=large	Forming height=middle And Hydroformability=middle
22	Feeding amount=middle AND Material=middle AND Internal pressure=large AND Gap=large	Forming height=large And Hydroformability=small
23	Feeding amount=middle AND Material=small AND Internal pressure=small AND Gap=large	Forming height=middle And Hydroformability=small
24	Feeding amount=middle AND Material=middle AND Internal pressure=small AND Gap=large	Forming height=quite large And Hydroformability=small
25	Feeding amount=middle AND Material=middle AND Internal pressure=large AND Gap=large	Forming height=large And Hydroformability=small

Fig. 5는 feeding amount와 internal pressure만을 고려하여 forming height를 추정하는 경우에 대하여 Table 1에 나타난 퍼지룰을 적용하여 수행한 근접추론에 의해 forming height를 구하는 과정을 보여주고 있다. 22mm의 feeding amount는 middle과 high의 두 퍼지집합에 속해 있으며 소속정도(membership degree)는 각각 0.6, 0.4이다. 225Mpa internal pressure는 middle과 large의 퍼지집합에 각각 0.5의 소속정도로 속해 있다. Table 1의 퍼지룰 중 룰 21, 22, 24, 25번이 이 경우에 해당되는 룰이고 IF 가정부의 두 변수인 feeding amount 와 internal pressure는 AND로 연결되어 있으므로 룰 21과 22는 feeding amount 0.6과 internal pressure 0.5의 소속정도 중 두 변수의 소속정도의 공통범위인 0.5의 소속정도로 적용된다고 볼 수 있다. 한편 룰 24와 25는 0.4와 0.5의 소속정도 중 공통범위 0.4의

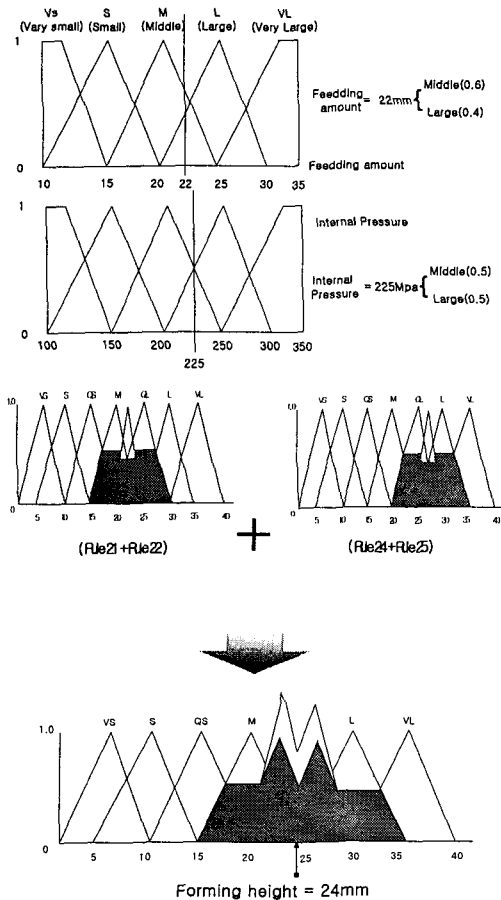


Fig. 5 Approximate reasoning of fuzzy system

소속정도를 적용할 수 있다. 이 룰들의 소속정도는 결국 THEN 결론부의 forming height 퍼지집합의 소속정도로 표현되므로 Fig. 5의 중간부분의 그림에서 사다리꼴로 표시된 부분이 이에 해당한다. 이 룰들은 어느 한 가지만 적용되는 것이 아니라 모두 적용되므로 각 룰에서 나오는 결론을 합하면 Fig. 5의 마지막 그림에 나타난 도형과 같은 결과가 얻어진다. 이

도형이 바로 근접추론의 결과이며 통상 이 도형을 대표하는 도심(center of area)의 값으로 표현되어 결국 22mm의 feeding amount, 225Mpa의 internal pressure일 때 forming height는 24mm라는 합리적인 결론이 얻어진다. 실제로 본 연구에서는 forming height를 추정하기 위해 feeding amount, internal pressure, material(pipe) strength, 의 3가지 변수를 고려하였으며 적용된 퍼지룰의 수는 300여개이다.

5. 결론

본 연구를 통해서 하이드로포밍 성형성을 예측할 수 있는 퍼지 전문가 시스템을 개발하였으며 개발 과정을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 경험적으로 표현되는 하이드로포밍 변수 및 성형 정도의 크기는 퍼지 집합에 의해 합리적으로 표현 할 수 있다.
- (2) 정성적으로 기술되는 하이드로포밍 변수와 성형성의 상관관계는 퍼지룰에 의해 적절히 기술 할 수 있다.
- (3) 퍼지 전문가 시스템의 근접추론 기능에 의해 하이드로포밍 변수가 주어질 때 성형 정도를 예측 할 수 있다.

참고 문헌

- (1) M. Koc and T. Altan, An overall review of the tube hydroforming technology, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 108, 2001, p. 384-393.
- (2) M. Lee, S. Sohn, C. Kang and S. Lee, Study on the hydroforming process for automobile radiator support members, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130-131, 2002, p. 115-120.