

페일 세이프 코드의 성형가공 롤 포밍 머신의 설계

정원재*, 박민혁*, 최진규*, 남광식*, 조상*, 이재형**, 이석순#
(*,# 경상대학교 기계공학부, ** (주)울곡)

Design of Roll Forming Machine for Fail Safe Chord Forming Process

Won-Jae Jung*, Min-Hyeok Park*, Jin-Kyu Choi*, Kwang-Sik Nam*, Zhao Shang*,
Jae-Hyung Lee**, Seok-Soon Lee#

(Received 17 March 2014; received in revised form 16 May 2014; accepted 25 August 2014)

ABSTRACT

Roll forming technology has a problem in that it depends only on experience without accurate data in the actual field. To solve this problem, it is necessary to procure accurate data during the roll forming process. To this end, we determined the operating force and the material thickness by implementing several changes to those variables during an experiment. This study compares the FEA results and experimental results. Experimental results were used for the basic data of the design. The FEA results show that the roll forming machine is operating accurately and safely. And, a comparison of the results shows that the design of the automatic roll forming machine is operating in the right way. This design of an automatic roll forming machine will be helpful for many areas of the industry.

Key Words : Finite Element Analysis(유한요소해석), Roll Forming Machine(롤포밍머신)

1. 서 론

1.1 롤 포밍 개요

현재 항공기 대형 구조물 페일 세이프 코드 부품은 Fig.1과 같이 항공기 날개의 일부 부재가 파괴되더라도 구조 전체는 안전하고, 그 설계 하중의 특정 비율의 하중을 일정 기간 지탱할 수 있는 구조물을

말한다. 이는 3미터 이상 7미터 이내의 부품으로 기계가공시의 절삭 응력으로 인반 변형이 발생하게 되며 알루미늄 합금 (AI6061)을 사용한다. 알루미늄 합금 (AI6061)는 대체적으로 변형 교정이 용이하나 변형 교정기술이 없이는 부품 생산이 어렵다. 시제품

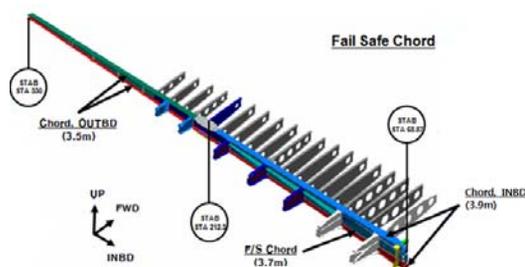


Fig. 1 Fail Safe Chord

* School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University

** YULKOK LTD.

C. A. : School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, ERI

E-mail : leess@gnu.ac.kr

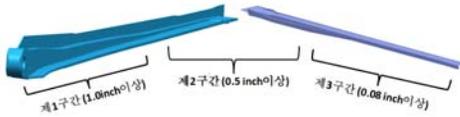


Fig. 2 Application technique of Fail Safe Chord

Table. 1 Application technique of Section

시제품 구간	Twist Forming	Eckold Forming	Roll Forming
Section 1	apply	apply	-
Section 2	apply	apply	-
Section 3	-	-	apply
Applied stress	Twist stress	Stretching, Shrinking stress	Tamping stress

의 구간별 적용 교정(성형)기술에는 Fig. 2과 같이 제 1구간, 제 2구간, 제 3구간으로 나뉘며 구간마다 적용되는 성형 기술은 Table. 1에 나타내었다.

본 연구에서 롤 포밍 성형기술이 적용되는 부분은 제 3구간이며 2.03mm의 최소 두께를 가지고 있으며 이는 변형을 위한 성형기술이 정확성을 요구함을 알 수 있다. 또한 형상 자체가 복잡하기 때문에 현재는 모두 수작업으로 이루어지고 있다. 수작업의 특성상 여러 작업을 반복하여야하고 작업자의 숙달 정도에 따라 제품의 치수만족도를 의존하여야 한다. 이처럼 작업자의 능력에 의존하여 제품의 치수를 만족하기 위하여 제품의 정밀도와 생산성에 한계를 갖고 있다.

따라서 본 논문은 항공기 대형 구조물인 페일 세이프 코드 부품을 성형하기 위한 방법인 롤 포밍 머신에 대하여 성형 정량화에 대한 연구를 진행하였다. 정량화의 대상으로는 실제 성형 시 필요 하중 및 완료시 판재의 두께 등이 있다. 필요 하중 측정을 위하여 스트레인 게이지를 사용한 실험을 하였고 두께 측정을 위하여 광섬유 센서를 이용한 실험을 실시하였다. 다음으로 자동 롤 포밍 머신에 대한 설계와 설계에 대한 검증의 단계로 유한요소해석을 진행하였다. 이러한 단계를 거쳐 최종적으로 성형에 대한 정량화를 만족시킬 수 있는 최적의 자동 롤 포밍 머신을 설계하였다^[1-2].

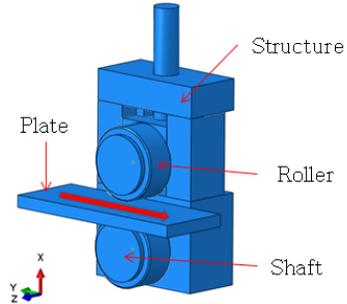


Fig. 3 Roll forming Machine

Table. 2 Material property of Roll forming Machine

Material	Object	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield Strength (MPa)
AL(6061-T6)	Plate, Structure	68.9	0.35	255
SKD11	Rolloer	210	0.3	703
SM45C	Shaft,	205	0.29	306

1.2 롤 포밍의 구성 및 작동 방법

현재 수동으로 사용되고 있는 롤 포밍 머신은 Fig.3와 같고, 재료 물성은 Table.2와 같다. 또한 실제 성형이 이루어지는 모습은 Fig.3의 화살표 방향과 같이 두 롤러 사이를 알루미늄 판재가 통과하게 된다. 자동화 롤 포밍 머신의 설계를 위해서 측정하여야 할 부분이 두 롤러가 성형 시 받는 하중과 성형 후의 판재 두께를 수동 롤 포밍 머신에서 하중 및 변위 측정을 하여 그 결과를 설계의 기본 자료로 사용하고자 한다.

2. 하중 및 변위 측정 실험

현재 수작업으로 이루어지고 있는 롤 포밍 머신에 대하여 자동화 롤 포밍 머신의 개발을 위하여 하중 및 변위 측정 실험을 실시하였다. 이는 새롭게 설계될 자동화 롤 포밍 머신의 기초 데이터로 활용하였다. 하중측정 실험을 통해 기본적인 실린더 용량을 설정하였고 변위 측정 실험을 통해 설계 정확도를 확인할 수 있었다.



Fig. 4 Experimental equipment



Fig. 5 Strain gages adhesion

2.1 스트레인 게이지를 사용한 하중측정

2.1.1 변형을 측정 과정

Fig. 4는 변형을 측정 실험 장비를 나타낸 것이다.

실험 장비는 EDAQ 장비를 사용하였고 사용된 스트레인 게이지는 저항이 $120 \pm 0.3\%$, 게이지 팩터는 $2.100 \pm 0.5\%$ 를 사용하였다. 또한 스트레인 게이지는 Fig. 5의 ①과 ②과 같이 롤 포밍 머신의 블록의 상단부에 부착하여 변형율을 측정하였다.

$$V_0 = \frac{V_s \cdot GF \cdot \epsilon}{4} \quad (1)$$

여기서, V_0 : Output Voltage, V_s : Input Voltage, GF : Gauge Factor, ϵ : Strain

식(1)을 사용하여 Strain을 측정하고 상당하는 하중을 구할 수 있다.

2.1.2 변형을 측정 결과

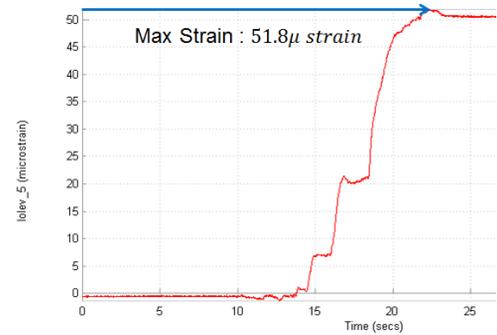
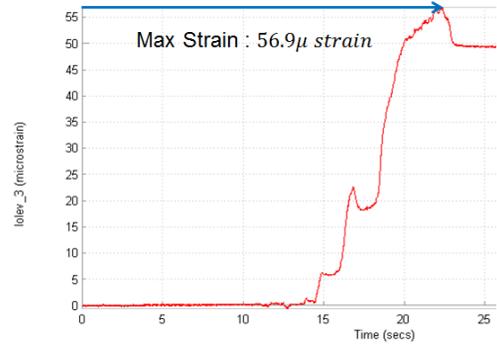


Fig. 6 Strain-Time curve

변형을 측정 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 좌측 상단(lolev_3)의 스트레인 게이지의 최대 변형율은 $56.9 \mu\text{strain}$, 우측 상단(lolev_5)의 스트레인 게이지의 최대 변형율은 $51.8 \mu\text{strain}$ 로 측정되었다. 측정

값을 이용하여 롤러에 가해지는 하중을 스트레인 게이지를 이용한 식 (2)를 이용하여 계산하면 좌측 상단(lolev_3)에서 $2,485\text{N}$ 우측 상단(lolev_5)에서 $2,263\text{N}$ 으로 나타났다. 따라서 롤러에 작용하는 하중은 $4,750\text{N}$ 으로 나타났다.

$$F = \epsilon \cdot E \cdot A \quad (2)$$

여기서,

$$E = 68.9\text{GPa}, \epsilon = 56.9\mu\text{strain}, A = 0.634\text{mm}^2\text{이다.}$$

2.2 변위 측정 실험

2.2.1 광섬유 센서를 이용한 변위측정 과정

Fig. 7는 두께 측정 실험 장비 구성을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 광섬유 센서(D63)는 일반적으로 센서의 축에 평행하게 움직이는 물체를 측정하는데

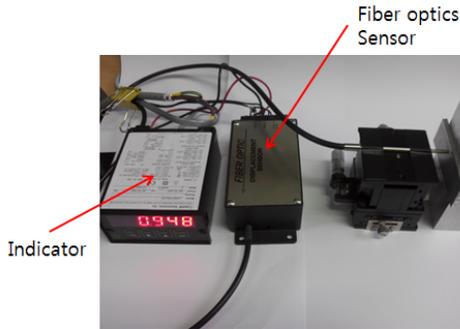


Fig. 7 Experimental equipment

사용되며 측정된 값은 인디케이터를 통해 출력되며 출력된 그래프에서 선형적인 부분을 Linear transmission range이라 하고 이 부분의 평균값을 통하여 두께를 알 수 있다. 실험은 Fiber optics Sensor (D36)

와 알루미늄 (6061-T6) 플레이트를 평행이되게 한 후 성형된 부분과 성형 전 부분에 Linear transmission range를 이용하여 일정한 간격으로 측정하였다.

2.2.2 변위 측정 결과

두께 측정 실험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 알루미늄 플레이트의 변형량 측정을 위해 Fiber optics Sensor (D63)의 감도(2.8mV/ μ m)와 가공 전, 후의

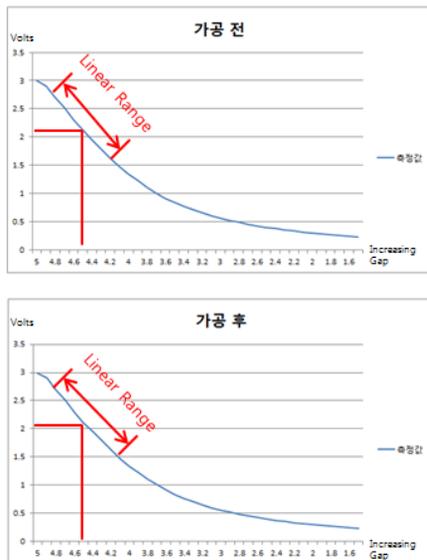


Fig. 8 Results of displacement experiment

Volts-Increasing Gap curve에서 Linear Range 범위 내의 평균 값을 이용하여 변형량을 측정하였다. Linear Range의 범위는 4.8~4mm로 적용하였으며 범위 내의 측정된 평균값은 가공 전 2.332V, 가공 후 2.326333V로 나타났다. 따라서 측정된 값과 Fiber optics Sensor (D63)의 감도(2.8mV/ μ m)를 이용하여 계산한 결과 알루미늄 플레이트의 변형량 2.34 μ m를 도출하였다.

2.3 성형하중 및 변위 측정 결과

롤 포밍 머신을 이용하여 소재를 가공하기 위하여 필요한 하중은 Strain을 이용한 측정 결과 값을 토대로 4,750N의 하중이 필요함을 알 수 있었고, 변형시 만족하는 두께의 변형량을 광섬유 센서로 측정된 결과 2.34 μ m임을 알 수 있었다.

얻은 결과값을 기준으로 현재 사용하고 있는 롤 포밍 머신을 사용하여 유한요소해석을 통하여 롤 포밍 머신이 구동되기 위한 조건을 검토할 수 있다.

3. 유한요소 해석을 통한 해석

3.1 3차원 모델링

기본 측정실험을 통해 기본적인 자동 시스템 구조를 설계하고 해석을 위한 모델링을 Fig. 9에 나타내었다. 모델링은 해석에 크게 영향을 미치지 않는 한도 내에서 수정하였다. 3D 모델링은 상용 소프트웨어인 CATIA V5에서 수행하였다. 또한 유한

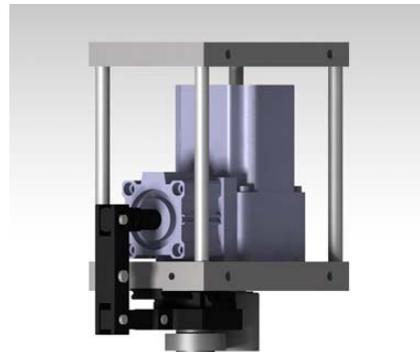


Fig. 9 3D model of roll forming tool

Table. 3 Material property of auto roll forming machine

Material	Object	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield Strength (MPa)
AL(6061-T6)	Plate,	68.9	0.35	255
SKD11	Rolloer	210	0.3	703
SM45C	Shaft, Structure	205	0.29	306

요소해석에 사용된 알루미늄 소재의 물성 정보는 Table 3에 나타내었다.

3.2 해석 조건

경계조건은 롤러와 알루미늄 플레이트에는 일반적인 스틸과 스틸의 마찰 조건인 0.3을 적용하였다. 하중조건으로는 기본측정 실험을 통해 얻은 결과 값을 토대로 실린더를 선정하였고 이에 맞추어 해석을 진행하였다.

3.3 해석 결과

기초 실험을 토대로 한 해석 롤 포밍 머신의 설계에 대한 프레임의 안정성 검토는 아래의 Fig.10~11과 같이 안전하다고 판단하였다. 최대 Mises응력 191MPa로 안전하다는 것을 확인할 수 있었다.

또한 판재에 대한 해석 결과 값으로 Fig. 12와 같이 항복강도 255MPa보다 조금 높은 257MPa를 보였고, Fig.13에서 2.024 μ m의 변위가 발생하였으므로 알루미늄 판재의 기초실험 결과 값과 동일함을 알 수 있었다.^[3~5].

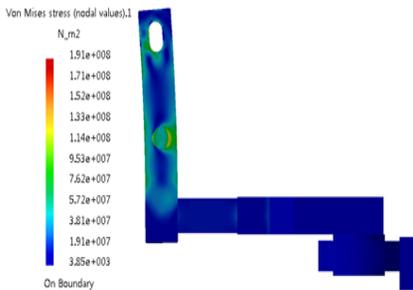


Fig. 10 FEA result of bar structure

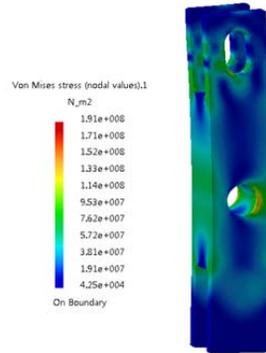


Fig. 11 FEA result of main bar

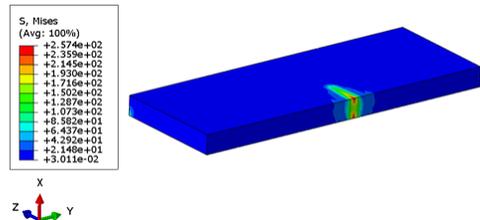


Fig. 12 Stress analysis of aluminium plate

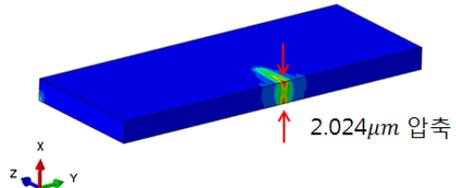


Fig. 13 Compression result of aluminium plate

4. 결론

본 연구에서는 항공기 대형 구조물 Fail Safe Chord 부품의 제 3구간에 사용되는 롤 포밍 성형 기술에 대하여 유한요소 해석과 실험을 진행하였다. 유한요소 해석에 사용된 재료는 알루미늄 (6061-T6) 이고 인장시험을 통해 재료의 특성을 파악하였다. 그리고 최종 완료된 자동 롤 포밍 성형기와 작업 모습은 Fig. 14와 15에 나타내었으며 작업자가 손쉽게



Fig. 14 Auto roll forming machine



Fig. 15 Operation of Auto roll forming machine

Table. 3 A comparison of displacement

	Experiment (μ m)	Analysis (μ m)	Error (%)
Displacement	2.34	2.024	13

사용할 수 있다는 것을 알 수 있다. 유한요소 해석은 상용화 프로그램인 Abaqus 6.12를 사용하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 유한요소 해석 결과와 두께 측정 실험을 비교 분석한 결과 알루미늄 플레이트의 변형량이 Table.3에서 알 수 있듯이 유사한 것으로 나타났다.

2) 기초실험과 유한요소해석을 토대로 설계를 진행하여 성형의 정량성이 확보된 제품을 생산할 수 있었다.

본 연구의 방법으로 롤 포밍 머신의 성형성에 정량적 판단 근거를 확보함으로써 차후 더 정밀한 가공을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2단계지역대학 육성사업(BK21)과 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업, 동남광역권 선도사업의 지원에 의해 연구되었다. 아낌없이 지원해주신 것에 대해서 감사드립니다.

참고문헌

1. W. R. Bae, B. K. Shim, Y. Jo, C. S. Jung, "Development of the Roll Forming for High Strength Long Rail", The Korean Society for Precision Engineering, pp. 1151-1152, 2010.
2. D. W. Jung, D. H. Kim, B. C. Kim, "A Study on Development of Automotive Panel of Bumper Reinforcement with High Strength Steel using Roll Forming Process", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 29, No. 8, pp. 840-844, 2012.
3. Tomas J. R. Hughes., "The Finite Element Analysis," pp. 9~20
4. Altair Engineering., "Abaqus with Hypermesh"., pp. 1~39, 2007
5. Abaqus 6.12 Documentation, Release note, 13/2/2012 edition.