



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

롤 성형 기계의 재제조 과정에서  
설계 분석 및 부품의 구조적  
안전성 연구

濟州大學校 大學院

에너지응용시스템학부 機械工學科

韓 在 鶴

2022年 6月



롤 성형 기계의 재제조 과정에서  
설계 분석 및 부품의 구조적  
안전성 연구




指導教授 鄭東垣

韓在鶴

이 論文을 機械工學 碩士學位 論文으로 提出함

2022年 6月

韓在鶴의 機械工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 강창순   
委 員 김동원   
委 員 고진환 

濟州大學校 大學院

2022年 6月

Design analysis during the re-manufacturing  
process of roll forming machines and the study  
of the structural safety

Jae-Hag Hahn

(Supervised by professor Dong-Won Jung)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Master of Science in Mechanical Engineering

2022. 6.

This thesis has been examined and approved.

*Chang-Nam Kang*

Thesis director, Chang-Nam Kang, Prof. of Mechanical Engineering

*Jung D.W.*

Thesis director, Dong-Won Jung, Prof. of Mechanical Engineering

*Jin-Hwan Ko*

Thesis director, Jin-Hwan Ko, Prof. of Mechanical Engineering

2022. 06.

Date

Department of Mechanical Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

LIST OF FIGURES .....	iii
LIST OF TABLES .....	vi
SUMMARY .....	vii
Nomenclature .....	ix
I. 서론 .....	1
1.1 Roll 성형 기계	
1.2 재제조 롤 성형 기계의 연구 목표	
II. 이론적 배경 .....	5
2.1 롤 성형의 제한 및 공차 .....	5
2.2 다중 게이지 성형 .....	7
2.3 기계 비용 및 수명 .....	8
2.4 생산관리 및 운영 .....	10
2.5 단일 포인트 조정의 이점 .....	10
2.6 컷오프 기계 기능 .....	12
2.7 컷오프 길이 공차 .....	13
2.8 성형된 단면에 대한 기계 효과 .....	15
2.9 롤 피치 직경 및 기어 비율 .....	16
2.10 성형 스테이지의 필요 요소 .....	17
2.11 액세서리 틀링 .....	19
2.12 롤 성형 틀링 방향 .....	20
2.13 전기 모터에 대한 FDI .....	24

Ⅲ. 롤 성형 기계 분석 및 수행 결과 .....	26
3.1 롤 성형 가공 타입 .....	26
3.2 롤 성형 기계 분석 .....	28
3.2.1 롤 성형 기계 작동 원리 .....	28
3.2.2 롤 성형 기계 사용 전 조정 .....	31
3.2.3 롤 성형 시 에러 .....	32
3.3 롤 성형 기계 재설계 .....	35
3.3.1 롤 성형 기계 실측 .....	35
3.2.2 롤 성형 기계 3D 설계 .....	36
IV. 설계 결과 및 분석 .....	38
4.1 설계 후 에러 부분 분석 .....	38
4.2 설계 분석 후 개선 방안 고찰 .....	39
4.3 유한요소분석 .....	42
V. 결론 .....	51
참고문헌 .....	52

## LIST OF FIGURES

Fig. 1 Minimum / Maximum Relationship .....	7
Fig. 2 Production sheet .....	11
Fig. 3 Cutoff machine .....	12
Fig. 4 Machine with die cut .....	13
Fig. 5 Post Mechanical Cutoff Press .....	14
Fig. 6 Roll to Spindle Relationship .....	15
Fig. 7 Equal versus Unequal Gearing .....	17
Fig. 8 Flower Drawing of Strut Section .....	18
Fig. 9 "C", "Hat", "Center Tongue" .....	19
Fig. 10 Male roll and Female Roll .....	19
Fig. 11 Large scale roll forming with multiple rolls .....	20
Fig. 12 Female roll setup .....	21
Fig. 13 Different shape .....	22

Fig. 14 Strip Accumulators and Roll Forming Applications .....	23
Fig. 15 Coil with Post-Cutting .....	26
Fig. 16 Coil with Pre-Punching / Pre-Notching and Post-Cutting .....	27
Fig. 17 Pre-Cut Blanks .....	27
Fig. 18 Pre-Punching and Cutting .....	28
Fig. 19 Roll Forming Machine .....	29
Fig. 20 Roll Forming Machine Parts Lists .....	29
Fig. 21 Roll Forming Motor speed control .....	30
Fig. 22 Roll Forming Laser Alignment .....	31
Fig. 23 Roll Forming sheet Alignment .....	32
Fig. 24 Roll Forming Gear Statement .....	33
Fig. 25 Sheet result after Roll Forming .....	34
Fig. 26 Sheet result after GAP adjust .....	34
Fig. 27 Male Roll measurement .....	35



Fig. 28 Roll set #4 measurement .....	36
Fig. 29 3D Design of Roll Forming Machine .....	37
Fig. 30 3D Design of Roll set section .....	38
Fig. 31 Difference shape of "V" & "U" .....	39
Fig. 32 Gear change for Roll Male Set .....	40
Fig. 33 Roll change for Roll Male #3 & #4 .....	41
Fig. 34 Install of end support .....	42
Fig. 35 3D modeling in cad-software for rollers .....	43
Fig. 36 Gravitational force .....	43
Fig. 37 Mesh Quality of four rollers .....	46
Fig. 38 Stress result of four rollers .....	47
Fig. 39 Displacement results of four rollers .....	48
Fig. 40 Strain result of four rollers .....	49
Fig. 41 Safety Factor result of four rollers .....	50

## LIST OF TABLES

Table 1. Model Information of solid body .....	44
Table 2. Material Properties of AISI 304 .....	45
Table 3. Stress Result .....	46
Table 4. Displacement result .....	47
Table 5. Strain result .....	48
Table 6. Safety Factor result .....	49

## SUMMARY

First, Re-manufacture the second-hand product saves resources along with preserving waste material. Since garbage is concern and need to recycle. So re-manufacturing knowledge is important. Big companies are interested in producing product from recyclable materials. Whereas re-manufactured products are growing because it has an advantage as eco-friendly and energy-economical product. One of big cause for that is, because those materials are part of nature. That is why, re-manufacturing is defined as a series of processes to re-commercialize end-of-life products and parts as new products. Different re-manufacturing markets already exist throughout the world. However, the size and types of re-manufacturing markets differ according to as per demand and country. In this paper, roll forming machine damage part was studied for restoration technology. likewise rolling motor, gear and chain, feeder with alignment of the machine was studied. The cause of the damage was calculated by the damage recovery process. Additionally repaired the roll forming machine with leaser measurement was applied. The parts of the roll forming machine was examined and replaced for better performance.

Next, computer analysis of the rolling parts was studied in this paper. From the roll forming machine, rolling parts are created and assembled in 3D Cad software. All together roller male and female rolling parts are combined. After that, the analysis of the roll-forming parts by applying rotational force. The study involves forming a part, and then computer analysis. Where a material part was fixed as a steel. To be exact, in this study material was stainless steel AISI 304 which is a stronger material. Overall, the use of the maximum

force of 10000 newton force to minimum 1 newton is applied to check the stability of the rollers. Altogether four combined rolling part was investigated in two main steps. They are 3D modeling and Stability study. First 2D drawing was converted into three dimensional and real view property was applied. After onwards, that 3D part was computer simulated for stability as following step ; material adjustment, fixing point, applied additional force, mesh study and result evaluation accordingly.

## Nomenclature

### Commonly used notations

L	Length of sheet
h	Flange height
t	Sheet thickness
r	Radius of bend after roll forming
Y	Width of working sheet
Si	Silicon
Fe	Iron
Cu	Copper
Mg	Magnesium
Zn	Zinc
Cr	Chromium
Al	Aluminum
Mn	Manganese
$\sigma_e$	Engineering stress
$P$	Applied load
$A_0$	Initial cross-sectional area
$\epsilon_e$	Engineering strain
$\sigma$	Displacement
$K_S$	Strength coefficient

n	Hardening coefficient
mm	Millimeter
mm/s	Millimeter per second
d	Distance Between Passes
e	Supporting Stand
$\Delta\theta$	Spring back angle
dB	Distance of bow
Lo	Base length

### **Abbreviations**

FEA	Finite Element Analysis
B.A.I	Bend angle increment
AA5052	Aluminum alloy
CRF	Cold roll forming
ICF	Incremental counter forming
FEM	Finite Element method
BLS	Buckling strain limit
MPa	Mega pascal

일부 기호는 두 번 이상 나타나며, 구체적인 의미는 문맥에서 비롯된다.

# I.서론

## 1.1 롤 성형 기계

Roll 성형은 건설, 자동차, 철도, 항공 우주 및 기타 분야에서 널리 사용되는 에너지 절약 및 재료 절약 금속 성형 공정이다. 건축에서 일반적인 금속 골격의 일종으로서, C 채널 알루미늄의 형성 품질이 공정이 특히 중요하다. 그러나 성형 제품의 형태가 복잡해짐에 따라 성형 공정에 대한 요구 사항이 요구된다. 산업 생산에서 기술자는 일반적으로 시행착오 방법으로 롤 꽃을 설계하여 많은 인적 및 재정적 손실을 초래합니다. 또한, 냉간 롤 성형 공정을 고려하지 않고 제한적으로 만든다 [1,4]. 성형 각도 증가, 롤 반지름 및 최대 에지 멤브레인 세로 변형 사이의 관계를 나타내는 이차 반응 표면 모델을 구축하기 위한 등축 설계 방법이다. 또한 위의 매개 변수와 스프링백 사이에 일차 응답 표면 모델을 설정했다. 위의 방법을 사용하여 롤 프로파일을 최적화하고 외부 모서리가 있는 채널 섹션의 열두 패스 롤 형성 프로세스를 분석했다. 그래서, U채널 강 냉간 롤 성형 공정을 동적 명시적 유한 요소 방법을 사용하여 시뮬레이션하고 반응 표면 모델에 의해 최적화된 롤 직경을 얻었다[5]. 추가적으로 스트립 횡단 전 프레임을 다음 프레임으로 분석하고, 응력의 집중 구역이 롤 갭 중심선 아래의 전이 영역 및 주요 변형 영역에서 빠져나가는 것을 발견하였다[6]. Prandtl-Reuss 흐름 규칙과 Mises 수율 기준 및 Updated-Lagrangian 증분은 불안정에서 꾸준함까지 금속 흐름 눈금자를 연구하는 방법을 반복적으로 연구한다[7]. 콜드 롤 성형에서 스프링백을 시뮬레이션하고 재료의 기계적 특성, 시트 두께, 성형 각도 및 롤 거리가 스프링백에 영향을 미치고 스프링백 법칙은 일반 스프링백 공식으로 계산할 수 없다는 것을 발견했다[8]. 마찬가지로, PAM-STAMP는 콜드 롤 성형 공정을 시뮬레이션하는 일종의 시뮬레이션 소프트웨어다[9]. 그들은 여덟 노드 솔리드 요소를 채택하여 긴 시트에 대한 메쉬를 생성하고 롤 표면을 시뮬레이션하기 위해 네

노드 웰 요소를 생성했다. 결과는 스프링백 후의 변형 분포가 한계를 갖는다는 것을 보여준다. 상기 강성-플라스틱 유한 소자 방법은 성형 공정을 시뮬레이션하고 가공 경화 계수가 성형 길이에 매우 중한 영향을 미친다는 것을 발견하고, 어닐링된 시트는 형성되기 쉽다[10]. 증분 카운터 성형(ICF) 공정을 연구함으로써, 종 방향 변형 분포 및 값은 형성 파라미터에 의해 영향을 받는 굽힘 각도에 의해 제어될 수 있음을 발견했다[11]. 그래서, 수학적 모델은 변형 과정에서 굽힘각과 종방향 변형률의 분포를 분석하고, 계산된 결과는 실험 데이터와 잘 일치하였다. 비록 콜드 롤 형성에서 종방향 변형 경향을 예측하는 역할을 했음에도 불구하고 성형 중에 관찰되는 일부 제한이 관찰된다[12]. 요소와 메쉬의 수는 시뮬레이션 모델의 안정성과 수렴에 영향을 미친다. 마찬가지로 강성 플라스틱 유한 요소 방법은 두 가지 다른 롤 형성 방법을 비교하고보다 합리적인 롤 플라워 설계 방법을 얻었다[13,14]. 연속롤 성형에서 판금의 입체 곡면은 롤 갭의 중심선이 성형 축 및 세로 곡률에 큰 영향을 미친다는 것을 발견하였다[15].

일부 학자들은 성형 품질에 영향을 미치는 냉간 롤 성형 공정 매개 변수를 연구했다. 항복 강도, 강화 계수 및 굽힘 각도 증가는 스프링 백에 민감하다. 유사하게 롤 성형기를 분석 및 설계하고, 롤 성형 1200MPa 초고강도 강판의 스프링 백 및 세로변형이 더 명백하다는 것을 발견하고, 이는 지나치게 구부러지고 보정될 필요가 있다[16,17]. 그러나 알루미늄은 업계에서 일반적으로 사용된다. 강철과 달리 알루미늄은 부드럽기에 알루미늄을 형성하는 동안 신중하게 고려해야 한다. 그 이유에 그 속도로 형성되는 알루미늄에는 결함이 있다. 그 결과, 냉간 롤 성형 공정에서 재료 파라미터, 롤 거리, 마찰 계수 및 성형 속도에 대한 연구는 성형 속도와 마찰이 제품 품질에 미미한 역할을 한다는 것을 발견했다. 콜드 롤 성형의 사전 노치 구멍 스트립은 롤 플라워, 오르막 및 내리막 전략, 롤 거리, 윤활, 구멍 거리, 구멍 직경, 플랜지 폭 및 스트립 두께에 대해 논의했다[18,19]. 그들은 성형 각도 증가가 구멍 타원형에 영향을 미치는 핵심 요소라는 것을 발견했다.

잔류 응력 측정을 위한 쿠폰을 절단하기 위해 방전 가공 기술에 대해 수행된 연구는 여전히 각도 오류의 몇 가지 단점을 가지고 있다[20]. 톱 절단 방법과 비교할 때 가열, 클램핑 및 진동으로 인한 외부 교란을 크게 줄일 수 있다. X선 회



절 방법을 사용하여 롤 성형된 사각형 중공 절편의 잔류 응력 분포는 최신 도구를 구현한다[21]. 용접 라인의 잔류 응력은 이에 대한 예측 모델을 수립했다 [22]. X선 회절계는 유도된 상변형을 동정하고 평가한다. 또한, 열역학적 효과를 고려할 때, 그들은 X선 회절계를 사용한 와이어 드로잉 공정의 잔류 응력을 연구하기 위해 두 가지 경화 법칙을 사용한다[23].

연구의 대부분은 시뮬레이션 모델의 신뢰성과 공정 매개 변수의 효과에 중점을 두었다. 업그레이드할 수 있는 롤 성형기에 센서, 레이저를 추가하여 현대 기술로 기계를 성형하고 재제조하는 냉간 롤의 잔류응력에 대한 연구는 거의 없다. 롤 형성 기계의 전통적인 방법은 현대 기술로 업그레이드해야 한다. 이는 금속 시트를 정확하게 형성하는 데 도움이 될 뿐만 아니라 성형 정확도를 향상시킨다. 스프링 백과 같은 오류는 롤 성형 기계에서 롤러 각도, 센서 판독 데이터 및 레이저 각도 측정을 조정하여 현대 장비로 조정할 수도 있다. 따라서 판금을 형성하는 전통적인 롤 방법은 현대화될 수 있다.

## 1.2 재제조 롤 성형 기계의 연구 목표

제조 분야에서는 국내 산업단지 내 사용하는 산업기계의 노후화로 인한 비용 및 품질경쟁력 약화로 설비개선의 필요성이 대두되고 있다. 대량 생산, 소비 및 폐기로 인해 자원과 환경 배출이 증가함에 따라 에너지 재사용, 재제조, 재활용이 개발하고 있으며, 특히 재제조 산업이 발달하고 있다. 재제조는 신제품과 함께 동등하게 사용한 후 제품을 제조하기 위해 자원을 재활용하는 이상적인 방법이다. 재제조는 분해-청소-검사-수리, 조정-재조립과 같은 공정을 통해 거쳐 기기의 성능을 원래와 같은 수준으로 복원시키는 방법이다. 그러나 국내 산업에서는 공작기계의 재제조 기술이 재사용을 위한 정밀 검사 시장을 형성하고 있으나 단순한 교체 또는 수리를 통한 노후화된 장비의 성능으로 인한 한계를 극복하지 못하고 있다. 노화 롤은 리버스 엔지니어링 및 피드, 회전 부품 및 역학의 핵심 단위를 복원하고 컴퓨터 재래식 제어 (CNC) 사양 및 IoT 모니터링을 장착하여

기존 성능에 첨단 기술을 장착할 수 있는 이점이 있다.

제로 폐기물 제조 제품은 업계의 비용을 유지하기 위해 중요 주제이다. 그러나 제로 폐기물 공정을 유지하기 위한 과제가 있다. 또한, 롤 성형 공정과 변형 분석 및 형상 예측이 잘 논의되고 있는 강판은 시뮬레이션 연구로서 시트 성형에 영향을 미치고 있으며, 또한 중요하다. 따라서 폐기물 재제조의 적용에 가치를 더하기 위해서는 필요성이 있다. 이 연구에서는 전통적인 제조 기계의 한계를 강조합니다. 그리고 롤 성형 기계의 구조 및 특성에 초점을 맞춘다.

이 연구는 현재 사용되고 있는 "V"형 프로파일 롤 성형 기계를 "U"형 프로파일 롤 성형 기계로 업그레이드된 후 문제점이 대두되었다. 이를 기계 설계 분석을 시행하여 3D CAD 프로그램으로 재구성 및 문제점에 대한 개선 방안을 제시하기 위해 컴퓨터 분석으로 재제조하기 위함이다. 또한, 전산화된 유한 요소 분석으로 업그레이드에 대한 롤 성형 기계 유형 및 문제 분석을 컴퓨터 해석하기 위함이다.

## II. 이론적 배경

### 2.1 롤 성형의 제한 및 공차 (Limitation and Tolerances of Rolling Forming)

#### 2.1.1 제한 (Limitation)

대부분 제품 설계는 모양 구성을 추구한다. 응력 변형의 모델링, 파이프 형상 형성의 제한 및 프레스 밴딩의 매개 변수를 고려해야 한다[24,26]. 그러나 동시에 처리 한계에 익숙해지는 것은 설계에 유용하다. 제조 단순성과 그에 따른 성공, 균일 한 조각 부품의 지속적인 생산을 위해. 컴퓨터 3D 분석 연구 및 시트의 변형 연구 [27,28] 에 의거 다음과 같이 고려해야 할 몇 가지 제한 사항이 있다.

- a. 블라인드 밴드는 한 쌍의 구동 롤(Male과 Female) 모두에 의해 접촉할 수 없는 굴곡은 제어하기가 어려울 수 있다.
- b. 좁은 슬롯은 열처리 문제에 대응하는 롤이 필요하며 특히 과도한 금속 두께 변화가 발생할 때 파손 될 수 있다.
- c. 플랜지 길이(반경 탄젠트 점을 넘어서는 금속의 길이)는 금속 두께의 3배 이상이어야 한다.
- d. 최신 설치에는 종종 롤링 작업 전후에 피어싱, 노칭, 엠보싱 및 기타 작업이 포함된다. Prepuce holes와 노치는 밴드 라인이나 모서리에서 멀리 떨어져 있어야 하며 성형 중에 크기와 모양이 약간 왜곡될 가능성을 고려해야 한다. 깨끗한 엠보싱 디자인을 형성하려면 롤을 안정시켜야 하고 엠보싱 위치는 가장 효과적인 성형을 위해 밴드 라인을 피해야 한다.
- e. 프레스 유형 컷오프 기계는 속도와 정확성 때문에 기계적, 유압식 또는 공압식이든 오늘날 롤 성형 라인과 함께 사용되는 가장 인기 있는 유형의 컷오프 방식이다. 가능하다면, 절단 단부의 왜곡을 최소화하기 위해 컷오프 다이를 구성할 수 있도록 형상을 설계해야 하거나, 이는 비실용적이며, 이는 제품 조

립품이 그에 따라 보상해야 한다.

- f. 제품에 조립될 때 노출되는 넓은 평평한 영역이 있는 섹션은 주의해야 한다. 코일 금속 가공의 발전에도 불구하고 아무도 완벽하게 평평한 코일을 만들지 않았다. 느슨한 가장자리 또는 느슨한 중심(오일 통조림)과 같은 결점은 그러한 영역으로 강조되고 있다. 폭을 가로질러 약 6인치 중앙에 추가된 1/4인치 최소 1/4 인치 높이의 세로 리브는 보상 조치로 효과적이다.
- g. 한쪽 가장자리를 따라 넓은 평평한 표면을 가진 단면은 다르게 성형될 수 있는 리플을 제거하기 위해 일부 가장자리 형성으로 개선될 수 있다.
- h. 냉간감소 및 냉간롤 성형은 완전히 호환되지 않습니다. 그러나 제한된 양을 달성할 수 있다. 금속 두께 감소는 스트립의 두께와 경도가 변하기 때문에 제어 문제가 발생한다.
- i. 코너 반경, 스프링 백의 양을 제어 ; 너무 크면 금속 경도가 변하기 때문에 모양이 균일하게 유지되지 않는다. 너무 작으면 결과가 불쾌감을 주는 압력 표시 또는 밴드 영역에서 금속 파손 또는 균열의 가능성이 있을 수 있다.
- j. 최소 굴곡 반경은 주로 금속의 연성에 의해 결정된다. 그러나, 다른 방법들에 의해서보다 롤 성형에 의해 더 날카로운 반경이 얻어질 수 있다는 것은 사실이다. 충분한 연성의 금속에서는, 코너를 형성하기 전에 금속 두께를 크라이스하거나 줄임으로써 절대 날카로운 모서리를 개발할 수 있다. 이것은 필요할 때 수행되지만, 주로 재배 롤의 수명이 제한되고 면적이 감소하여 섹션이 약화된다는 사실 때문에 제안된 설계는 아니다.

### 2.1.2 롤 성형 공차 (Tolerances of Rolling Forming)

부품 치수에 대한 공차는 형성되는 재료의 공차, 엔드 플레어 및 스프링백에도 불구하고 크게 달라집니다. 공기 냉각은 제품 제조를 위한 응력 변형 곡선 및 마이크로 응력 분석의 변형 및 유한 요소 모델링을 용이하게 하기 위해 요구된다 [27,28]. TA15 티타늄 합금의 다단 열간 가공에서의 변형 거동 및 미세 구조 진화[29,31]. 고속철도 차축강의 미세 구조 및 연성 손상 예측 및 알루미늄 합금의 수치 분석[32,33].  $\pm 1/64$ "의 치수 공차는 일반적으로 횡단면 치수에 적용되고 각

도에 대해  $\pm 1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 의 공차가 적용된다. 특정 조건이 주어지면 더 가까운 허용 오차(예:  $\pm 0.005''$ )를 유지할 수 있다. 그러나 이러한 허용 오차가 지정될 때마다 일반적으로 추가 시험 시간을 나타내는 것으로 인식되어야 한다. 더 많은 공구 비용과 특수 두께 및 기계적 특성 제어가 있는 프리미엄 가격의 재료가 필요할 수도 있다.

제조업체는 종종 하나 이상의 금속 게이지에서 주어진 모양을 만들고 최소 공구 비용을 위해 1세트의 롤에서 그렇게 할 수 있는 장비를 제안하도록 요청받는다. 롤은 최대 금속 두께에 맞게 장착되어야 하며, 작업자가 사용할 수 있는 유일한 조정은 롤을 더 가깝게 또는 더 멀리 떨어뜨리기 위해 수직이라는 것을 기억해야 한다. Figure 3은 일반적인 경우에 존재하는 최소 및 최대 조건을 보여준다. 수직 다리의 각도 변화, 전체 높이의 변화 및 굴곡에서의 아크 길이의 변화에 유의한다.

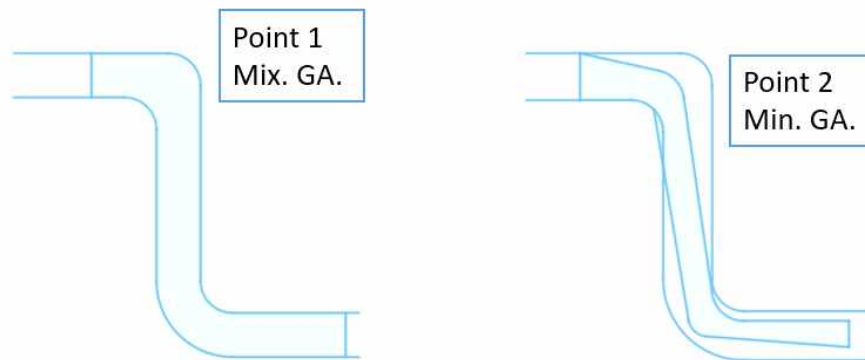


Fig. 1 : Minimum / Maximum Relationship

## 2.2 다중 게이지 성형 (Multiple Gauge Forming)

기계로 역량을 확장하려면 투자 가치를 고려하는 것이 중요하다. 롤 성형은 상점의 고유한 요구에 따라 교육받은 결정을 내릴 때 생산성과 완제품의 품질을 크게 향상시킬 수 있다. 비용, 생산 속도 및 작동 제어 측면에서 롤 성형 라인

의 가치에 대해 논의하여 롤 성형이 올바른지 또는 언제 올바른지 결정하는 데 도움을 준다.

- a. 폭 변형은 단면 공차에도 영향을 미친다. 여기에 묘사된 모자 성형의 경우, 너비 변화는 다리 길이의 변화로 반영된다. 부품 설계자는 그에 따른 설계를 하여야 한다.
- b. 형성된 단면의 직진성은 각 코일의 스트립 두께 또는 경도 변화, 또는 코일에서 코일, 롤 압력 조정, 윤활제 또는 온도 변화 및 캠버에 이르기까지 여러 가지 요인 중 하나로 인해 달라진다. 생산자는 이러한 조건의 영향을 인식하고 이를 보완할 수 있어야 한다. 모든 기계의 출구 끝에 직선 부착 장치가 설치되어야 한다.
- c. 직진성은 세 가지 고려 사항으로 구성된다
  - 캠버 또는 수직 평면의 직선으로부터의 편차
  - 스윙, 수평면의 직선으로부터의 편차
  - 캠버와 스윙에 대한 크기 순서는 약 10' 에서 약 1/8 " 또는 1/4"이고, 약 10' 에서 약 5 °~15 ° 비틀어 진다.

## 2.3 기계 비용 및 수명 (Machine Cost and Life)

### 2.3.1 기기 비용 (Machine Cost)

코일 릴, 컷오프 및 전기 장비를 갖춘 표준화 된 롤 성형 라인의 초기 비용은 롤 스탠드의 크기와 수에 따라 비용이 많이 든다. 이 기계의 수명에는 실질적으로 제한이 없다. 교체를 포함한 유지 보수는 남용되지 않는 한 매우 오래된 기계에서도 작거나 무시할 수 있다. 지난 십여 년 동안 노후화 요인 또한 매우 작았다. 기계의 정확성, 접근성, 조정 용이성 및 착용 품질이 지속적으로 향상되었지만 기본 디자인은 변경되지 않았다.

### 2.3.2 생산비율 및 전환 비용 (Production Rate and Conversion Cost)

표준 롤 성형 기계는 일반적으로 100FPM의 공칭 속도로 작동하도록 장착되어 있지만 특정 요구 사항을 충족시키기 위해 더 높거나 낮은 속도로 쉽게 설계될 수 있다. 크로스 웨지 롤링 공구 매개 변수가 성형성에 미치는 영향을 조사한다 [34,35]. 내부 상태 변수를 사용하는 티타늄 합금의 고온 변형[36]. 이 속도로, 일일 생산량은 코일 적재, 밀스레딩, 완제품 제거 및 그림에 들어갈 수 있는 가동 중지 시간의 다른 요소에 대한 일반적인 지연을 고려하여 8시간의 섹션 중 평균 약 25,000~30,000피트이다. 따라서, 정상 상태의 열간 성형 조건에서 Ti-6Al-4V에 대한 지배적인 연화 메커니즘의 모델링 및 금속의 가소성에 대한 연구[37,38].

전환 비용은 분명히 공장마다 다르며 요구 사항마다 다르다. 이러한 이유로 일반적인 관찰은 거의 의미가 없다. 각 작업은 개별적으로 분석해야 한다. 스프링 백 및 판금 형성에서의 주름의 예측에 대한 경계 조건의 영향을 분석하였다 [39,40]. 그러나 높은 생산성과 관련된 낮은 운영 비용은 손익분기점을 변함없이 제공하므로 롤 포밍을 사용하여 모든 제품을 성형할 수 있다면 변환 비용은 다른 방법으로 얻을 수 있는 것보다 낮을 것이다. 오늘날의 전기 제어 및 컴퓨터 기술을 통해 롤 전 작업을 비즈니스의 MRP 시스템과 통합하여 롤 형성 시기와 양을 예약할 수 있다.

길이, 수량 및 구멍 패턴은 회사의 들어오는 주문에서 지시될 수 있으며 롤 성형 기계 제어로 라우팅 될 수 있으며 제품별 라벨링 또는 잉크젯 마킹이 포함되어 있어 롤 전자에서 나온 제품을 주문으로 식별할 수 있다. 이러한 통합은 일부 컨트롤의 업그레이드를 통해 기존 롤 이전 설치에 추가되거나 새 설치의 초기 단계에서 계획될 수 있다. 또한, 이러한 시스템을 작동시키기 위해서는, 설비들이 롤 포머 생산 큐로 처리 및 전송될 수 있는 데이터 포맷으로 들어오는 주문을 조작하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어 인프라를 가질 필요가 있다.

## 2.4 생산관리 및 운영 (Production Management and Operation)

오늘날의 전기 제어 및 컴퓨터 기술을 통해 롤 전 작업을 비즈니스의 MRP 시스템과 통합하여 롤 형성 시기와 양을 예약할 수 있다. 길이, 수량 및 구멍 패턴은 회사의 들어오는 주문에서 지시될 수 있으며 롤 성형 기계 제어로 라우팅될 수 있으며 제품별 라벨링 또는 잉크젯 마킹이 포함되어있어 롤 전자에서 제품이 만들어진 주문으로 들어오는 제품을 식별할 수 있다. 이러한 통합은 일부 컨트롤의 업그레이드를 통해 기존 롤 이전 설치에 추가되거나 새 설치의 초기 단계에서 계획될 수 있다.

n 보다 생산적인 롤 성형 작업을 실행하기 위한 것이다. 이를 위해서는 기계류가 가장 효율적인 시간 내에 최고 품질의 제품을 생산할 수 있는 올바른 기능을 갖추고 있는지 확인해야 한다. 새 기계에 투자하거나 현재 장비를 업그레이드할 때 찾아야 할 한 가지 기능은 단일 지점 조정의 가용성이다. 단일 지점 조정(SPA)은 작업자가 롤 스탠드를 한 지점에서 조정하여 롤 샤프트를 하단 롤 샤프트와 평행하게 유지하면서 상단 샤프트를 위 또는 아래로 이동할 수 있는 기계 기능이다.

## 2.5 단일 포인트 조정의 이점 (The Benefits of Single Point Adjustment)

SPA를 사용하면 롤 틀링 설정을 문서화 할 수 있으므로 향후 설정을 매우 반복할 수 있으므로 설정 시간이 단축된다. 롤 포머가 노화됨에 따라 베어링 블록과 조정 나사가 스레드 조정에서 슬롭을 갖기 시작한다. SPA 잭스크류를 사용하면 이 슬롭을 잭 스크류에서 조정하여 공차 수준을 유지할 수 있다.

생산성을 위해 작업자는 안전한 거리에서 기계를 조정할 수 있으며 아날로그 판독을 통해 조정 시 이동량을 알 수 있다. 단일 점 조정은 작업자가 조정을 "느끼는" 필요성을 제거한다. 대신, 그들은 조정에 대한 긍정적인 피드백을 가지고



있다. 롤 툴링을 적절히 설정하면 효율적인 전환과 설정 스크랩의 감소가 가능하다. 하단과 상단 롤 샤프트를 평행하게 유지할 수 있는 기능으로, 이것은 또한 베어링 블록에 압력을 균일하게 유지하여 기계가 필요로 하는 유지 보수 양을 줄인다. 이 장치에는 병렬 처리를 유지하는 반발 방지 기능도 있다. 평행하지 않은 샤프트 세트는 재료의 한쪽 면이 다른 쪽보다 더 많은 압력을 가한다. 이로 인해 최종 제품의 과도한 트위스트 및 캠버와 같은 품질 문제가 발생할 수 있다. 병렬 롤 샤프트는 잘못 정렬된 롤 툴링의 가능성을 줄여 공구 손상과 과도한 품질 문제를 야기한다. SPA는 제품의 생산성과 품질을 향상시키는 것 외에도 롤 툴링을 롤 전자에 닿지 않고 이동할 수 있는 기능으로 작업자 안전을 향상시킨다. 요약하면, 단일 포인트 조정 기능을 갖춘 기계는 다양한 생산성, 품질 및 안전 관점에서 롤 성형 작업을 향상시킬 수 있다.

롤 성형 기계의 최대 생산 능력 (연속 작동 및 코일 스톡을 공급하여 사용 가능한 향상된 제품 일관성)을 실현하기 위해 컷오프 기계는 전체 롤 성형 시스템의 중요한 부분이 된다.



Fig. 2 : Production sheet

## 2.6 컷오프 기계 기능 (Cutoff Machine Function)

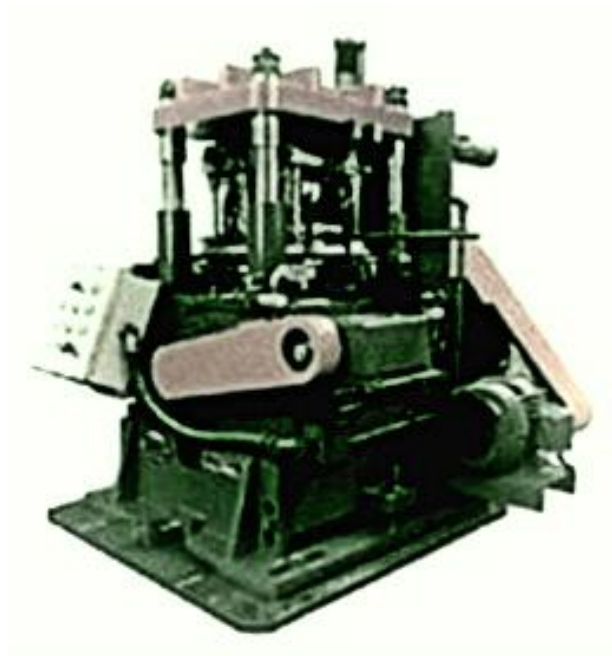


Fig. 3 : Cutoff machine

가장 일반적으로 사용되는 기계는 위의 4-포스트 모델과 유사하며 레일이 볼스터 플레이트와 램에 고정된 언더 구동 프레스로 묘사될 수 있으며 비행 컷오프 다이는 레일에서 오른쪽에서 왼쪽으로 자유롭게 미끄러질 수 있다. 이 기계들은 단면의 전방 진행을 멈추지 않고 롤 성형기를 빠져나올 때 형성된 단면을 길이로 절단하는 기능을 한다. 이 섹션은 다이를 통과하고 로터리 엔코더, 포토 아이, 리미트 스위치 또는 포지티브(기계적) 스톱을 통해 원하는 길이가 측정될 때까지 런아웃 테이블을 따라 이동한다. 이 타겟은 절단 기간 동안 절단 사이클을 시작하고, 다이는 슬라이드 레일에서 오른쪽에서 왼쪽으로 이동한다. 컷이 완료되면 자동으로 시작 위치로 돌아간다. 이것은 가장 단순한 작동 방법이다. 그러나, 절단 길이 허용오차는 온라인 속도, 컷오프 프레스의 유형 및 사용된 길이 제어의 방법에 따라 매우 광범위할 수 있다.



Fig. 4 : Machine with die cut

## 2.7 컷오프 길이 공차 (Cutoff Length Tolerance)

선속도의 함수로서의 길이 공차의 일반적인 그림과 길이 조절 방법이 위의 그림에 나와 있다. 이 주제에 대해 더 자세히 다루는 것은 이 토론의 범위 내에 있지 않다. 그러나 컷오프 성능, 다이 설계, 트리거링 방법, 다이 가속 및 재료 취급은 모두 롤링 머신 속도, 절단할 수 있는 길이, 유지될 수 있는 길이 허용 오차 및 차례로 투자 달러에 영향을 미친다. 사용 가능한 예산 및 최종 사용 요구 사항에 대해 요구 사항에 대한 현실적인 평가가 이루어져야 한다.

연속 작동과 코일 스톱을 공급하여 사용할 수 있는 향상된 제품 일관성을 포함하여 롤 성형 기계의 최대 생산 능력을 실현하기 위해 컷오프 기계는 전체 롤 성형 시스템의 중요한 부분이 된다. 가장 일반적으로 사용되는 기계는 4-post 모

델과 유사하며 레일이 보강 플레이트와 램에 고정된 언더 구동 프레스로 묘사될 수 있다. 비행 컷오프 다이는 레일에서 오른쪽에서 왼쪽으로 자유롭게 미끄러질 수 있다. 이 기계들은 단면의 전방 진행을 멈추지 않고 롤 성형기를 빠져나올 때 형성된 단면을 길이로 절단하는 기능을 한다.



Fig. 5 : Post Mechanical Cutoff Press

이 섹션은 다이를 통과하고 로터리 엔코더, 포토 아이, 리미트 스위치 또는 포지티브(기계적) 스톱을 통해 원하는 길이가 측정될 때까지 런아웃 테이블을 따라 이동한다. 이 대상은 절단 사이클을 시작하고 절단 시간 동안 다이는 슬라이드 레일에서 오른쪽에서 왼쪽으로 이동한다. 컷이 완료되면 자동으로 시작 위치로 돌아간다. 이것은 가장 간단한 작업 형태이다. 그러나 절단 길이 허용 오차는 온라인 속도, 컷오프 프레스 유형 및 사용된 길이 제어 방법에 따라 매우 광범위할 수 있다. 오프 동작을 위한 다른 작동 방법은 다음과 같다.

- 회전식 엔코더가 있는 개방 루프 측정 시스템
- 회전식 엔코더가 있는 폐쇄 루프 측정 시스템
- 리미트스위치에 의해 트리거되는 미리 표시된 영역에서 기계 조종 또는 픽업.

## 2.8 성형된 단면에 대한 기계 효과 (Machine Effects on a Formed Section)

대부분의 금속 가공 또는 성형 장비와 같은 롤 성형 기계는 다양한 크기로 제공된다. 더 많은 가공 패스를 가진 롤 성형 기계는 기계의 각 연속 패스가 원하는 프로파일을 생성하기 위해 추가 밴드를 형성할 수 있기 때문에보다 복잡한 모양을 생성할 수 있다. 프로파일의 복잡성 외에도 특정 기계에서 롤 성형할 수 있는 프로파일의 전체 크기는 여러 기계 사양에 따라 다르다.

가장 간단한 것은 롤 공간이다. 롤 공간 또는 롤 툴링이 로딩되는 각 패스의 영역은 롤 형성될 수 있는 금속 스트립의 폭에 대한 제한 요소이다. 예를 들어, 롤 공간이 18인치인 기계는 18인치보다 넓은 스트립을 형성할 수 없다. 평평한 스트립이 기계에 들어올 때, 그것은 가장 큰 롤 공간이 필요한 지점이다. 밴드가 스트립으로 점진적으로 형성됨에 따라 기계의 전체 너비 요구 사항이 감소한다.

섹션의 높이 또는 깊이에 대한 주어진 기계의 기능은 주로 스펀들 사이에서 사용 가능한 수직 거리에 의해 측정된다. 이것은 하단 스펀들의 중심선에서 기계 받침대의 상단까지의 거리 및 롤 스탠드 사이의 수평 중심 거리와 함께 최대 롤 직경을 설정한다.

Fig. 6에서와 같이 간단한 채널에 대한 마지막 롤 스테이지의 롤 윤곽선을 살펴보고 기계의 다른 부분과의 관계에 주목해 보자.

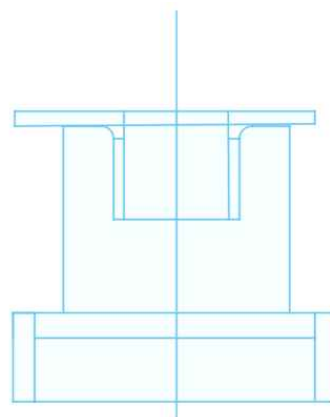


Fig. 6 : Roll to Spindle Relationship

방금 언급한 제한 사항 외에도 하단 롤 플랜지와 상단 롤 스페이서의 외부 직경 사이에 클리어런스가 있어야 하며 섹션의 가장자리와 상단 롤 스페이서 사이의 여유 공간이 있어야 한다. 또한 하단 롤 플랜지 직경에는 한 패스에서 다른 패스로 스텝하는 데 도움이 되는 lead-in 또는 bell-mouths 윤곽선이 포함된다.

## 2.9 롤 피치 직경 및 기어 비율 (Roll Pitch Diameter and Gearing Ratio)

롤 "피치" 직경은 일반적으로 가장 넓고 거의 수평 영역에서 주어진 프로파일을 결합하도록 선택된다. 이 영역은 가장 효과적이고 균형 잡힌 견인력을 제공하기 때문에 중요하다. 상단 및 하단 롤의 피치 직경 사이의 비율은 상단 및 하단 스펀들을 연결하는 기어링의 비율과 동일해야 한다.

일부 제조업체는 동일한 비율 또는 동일하지 않은 비율 롤을 수용할 수 있는 기계를 제공한다. Fig. 7의 왼쪽에는 동일한 피치 직경 롤의 스테이지를 통과하는 단면이 있다. 오른쪽 도면은 불평등한 비율 롤을 위해 장착된 기계의 동일한 롤 스테이지를 보여준다. 후자의 피치 직경은 스펀들 사이의 중간 지점보다 훨씬 낮으며 보시다시피 동일한 수직 중심을 가진 훨씬 더 깊은 섹션을 형성할 수 있는 충분한 공간을 확보한다.

동일한 비율 롤만 적용할 수 있는 기계에서는 깊은 섹션이 "부동 (float)"에 의해 형성된다. 피치 라인." 이것은 좋은 절차는 아니지만, 특히 가벼운 게이지와 좁은 모양과 관련된 특정 경우에 적용할 수 있다. 원칙적으로, 그것은 연속적인 롤 패스에서 서로 다른 피치 직경을 포함하며, 각 하단 스펀들이 동일한 rpm으로 구동됨에 따라 패스 간의 "롤 싸움", 과도한 기어 부하 및 과도한 마력 요구로 이어질 수 있다.

요약하면, 사용 가능한 롤 성형 스테이션의 수 외에도 스펀들 사이의 사용 가능한 수직 거리와 기어 비율을 고려하는 것이 중요하다. 수직 스펀들 거리와 기어 비율의 조합은 형성될 수 있는 완성된 프로파일의 최대 높이를 정의한다. 기존 롤 성형기에 맞게 제품 크기를 조정하는 것이 우려되거나 새 기계의 크기를 조

정하는 데 도움이 필요하다면 장비 공급 업체에 문의한다.

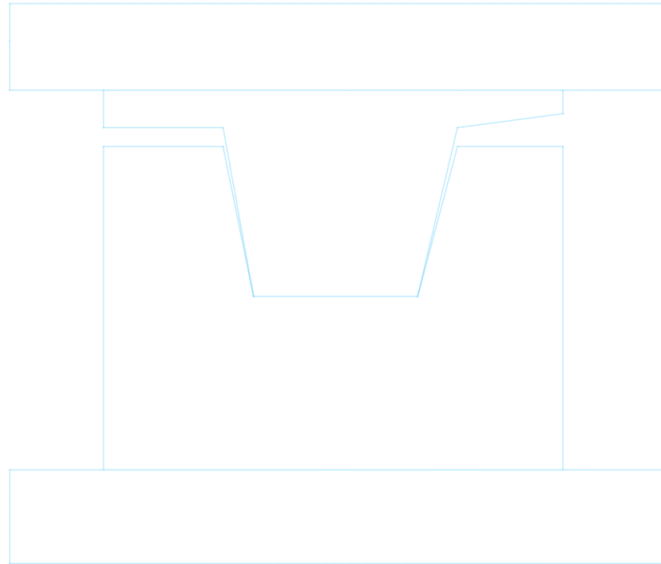


Fig. 7 : Equal versus Unequal Gearing

롤 성형기의 틀링은 주로 스펀들에 정렬되어 측면으로 고정되는 스페이서와 함께 구동 성형 롤로 구성된다. 적절한 롤 디자인, 재료 및 제조의 중요성은 충분히 강조될 수 없다. 롤 디자인을 자세히 논의하려는 의도는 아니며, 지식이 풍부하고 숙련된 엔지니어의 관할권이지만 몇 가지 간단한 의견은 확실히 순서에 있다.

#### 2.10 성형 스테이지의 필요 요소 (Required Amount of Forming Stations)

롤 스테이지의 수의 선택은 압연할 모양의 구성에 따라 다르며 재료 및 기계의 특성에 따라 어느 정도 자격이 부여된다. 롤 성형을 위한 공구 설계는 정확한 과학이 아니다. 다양한 모양에 적용되는 명확한 규칙은 없다. 주어진 모양을 형성

하는 데 필요한 롤 스테이지의 수는 단면의 깊이 또는 높이, 굴곡 수 및 금속 두께의 증가에 따라 증가한다고 말할 수 있다. 또한, 스테이지 수는 롤 사이의 수평 중심 거리가 증가하거나 롤 피치 직경이 증가함에 따라 어느 정도 감소할 수 있다.

전체 형성 길이를 40 대 1 비율의 섹션 높이와 관련시키는 또 다른 이론이 있다. 롤 사이의 중심 거리와 관련된 또 다른 것은 밴드 아크 주위의 금속 이동과 스트립 가장자리를 따라 생성된 변형에 대한 것이다. 또 다른 하나는 롤 직경, 전이 또는 롤 접촉 거리, 밴드의 아크 주위의 금속 이동 및 다시, 결과 에지 스트레인에 관한 것이다. 모두에게 공통적인 것은 금속이 평면에서 완성된 부분으로의 진행에서 과도하게 늘어날 수 없다는 기본 전제이다. 이 이론들 각각은 더 많은 것이 있을 수 있으며, 논리적인 기초를 가지고 있다. 각각은 사물의 계획에서 그 자리를 차지한다. 그러나 아무도 전체 이야기를 말하지 않는다. 엔지니어는 금속이 각 단계에서 취할 모양을 시각화할 수 있어야 한다. Fig. 8은 다른 말로 하면, 성형 진행을 시각화하는 것을 "꽃" 레이아웃이라고 한다.

Fig. 9은 모든 단계에서 순수한 굽힘을 포함하는 전형적인 "C" 섹션의 진행 꽃과 Fig. 9-b 굽힘과 그리기를 모두 고려하는 "모자" 섹션의 꽃을 보여준다. Fig. 9-c의 단면은 드로잉과 밴딩의 조합도 보여준다. 그것은 또한 가장자리에 대한 작업이 시작되기 전에 금속을 끌어당기고 형성하고, 중앙 허를 형성해야 한다.

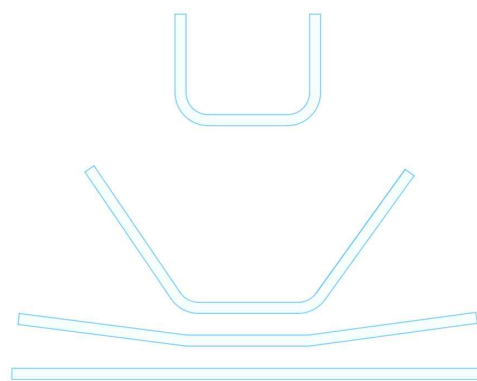


Fig. 8 : Flower Drawing of Strut Section





Fig. 9 : "C", "Hat", "Center Tongue"

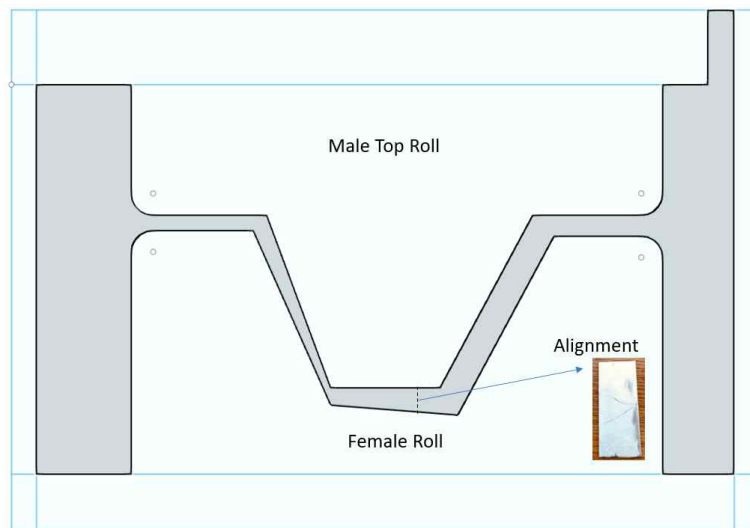


Fig. 10 : Male roll and Female Roll

### 2.11 액세서리 툴링 (Accessory Tooling)

때로는 수직축, 구동 롤 스테이지 사이에 롤을 장착하여 성형 또는 안내가 필요할 때 모양에 측면 압력을 가할 필요가 있다. 마찬가지로, 길이 절단 스트립이 롤 성형기를 통해 공급될 때, 스테이지 간 가이드 장치는 롤에서 롤로 진행되는 리드 엔드를 안내하는 데 사용된다. 이러한 품목은 직선화 가이드 또는 롤과 함께 액세서리 툴링으로 간주되며 모든 제조업체에서 제공하는 표준 설비에 장착된다.



Fig. 11 : Large scale roll forming with multiple rolls

## 2.12 롤 성형 툴링 방향 (Roll Form Tooling Orientation)

형상 방향, 롤 축에 상대적인 위치는 롤 디자인의 중요한 요소로 간주 되어야 한다. 기계 비용, 공구 비용, 부품 품질 및 작업의 전반적인 효율성에 영향을 줄 수 있다. 특정 방향은 다음과 같은 이유로 기본 설정을 받을 수 있다.

- a. 롤 스테이지 및 롤 직경의 수에 관한 성형 기계의 한계.
- b. 다이 공간과 스트로크에 대한 컷오프 기계의 한계.
- c. 단면의 완성 또는 노출 된 표면을 형성되는 동안 작업자가 볼 수 있는 위치에 유지하려는 욕구.
- d. 컷오프 버를 특정 방향으로 배치하려는 욕구.
- e. "조합" 또는 "단면화된" 롤에서 유사한 섹션을 도구화하려는 욕구.
- f. 최소화, 통제 또는 제거하려는 욕구.
- g. 굽기와 질주
- h. 블라인드 벤드

- i. 갇힌 냉각수
- j. 스프링백
- k. 다른 인라인 작업의 요구 사항, 예를 들어, 코일링, 준비, 포스트 펀칭.
- l. 공구 비용 경제성 또는 설치 및 작동의 용이성.
- m. 관련된 커버 스트립의 코어를 적용하기 위해 가장 편리하게 라미네이트 섹션을 배치 할 필요가 있다.
- n. 롤 설계는 롤 성형 라인에서 롤 툴링 및 기계류의 구성을 포함한다.
- o. 롤 재료 및 롤 수명

롤은 일반적으로 공구강으로 만들어지며, 등급은 조각 부품의 예상 생산 및 마무리에 따라 다르다. 매끄러운 마무리 스트립이 형성되거나 열간 압연, 절임되지 않은 강철로 모양이 형성될 때 일반적인 의무 응용 프로그램의 경우 약 1.5%의 탄소와 12%의 크롬을 가진 High Chrome-High Carbon 공구강 (AISI D-2)이 제안된다. 이것은 일반적으로 60-63 로크웰 "C"로 열처리되며 이전에 사용된 오일 경화 공구강의 수명의 약 2~21/2 배를 길어진다. 이 공구강은 우수한 마모 품질을 가지고 있으며 라이트 게이지 냉간 성형 섹션의 평균 주행을 위해 재연삭하기 전에 3~5 백만 피트 이상의 순서로 여러 번 롤링할 것으로 예상될 수 있다.. 일반적으로 롤이 폐기되기 전에 4~5회 재분쇄를 할 수 있다.



Fig. 12 : Female roll setup

- a. 산업 및 제품 적용을 위해, 다른 재료가 사용될 수 있다. 광 게이지, 사전 도장 또는 아연 도금된 넓은 제품, 예를 들어 건물 패널 또는 금속 루핑의 경우, 크롬 도금 합금강이 사용될 수 있으며, 이는 응용 분야의 자유로운 허용 오차 및 관련된 광 성형 작업으로 인해 사용될 수 있다. 추가적으로, 인라인 용접 또는 열처리와 같은 롤 툴링에 대해 비자성 또는 온도에 민감한 환경이 있는 경우, 다른 재료, 특히 알루미늄 청동(비자성) 또는 AISI H13 공구강(D2에 비해 내열성)이 필요할 수 있다.
- b. 마지막으로, 매우 빠른 속도, 높은 마모 응용 분야, 가장 일반적으로 튜브 밀, 텅스텐 카바이드 툴링을 사용할 수 있다. 초경 공구는 툴링 마모가 크게 향상될 수 있지만 툴세트보다 훨씬 더 부서지기 쉽기 때문에 툴링 조각의 취급에 주의해야 한다.
- c. 분할 롤 및 조합 툴링.
- d. 롤은 가공, 연삭 또는 크기 변경을 용이하게 하고 극심한 마모가 발생할 수 있는 롤 조각을 쉽게 교체할 수 있도록 필요한 경우 분할된다. 일반적으로 6인치 너비를 초과하는 롤 조각은 없으므로 넓은 모양 롤은 서비스 요구 사항에 따라 섹션, 때로는 다른 재료로 구성된다.

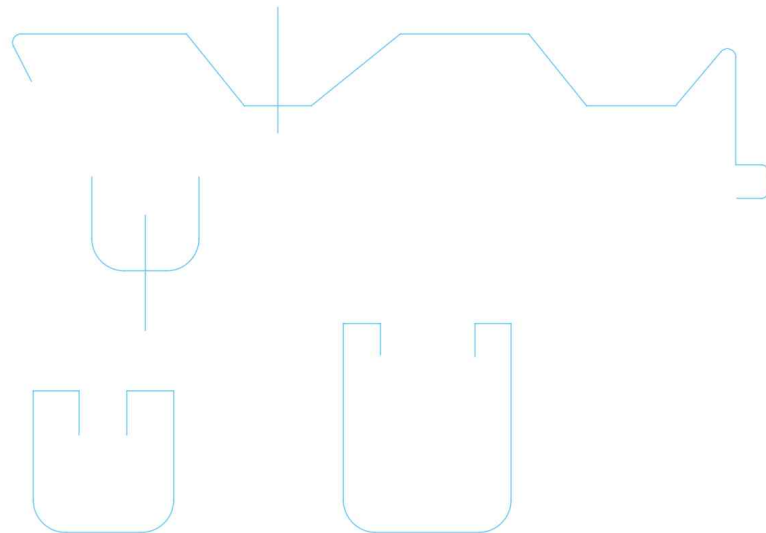


Fig. 13 : Different shape

분할 롤의 주제와 밀접한 관련이 있는 것은 제조업체가 최소한의 공구 비용으로 여러 모양을 생산할 수 있도록 조합 공구를 사용하는 것이다. 아래 그림에서 섹션 # 1과 # 2의 유사성에 유의하십시오. 이들을 위한 조합 툴링이 제공되었다. 기본 세트는 이 라인의 왼쪽에 있는 부분에 대해 별도의 롤 세트가 있는 라인 XX의 오른쪽에 있습니다. 섹션 #3을 살펴보면 그림과 같이 라인 XX를 따라 채널 롤 세트를 분할하면 분할에 스페이서를 추가하는 것만으로 수많은 너비를 형성할 수 있습니다. #4 및 #5로 표시된 모양은 첫 번째 가공 패스의 너비에 대한 스페이서가 있는 분할 롤, 공통 하단 롤 집합 및 후속 가공 패스의 상위 롤 2개 세트를 포함하는 또 다른 유형의 조합 롤 배열을 사용한다.

롤 성형 작업이 가능한 한 생산적이기 위해서는 최소한의 가동 중지 시간으로 시스템을 통해 움직이는 재료를 최적화된 속도로 유지해야 한다. 롤 전자를 최적의 속도로 작동시키는 데 사용할 수 있는 최고의 기계중 하나는 스트립 축압기이다. 이 기사물에서는 스트립 어큐물레이터의 특징과 이점, 그리고 스트립을 공정에 통합하면 롤 성형시스템이 보다 생산적이고 효율적으로 될 수 있다.



Fig. 14 : Strip Accumulators and Roll Forming Applications

- a. 코일이 언코일러에서 떨어지면 스트립 어큐물레이터는 롤 성형 공정을 중단하지 않고 자동으로 롤 포머에 재료를 공급한다. 또한 어큐물레이터를 사용하여 금속을 펀칭 시스템에 공급할 수 있으므로 다이를 변경하지 않고도 많은 구성을 생산할 수 있다.
- b. 공정에 가장 적합하도록 롤 성형 시스템에 통합할 수 있는 축압기의 다양한 구성이 있다. 오버 헤드 (또는 지하) 어큐물레이터는 이 기능에 대한 최초의 기계화 된 개념이었으며 스트립에 마킹을 덜 남기지만 비용이 많이 들고 유지 보수가 어렵다. Festoons는 설치 공간이 작고 투자가 적지만 스토리지가 거의 없으며 상대적으로 낮은 속도로 실행된다. 수직 축압기는 스트립 방향을 위한 필요나 공간없이 인라인에 쉽게 맞지만 유지 보수 친화적이지 않으며 고속을 위한 것이 아니다. 마지막으로, 수평 축압기는 유지 보수가 거의 필요하지 않으며 저장 용량이 크지만 스트립 방향을 위한 비틀림 및 재비틀림 공간이 필요하므로 재료를 표시할 수 있다.
- c. 고속 롤 성형 작업에서 롤 전자를 중지하고 시작하는 것은 귀중한 실행 시간과 재료가 필요하다. 그러나, 어큐물레이터가 공정 라인을 공급하기 위해 과도한 재료를 저장함에 따라, 코일 교환 동안 작동이 계속될 수 있다. 이 프로세스는 공정에 더 높은 수준의 효율성을 추가하여 제품을 문밖으로 나가는 시간을 절약한다. 모든 제품에 대해 평균을 구한 스트립 어큐물레이터는 생산성을 크게 높이고 수율을 약 1%에서 10%까지 증가시킬 수 있다.

### 2.13 전기 모터에 대한 FDI (FDI for electric motors)

포장 산업의 제조 기계는 생산 공정을 완료하기 위해 여러 작업을 수행해야 한다. 최신 자동화 시스템은 이러한 작업이 실행되는 방식을 점점 더 유연하게 재구성해야 한다. 다양한 제품 크기, 포장 패턴에 대해 증가하는 필수품을 조정한다. 제조 시스템의 유연성과 재구성 가능성을 향상시키는 가장 효율적인 솔루션

은 운동학 체인의 복잡성을 줄이는 것이다. 개발, 이 솔루션은 전기 모터 및 모션 제어 장치에 점점 더 의존해야 하며, 따라서 신뢰성은 전체 플랜트의 효과적이고 수익성 있는 작동에 필수적이다.

전기 기계 및 전력 전자 장치의 진단 및 모니터링 기술에 대한 연구는 훌륭한 역사적 배경을 가지고 있다. 예를 들어, 결함 트리 분석 및 이러한 기술의 실제 적용은 업계에서 중요한 주제이다. 산업 응용 분야는 유도 모터와 영구 자석 브러시리스 모터에 중점을 둔다. 주로 제조에 사용되는 전기 액추에이터의 종류이다. 이 모터의 일반적인 결함은 절연 결함, 위상 권선의 개방, 샤프트의 굽힘, 공극 불규칙성, 볼 베어링 또는 기어 박스 결함, 일반적인 매개 변수 변화와 관련이 있다. 위치 또는 속도 센서 오류 등이 있다. 전기 모터에 대한 FDI 방법에서 할 수 있는 주요 차이점은 신호 기반 방법과 모델 기반 방법에 있다. 첫 번째 경우, 모터의 단자에서 사용할 수 있는 신호의 주파수 스펙트럼, 그것은 전압과 전류입니다. 특성 결함의 지표를 감지하기 위해 분석된다. 전통적인 푸리에 분석은 이러한 목적에 충분하지 않으므로 고급 FDI 기술은 추가 분석을 기반으로 한다. 결함이 있는 전기 모터의 전류 또는 모터 전류 분석과 같은 고정되지 않은 신호의 경우에 더 적합하다. 타원성은 삼상 고정자 권선에서 결함이 있는 위상을 직접 나타낼 수 있다.

모델 기반 방법에서는 모터의 전기 및 기계적 역학에 대한 분석 지식이 시스템의 상태 및 / 또는 파라미터의 온라인 추정에 활용된다. 잔차의 예상값에서 벗어나는 것은 FDI( 추정을 기반으로 하는 브러시리스 DC 모터에 대한 FDI 기술)의 직접 또는 간접 서명으로 사용될 수 있다.

결론적으로, 인공지능 기술은 전기 모터의 신호 기반 및 모델 기반 FDI에 모두 채택되었다. 신경망(NNs) 또는 퍼지 로직 처리를 통해 주파수 스펙트럼 분석을 향상시켜 모터 결함에 대한 휴리스틱 지식을 추출한다.

추가로 FDI 방법의 대부분은 주목할 가치가 있다. 산업용 모션 제어 장치에서. 그들의 계산 성능은 요즘 중간 수준의 개인용 컴퓨터의 성능과 비교할 수 있기 때문에 문헌에 설명된 전기 모터는 최소한의 노력으로 구현될 수 있다.

### Ⅲ. 롤 성형 기계 분석 및 수행 결과

#### 3.1 롤 성형 가공 타입

##### a. 타입 1 : 코일 연속 가공 후 절단 (Continuous from Coil with Post-Cutting)

- 표준 프로세스 :

코일 릴 ==> 롤 성형 기계 ==> 컷-오프

- 잠재적 추가 프로세스 (옵션) :

특수코일 핸들링 및 축적

크로스 프로파일 용접

Flex FEB 처리

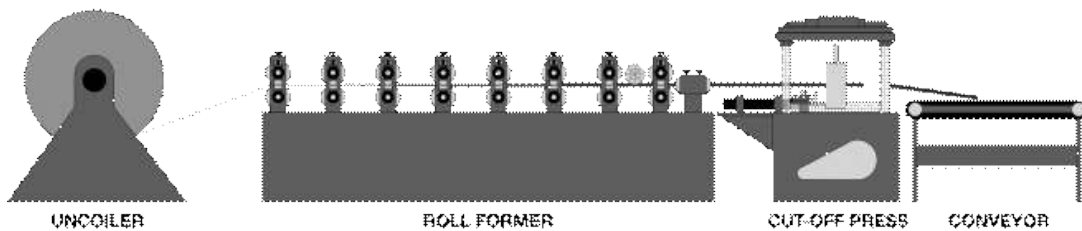


Fig. 15 : Coil with Post-Cutting

##### b. 타입 2 : 코일에서 펀칭 / 사전 노칭 가공 후 절단 (Continuous from Coil with Pre-Punching / Pre-Notching and Post-Cutting)

- 표준 프로세스 :

코일 릴 ==> 펀칭 / 사전 노칭 ==> 롤 성형 기계 ==> 컷-오프

- 잠재적 추가 프로세스 (옵션) :

특수코일 핸들링 및 축적



## 크로스 프로파일 용접

### Flex FEB 처리

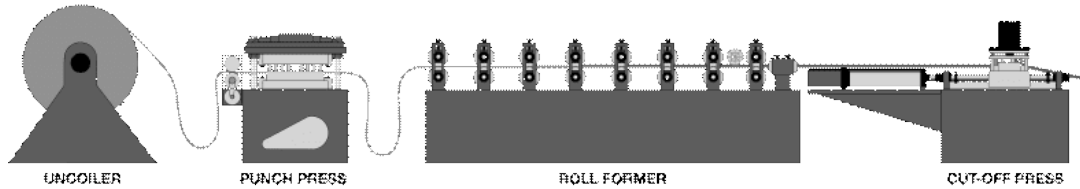


Fig. 16 : Coil with Pre-Punching / Pre-Notching and Post-Cutting

### c. 타입 3 : 사전 컷 블랭크 (Pre-Cut Blanks)

#### - 표준 프로세스 :

사전 컷 삽입 ==> 롤 성형 기계 ==> 부품 핸들링

#### - 잠재적 추가 프로세스 (옵션) :

특수 블랭크 핸들링

전문 부품 핸들링

Flex FEB 처리

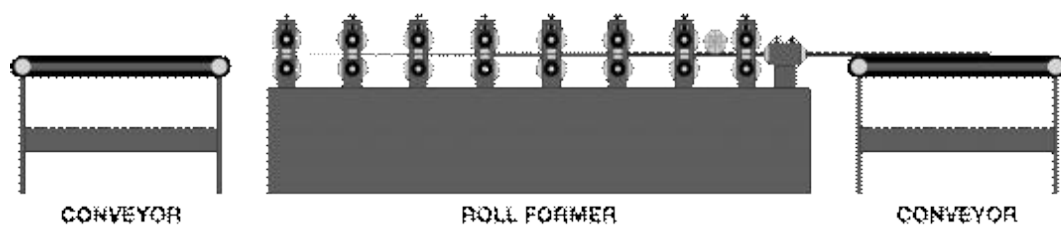


Fig. 17 : Pre-Cut Blanks

### d. 타입 4 : 코일에서 펀칭 / 사전 노칭/ 절단 가공 후 롤 성형 (Continuous from Coil with Pre-Punching /Pre-Notching/Pre-Cutting and Roll Forming)

- 표준 프로세스 :

코일 릴 ==> 펀칭 / 사전 노칭 / 컷-오프 ==> 롤 성형 기계

- 잠재적 추가 프로세스 (옵션) :

특수 블랭크 핸들링

전문 부품 핸들링

Flex FEB 처리

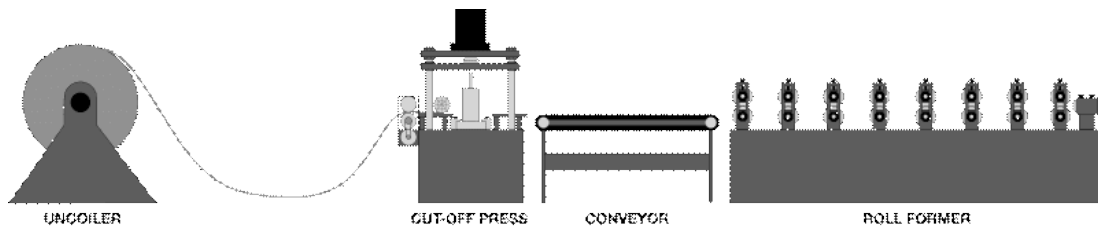


Fig. 18 : Pre- Punching and Cutting

## 3.2 롤 성형 기계 분석

### 3.2.1 롤 성형 기계 작동 원리

- a. 이것은 일련의 롤의 도움으로 금속을 재구성하는 기계이다. 금속 시트가 첫 번째 롤을 통과한 다음 형태에 맞추어 필요에 따라 여러 롤의 롤을 통과할 수 있다. 각 롤 종료 후 얻을 수 있는 롤 필요 형상에 따라 형상을 천천히 변화시킨다. 아래 그림과 같이 롤 성형 기계는 4개의 롤 세트를 통과하는 기계로 초기에 롤 성형 기계 제작 시 "V"형 프로파일 형상을 성형하였으나 4개의 롤 세트를 "U"형 프로파일을 성형하기 위해 업그레이드한 기계이다.

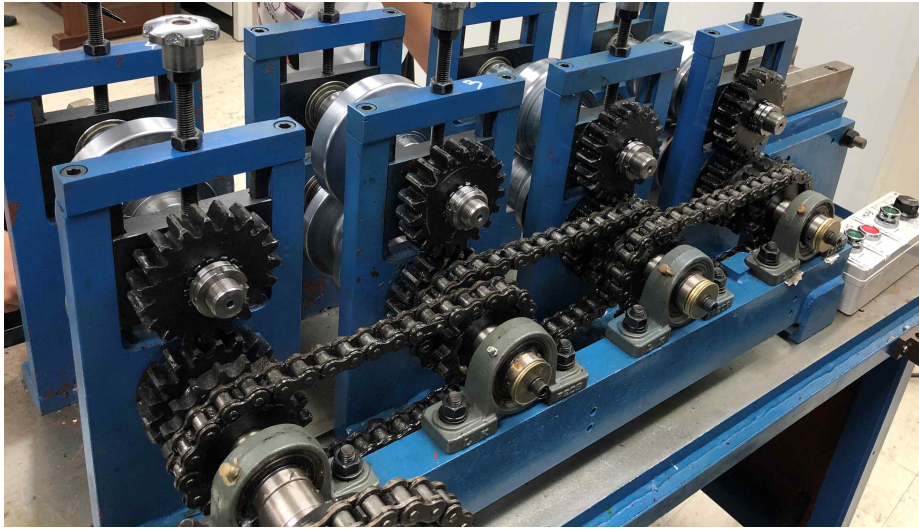


Fig. 19 : Roll Forming Machine

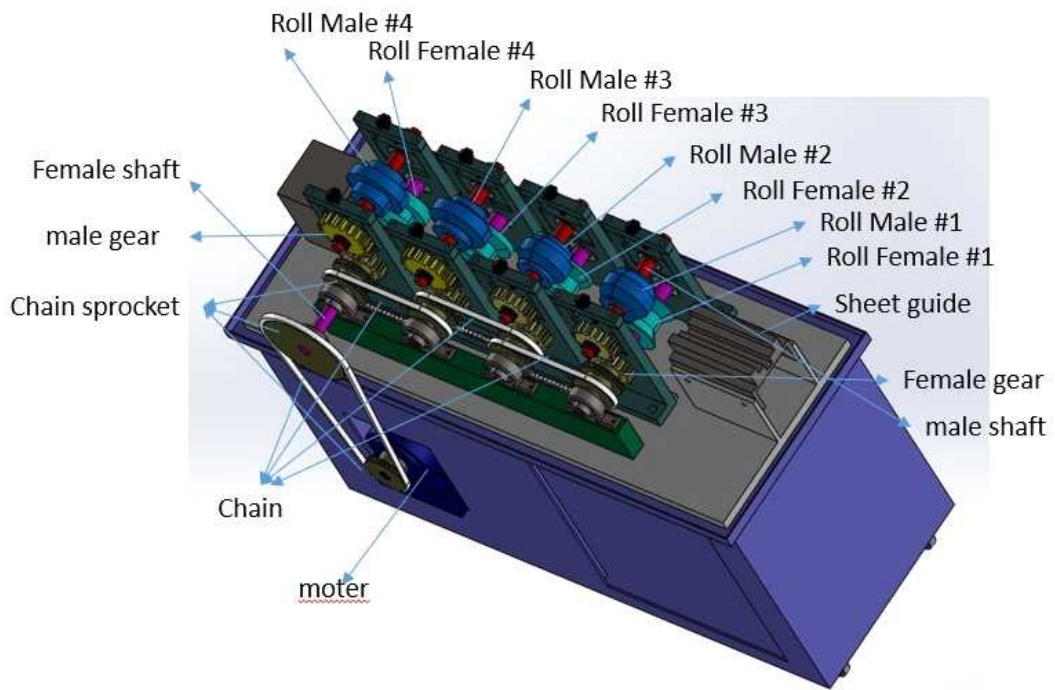


Fig. 20 : Roll Forming Machine Parts Lists

- b. 한 개의 모터 구동으로 체인과 체인스프로켓을 통해 Female축(4)에 동력을 전달하고 이는 체인 스프로켓에 연결된 3개의 체인을 이용 Female축(1,2,3)를 회전시킨다. 이는 Female 기어(잇수:19)와 같은 잇수의 Male 기어를 통해 Male축(1,2,3,4)를 반대 방향으로 구동한다.
- c. 시트 가이드 크기의 1.5T 알루미늄 시트를 배치하면 회전하는 롤#1 세트를 통해 진행하면 4개의 롤에 따라 점진적 형태의 'U' 형 Roll Flower를 형상화 된다.
- d. 점진적 롤 성형의 형상 구현 조건을 충분히 주기 위해 모터의 스피드를 조절 가능하게 하고 롤 세트의 회전 방향을 반시계방향(전진)과 시계방향(후진)으로 모터의 회전 방향이 전환 가능하다. 아래의 Fig. 22에서 모터 스피드에 따른 롤 성형시간을 나타낸다.

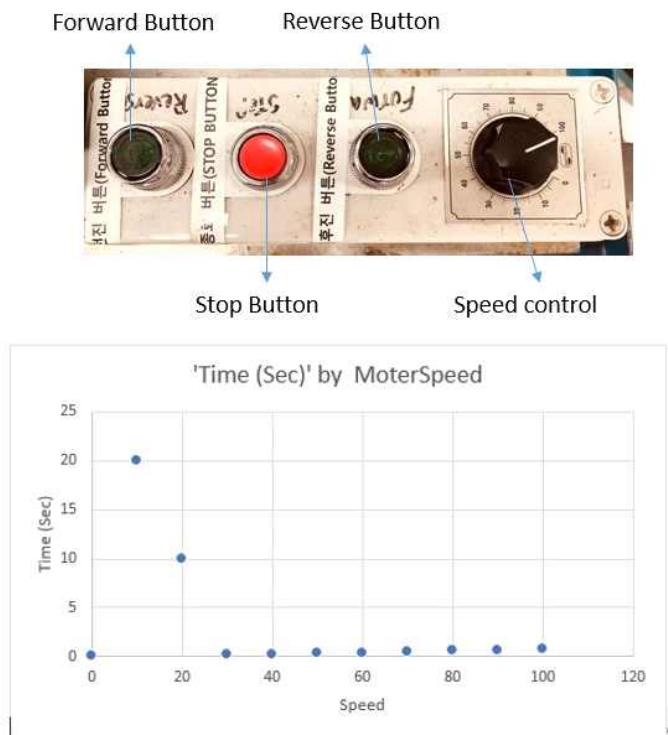


Fig. 21 : Roll Forming Motor speed control

### 3.2.2 롤 성형 기계 사용 전 조정

- a. 롤 성형 기계를 최대한으로 수평을 유지하게 평편한 바닥에 설치하고 하단의 바퀴를 조절하여 기계를 수평에 맞게 조절한다.
- b. 각 롤 세트 정면 일렬 배치 및 롤 세트 간격이 일정한지 확인하고 Female 롤 세트 위치가 수평으로 배치되었는지 확인한다. 마지막 롤 세트의 Male 롤을 제거하고 레이저 조사기를 전면에 배치하여 수직 수평을 마지막 Female 롤에 맞추고 레이저 광선이 초기 롤 세트에 통과하여 일직선의 수평을 확인하였다.

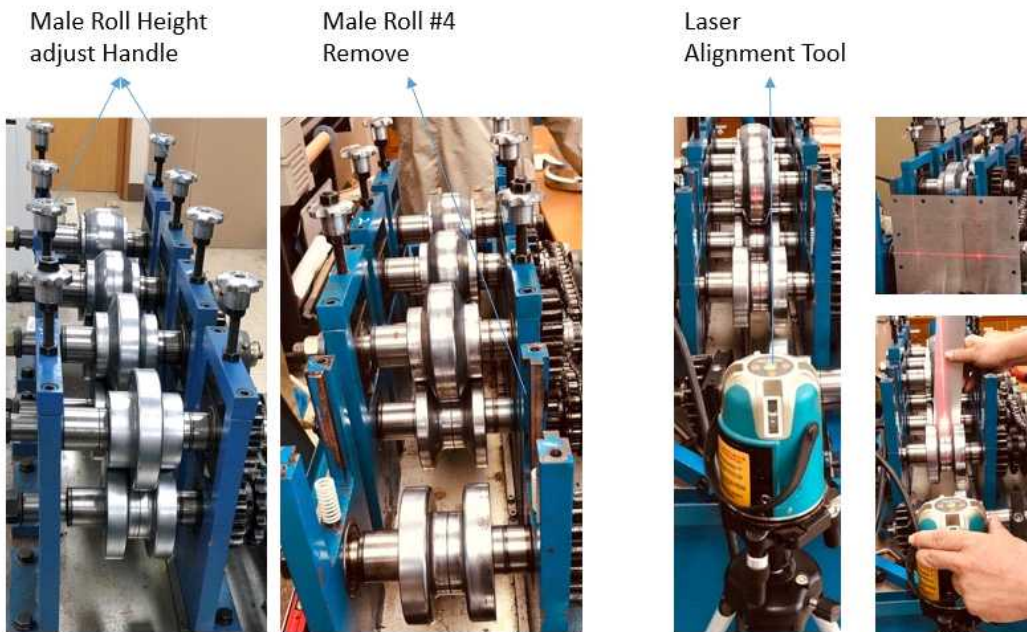


Fig. 22 : Roll Forming Laser Alignment

- c. 가공 알루미늄 시트의 두께를 설정하여 롤 세트 간의 GAP을 Male 롤 높이 조정 핸들로 조정한다. 시험에 사용된 기계는 시트 1.5T로 측정용 시트를 롤 세트의 상하 및 좌우에 삽입하면서 높이 조정 핸들을 조정하였다.

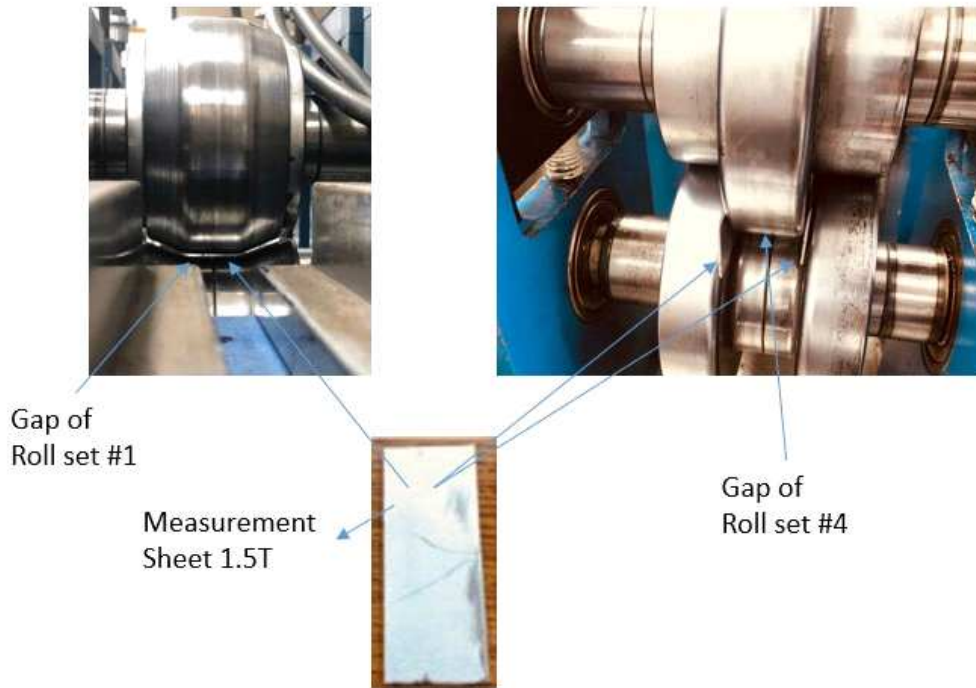


Fig. 23 : Roll Forming sheet Alignment

### 3.2.3 롤 성형 시 에러

- a. 롤 성형 기계 롤 세트 Gap 조정 후 각 롤 세트에 동력을 전달하는 기어의 결합상태를 점검해보았다. 롤 세트#1 & #2는 기어 피치 상태가 잘 결합 되어 있는 반면에 롤 세트 #3 & #4는 기어 외형치수에 겨우 닿는 형태로 되었다. 이로 인해 롤 Male 축#1 & #2에는 동력이 전달되지만 롤 Male 축#3 & #4에는 동력전달이 되지 않아 모터 구동 시 회전하지 않았다.

이는 Male 롤 #3 & #4의 외경 치수가 136mm로 Male 롤 #1 & #2의 외경 치수 116mm와 비교 시 20mm 차이가 발생하여 롤 Male 축 센터가 10mm 벗어나는 데 요인이 있다. 그림 Fig. 24에서 보는 것과 같이 기어 상태가 다르게 배치되었다.

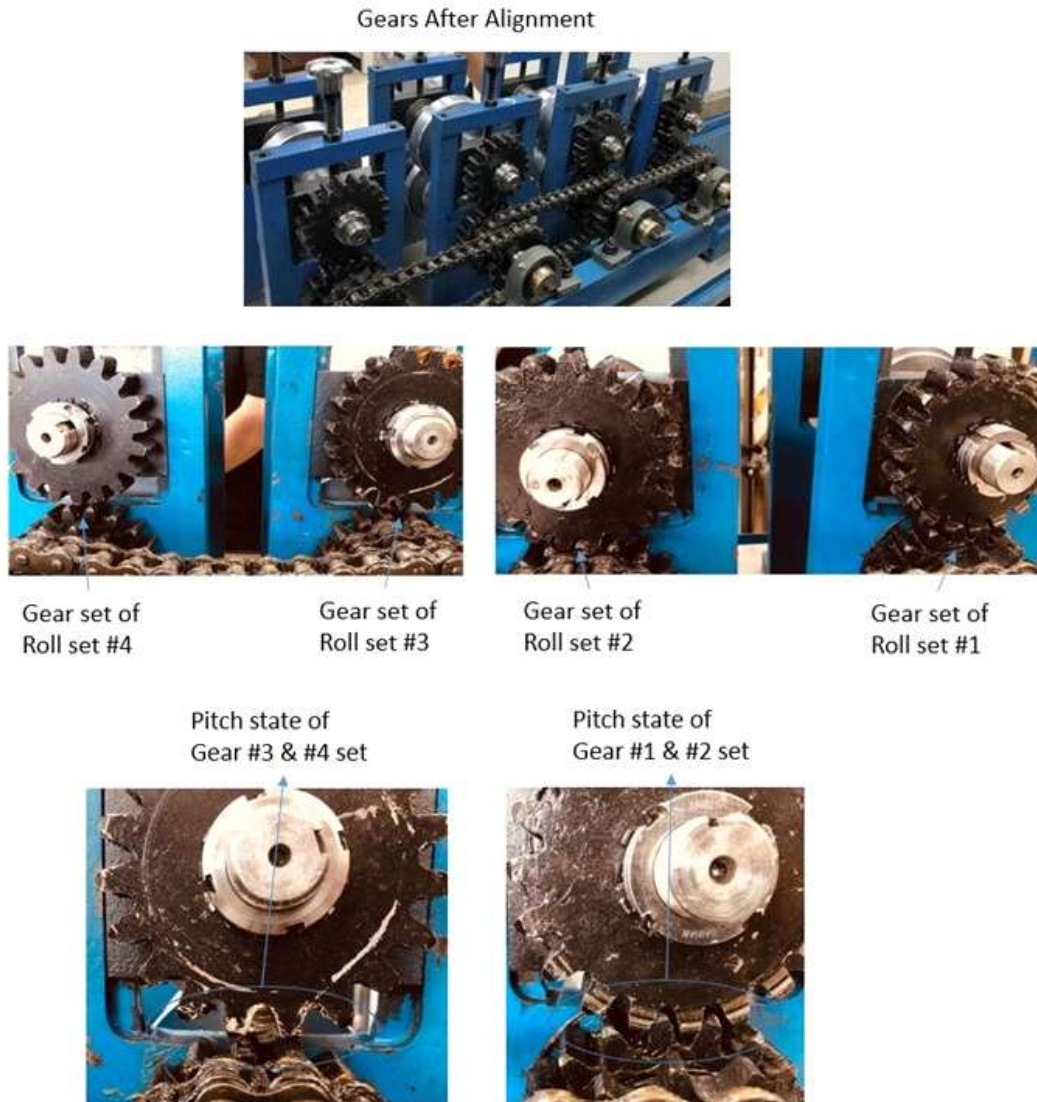


Fig. 24 : Roll Forming Gear Statement

b. 롤 성형 기계의 정렬 상태로 "U"형 프로파일 모형을 성형하는 동안 몇 가지 오류가 발생하였다. 이는 롤 Male 축#3 & #4가 동력을 받지 못해 알루미늄 시트가 이곳을 통과 시 슬립(Slip) 현상이 발생하여 시트 성형의 앞 부분과 뒤 부분의 성형 치수 차이가 발생하였다. 그림 Fig. 25는 시트 성형 후의 치수 차이를 보여준다.

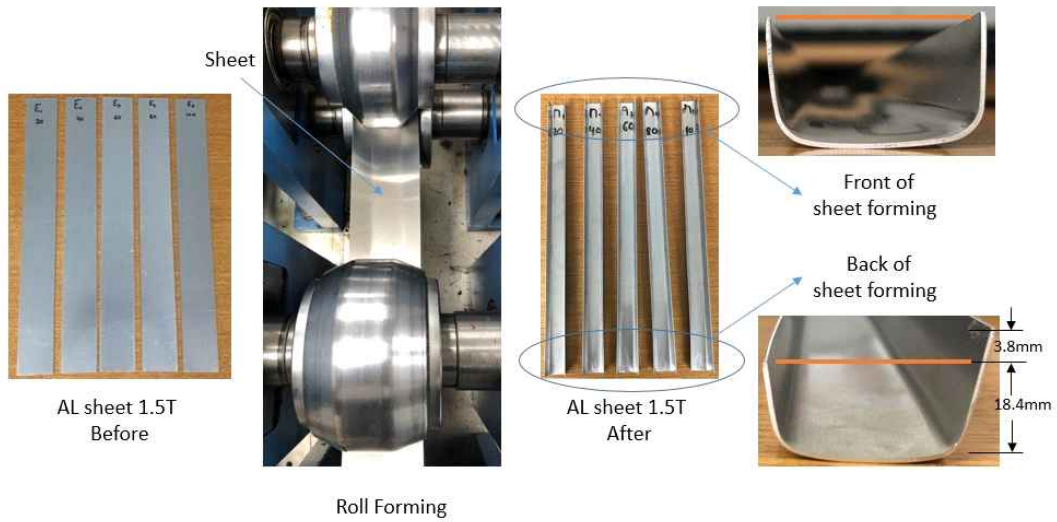


Fig. 25 : Sheet result after Roll Forming

- c. 상기 슬립 현상으로 시트의 전후 치수 변화결과는 롤 세트 #3 & #4 기어 외형치수가 겨우 닮는 형태로 기인 한 것이다. 롤 성형 기계 롤 세트 Gap을 무시하여 롤 세트 #3 & #4의 기어를 모터 구동 시 회전할 수 있게 조정하여 성형을 실험해 봤다. (Fig. 26중 상기 그림)



Fig. 26 : Sheet result after GAP adjust



롤 세트 #3 & #4 Gap 조정 후 성형 시 Front 부분의 알루미늄 두께의 소성 변화가 나타났으며 성형이 진행함에 따라 "U" 프로파일은 정렬되지 않음으로 인해 적절한 평행 형상을 갖지 않았다.

Fig. 26중 하기 그림은 롤 세트 #1 Gap 조정이 알루미늄 시트보다 작았을 때 시트가 전진하지 못하고 안으로 감아지는 현상이 발생하는 오류이다.

### 3.3 롤 성형 기계 재설계

오류를 발생하는 실험기기의 실물인 상시 롤 성형 기계를 실측하여 이를 3D 프로그램을 사용해서 기구설계를 하고 문제점을 검토 및 발취함으로 문제 해결을 하려고 한다.

#### 3.3.1 롤 성형 기계 실측



Fig. 27 : Male Roll measurement



Distance 27mm  
of Male Roll#4



Distance 30mm of  
Female Roll#4

Fig. 28 : Roll set #4 measurement

a. 롤 성형 기계 중요부 제원 :

전체 : 1340mm (W) x 570mm (L) x 1130mm (H)

Roll 세트 간 거리 : 220mm

Roll 축 내측 거리 : 170mm

Female 축 높이 (기준 base) : 150mm

Male 축 최소 높이 (기준 base) : 245mm

Male 축 이동 가능 거리 : 100mm

Roll male & female 폭 : 80mm

Roll male #1 & #2 외경 :  $\varnothing 116$  /  $\varnothing 85$

Roll male #3 & #4 외경 :  $\varnothing 136$  /  $\varnothing 85$

Roll female 외경 :  $\varnothing 126$  /  $\varnothing 76$

모터와 Roll female #4 축간거리 : 500mm

구동 기어 : 외경  $\varnothing 106$ mm / 잇수 19개

Sheet Guide 내측 (시트 폭) : 60mm

3.3.2 롤 성형 기계 3D 설계

상기 측정 치수를 기준으로 하여 1 : 1로 3D 설계를 하였다.

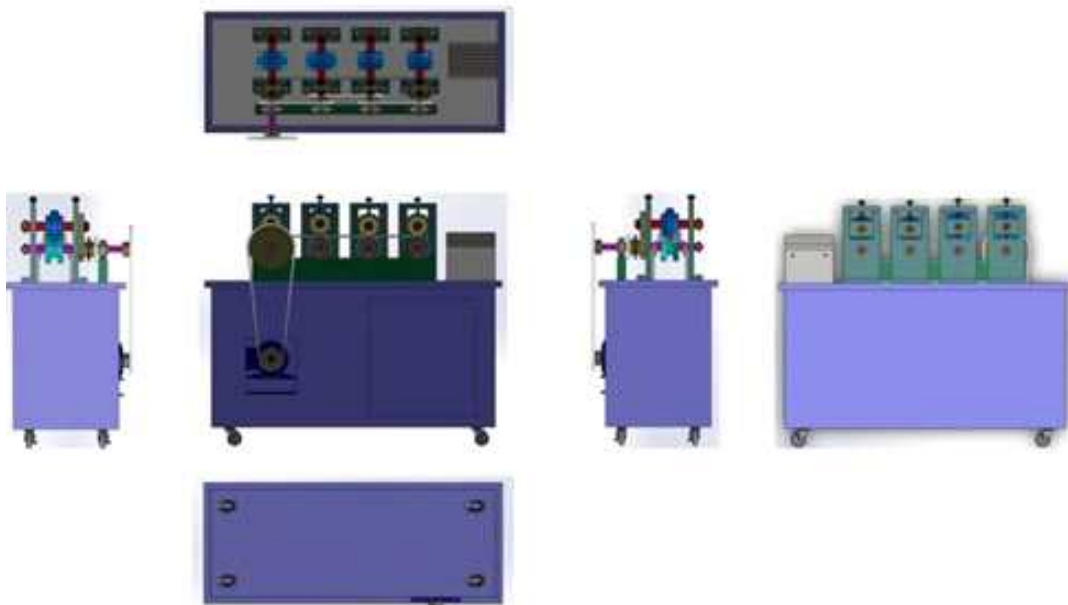
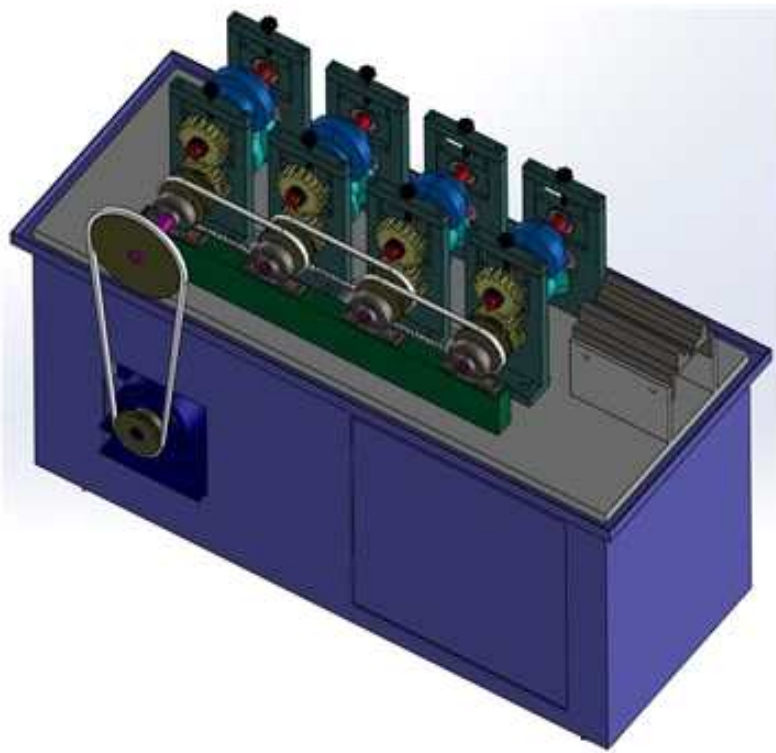


Fig. 29 : 3D Design of Roll Forming Machine

## IV. 설계 결과 및 분석

### 4.1 설계 후 에러 부분 분석

a. 실측 후 롤 세트 부분의 Gap 1.5mm를 주어 설계의 결과

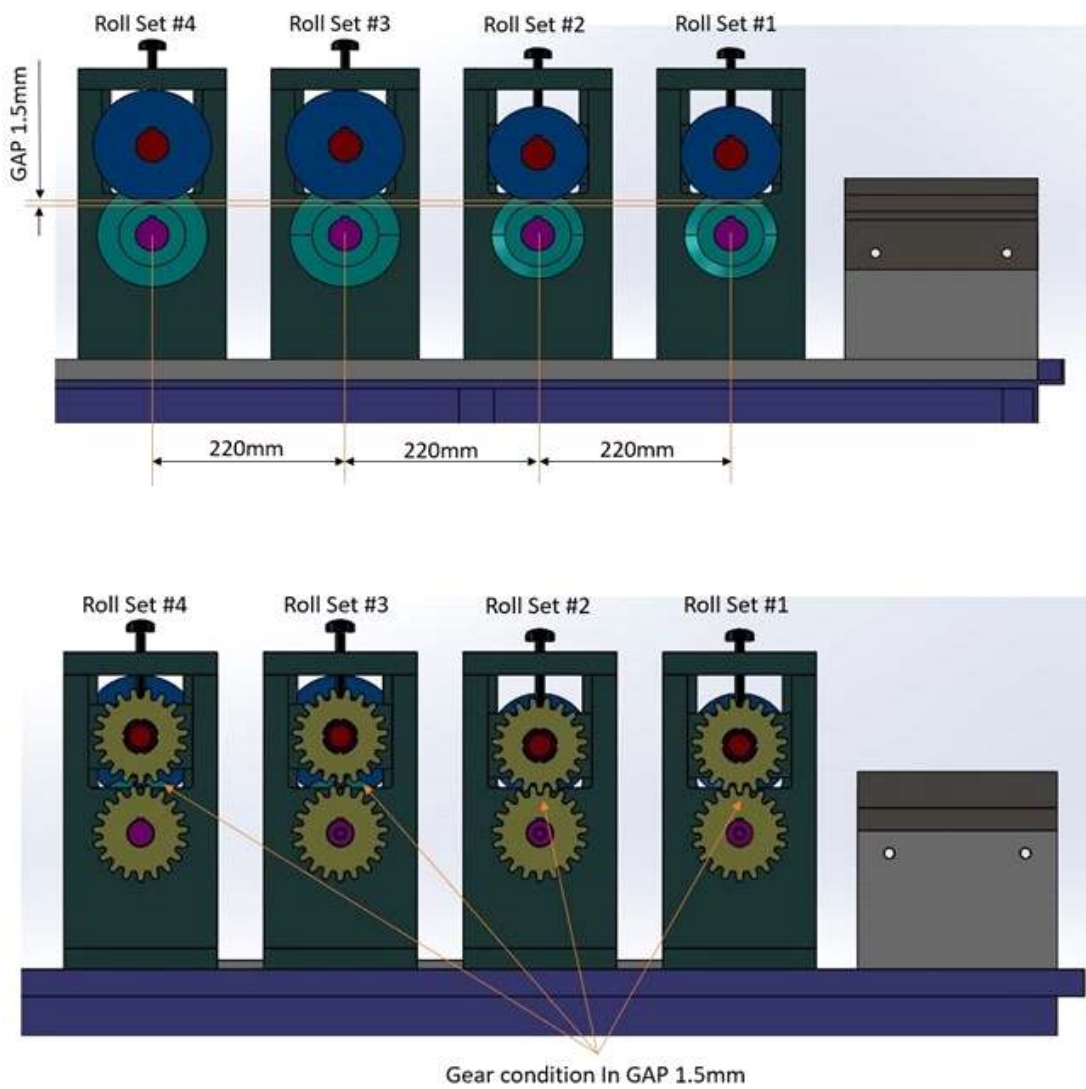


Fig. 30 : 3D Design of Roll set section

위 Fig. 30과 같이 실물과 설계의 롤 세트 #3 & #4부분의 기어 결합이 똑같이 벗어 났음을 보여준다. 이는 Male 롤 #3 & #4의 외경 치수가 Male 롤 #1 & #2의 외경 치수보다 직경 20mm 차이를 있어 Male 롤 축의 위치가 다르기 때문이다.

b. 설계자의 의도 파악

왜 "V"형 프로파일 형상을 성형 기계를 "U"형 프로파일을 성형하기 위해 업그레이드 하면서 Male 롤 #3 & #4와 Male 롤 #1 & #2의 외경 치수가 다르게 설계되었는지 고찰해보자.

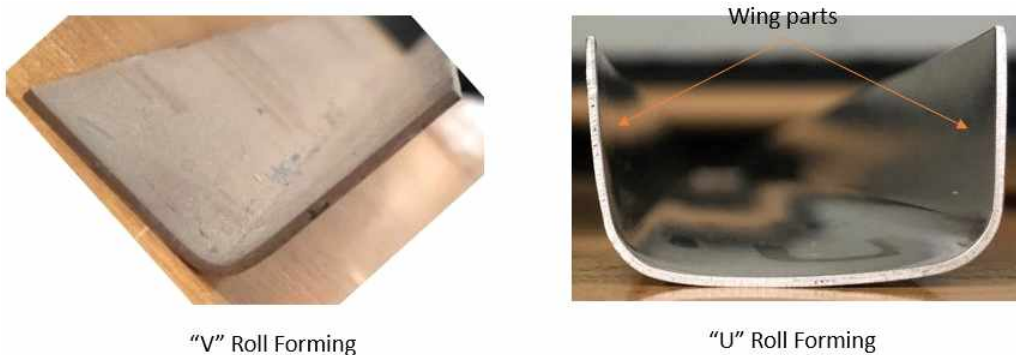


Fig. 31 : Difference shape of "V" & "U"

Fig. 31의 형상에서 "V"형과 "U"형 프로파일의 차이는 "U"형에는 날개 부분의 위로 올라가는 형상을 성형하여야 한다. 이를 해결하기 위해 롤 세트 #4의 측면에 날개 부분을 위한 최소 25mm의 일자 지지가 필요하기 때문이다. 실물 롤 성형 기계 업그레이드 과정에서 롤 Male #4의 외경을 크게 함으로 "U"형 날개 부분 문제를 해결했다고 본다. 이는 설계자의 오류로 구동 관계를 파악 못 한 것으로 개선이 필요하다.

4.2 설계 분석 후 개선 방안 고찰

개선 방법으로 다음과 같이 2가지로 볼 수 있다.

a. 롤 Male #3 & #4 기어 크기 확대

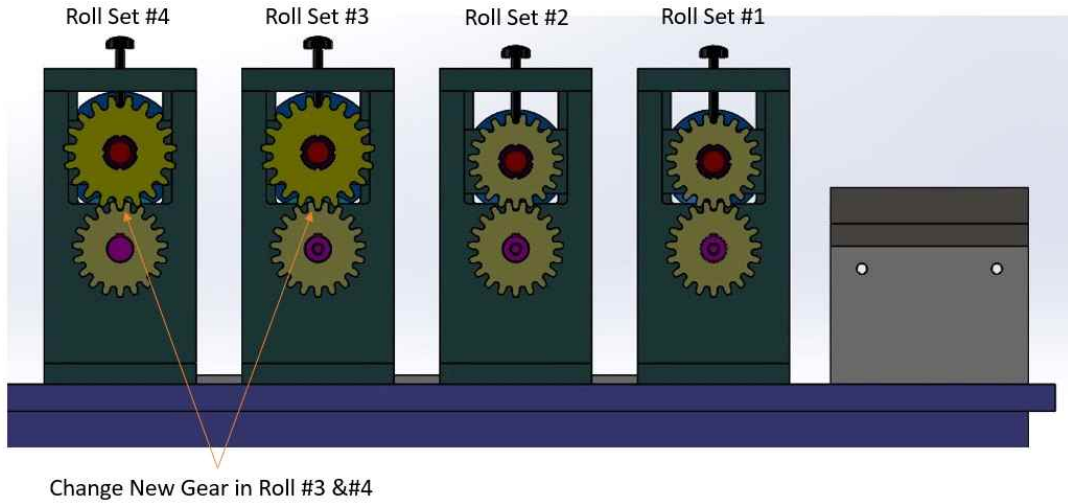


Fig. 32 : Gear change for Roll Male Set

Fig. 32와 같이 롤 Male의 기어를 20mm의 거리 차이를 해결하기 위해 기어 외경  $\varnothing 106\text{mm}$ /잇수 19개를 외경  $\varnothing 126\text{mm}$ /잇수 19개로 재제작하여 교체하는 방법이다.

b. 롤 Male #3 & #4 크기 축소

Fig. 33와 같이 롤 Male #3 & #4에서 측면에 날개 부분을 위한 최소 25mm의 일자 필요 지지 치수와 롤 Male #1 & #2와 같은 외형 치수를 맞추기 위해 재가공이 필수적이다.

그러나 원형의 가공물을 재가공하기에는 제품의 동심원을 맞추기가 너무 까다로워 재가공보다는 신규로 제작하는 편이다. 신규로 제작을 하려면 롤 Female #3 & #4을 같이 제작하여야 공차에 대한 우려를 지울 수 있다.

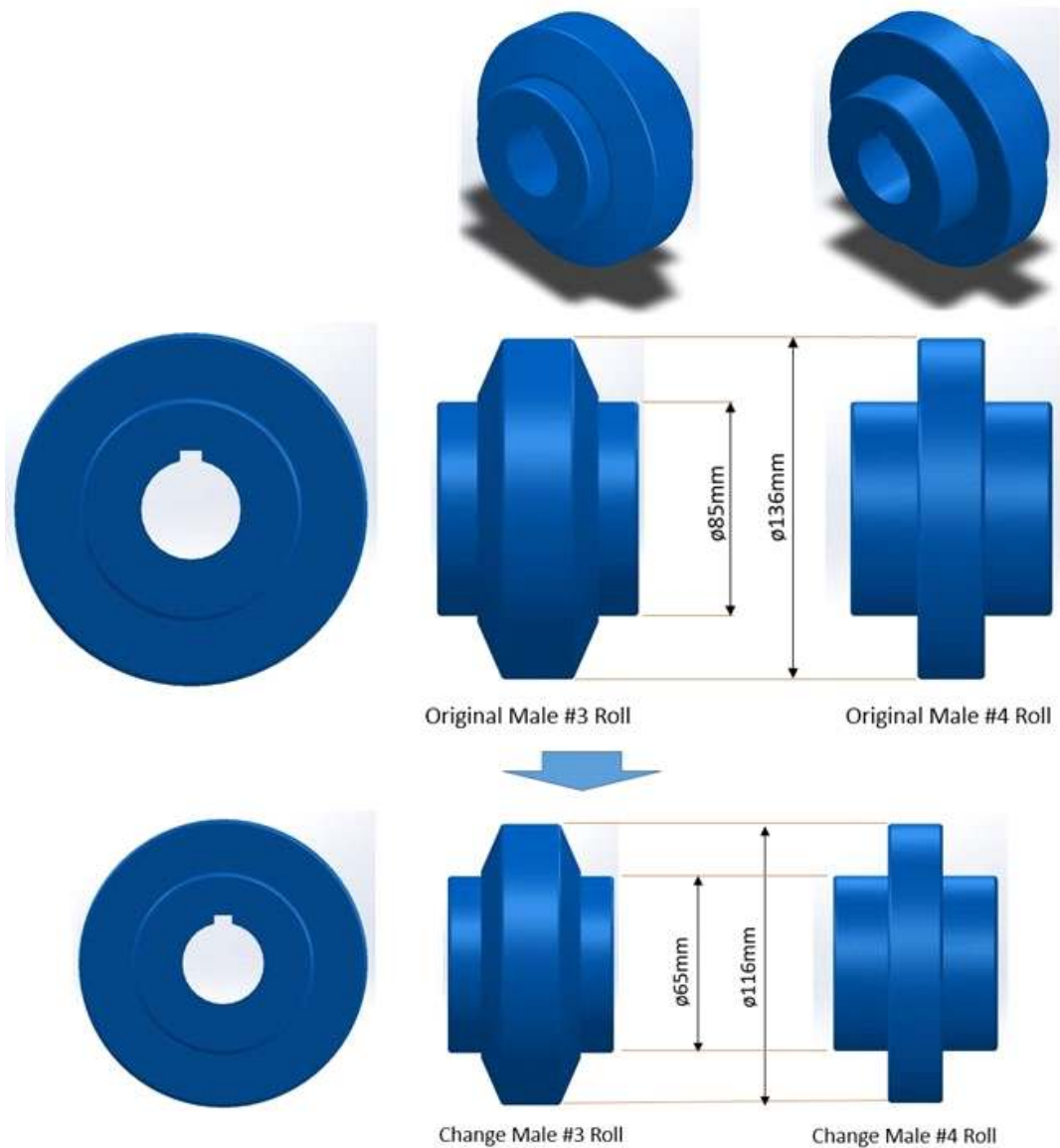


Fig. 33 : Roll change for Roll Male #3 & #4

c. 추가 개선 방안

롤 성형 후 기계의 끝부분 Female 롤을 통해 알루미늄 시트가 나오는 위치에 엔드 서포트를 추가로 설치한다. 이는 롤 성형물의 처짐과 스프링백 현상을 방지하는 효과를 나타나게 될 것이다.

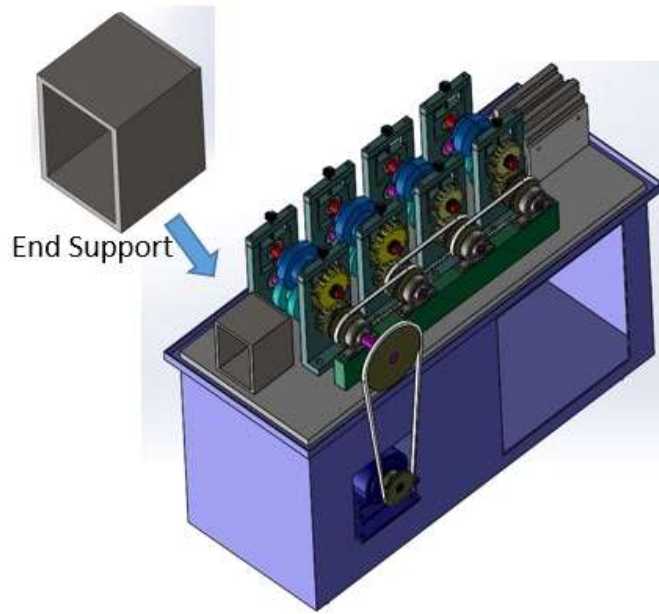


Fig. 34 : Install of end support

#### 4.3 유한요소분석 : 롤 세트부품의 컴퓨터 분석

롤 부품은 3D Cad 소프트웨어로 생성되고 조립된다. 모두 함께 롤 Male과 femail 부품을 결합하고 그 후, 회전력을 가하여 롤 성형부품을 분석하였다. 이 연구는 롤 Male과 femail 부품을 결합 부분을 형성한 다음의 컴퓨터 분석을 포함합니다. 부품 재료는 정확히 하기 위해, 강한 재료인 스테인레스 스틸 AISI 304로 하였다. 전반적으로, 롤러의 안정성을 확인하기 위해 최소 1뉴턴에서 10000뉴턴 힘의 최대 힘의 사용을 적용되었다. 롤 세트#1~#4의 결합 된 부분을 모두 컴퓨터 분석을 하였다.

컴퓨터 분석은 다음 단계로 수행되었습니다.

- a. 롤 세트 3D 모델링 설계
- b. 솔리드워크 3D 프로그램에서 시뮬레이션 클릭 – New Study 클릭



제 1 단계 : 재료 조정 -> 스테인레스 스틸

제 2 단계 : 고정 지점 결정

제 3 단계 : 외부 힘 적용

제 4 단계 : Mesh 연구

제 5 단계 : 결과 평가

\* 롤 세트 3D 모델링 설계

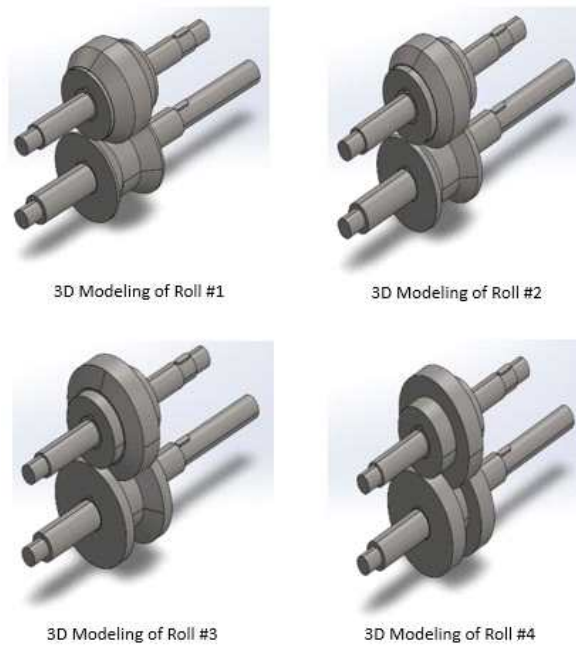


Fig. 35 : 3D modeling in cad-software for rollers

\* 모델 정보 (Model Information)

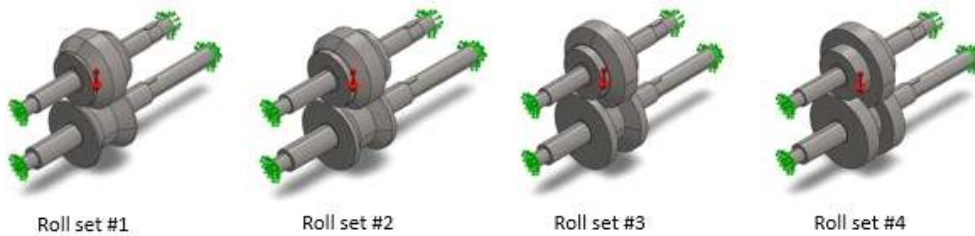


Fig. 36 : Gravitational force

Model Name	Treated As	Volumetric Properties
Roll Female # 1	Solid Body	Mass:3.0953 kg Volume:0.000386913 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:30.3339 N
Roll Male # 1	Solid Body	Mass:4.75047 kg Volume:0.000593808 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:46.5546 N
Roll Female # 2	Solid Body	Mass:3.25816 kg Volume:0.00040727 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:31.93 N
Roll Male # 2	Solid Body	Mass:4.57932 kg Volume:0.000572416 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:44.8774 N
Roll Female # 3	Solid Body	Mass:4.57545 kg Volume:0.000571931 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:44.8394 N
Roll Male # 3	Solid Body	Mass:5.52201 kg Volume:0.000690251 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:54.1157 N
Roll Female # 4	Solid Body	Mass:5.33111 kg Volume:0.000666389 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:52.2449 N
Roll Male # 4	Solid Body	Mass:4.75255 kg Volume:0.000594069 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:46.575 N
Female Roll Shaft	Solid Body	Mass:2.65432 kg Volume:0.00033179 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:26.0124 N
Male Roll Shaft	Solid Body	Mass:1.91457 kg Volume:0.000239322 m <sup>3</sup> Density:8,000 kg/m <sup>3</sup> Weight:18.7628 N

Table 1. : Model Information of solid body

\* 재료특성





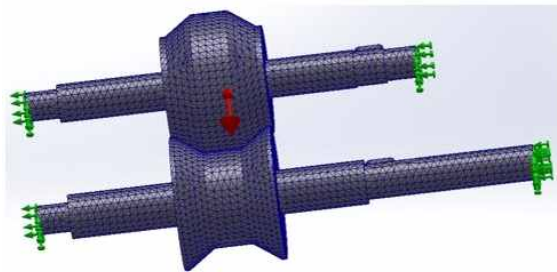
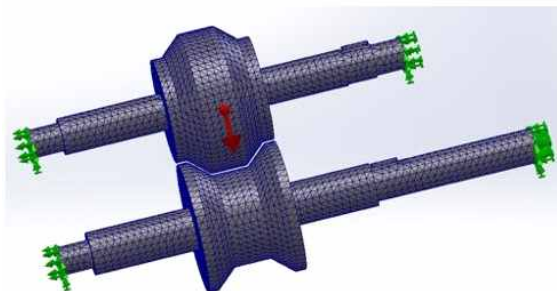
Model Reference	Properties
 <p>Roll #1</p>  <p>Roll #2</p>  <p>Roll #3</p>  <p>Roll #4</p>	<p>Name : AISI 304            Model type : Linear Elastic Isotropic            Default Failure : Unknown            criterion :            Yield strength : 2.06807e+08 N/m<sup>2</sup>            Tensile strength : 5.17017e+08 N/m<sup>2</sup>            Elastic modulus : 1.9e+11 N/m<sup>2</sup>            Poisson's ratio : 0.29            Mass density : 8,000 kg/m<sup>3</sup>            Shear modulus : 7.5e+10 N/m<sup>2</sup>            Thermal expansion : 1.8e-05 /Kelvin            coefficient :</p>

Table 2. : Material Properties of AISI 304

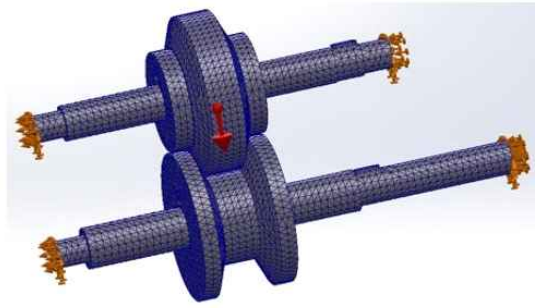
\* 메쉬 품질 (Mesh Quality)



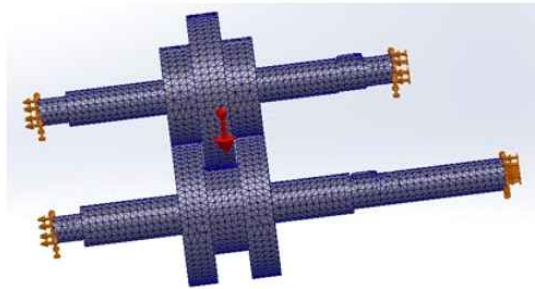
Mesh Quality of Roll #1



Mesh Quality of Roll #2



Mesh Quality of Roll #3



Mesh Quality of Roll #4

Fig. 37 : Mesh Quality of four rollers

\* 결과 평가

- 스트레스 결과 (Stress Result)

Results Name	Type	Min	Max
Roll #1 Stress	VON: von Mises Stress	2.026e+02N/m <sup>2</sup> Node: 49572	1.074e+06N/m <sup>2</sup> Node: 64956
Roll #2 Stress	VON: von Mises Stress	2.053e+02N/m <sup>2</sup> Node: 49530	1.201e+06N/m <sup>2</sup> Node: 83005
Roll #3 Stress	VON: von Mises Stress	9.449e+01N/m <sup>2</sup> Node: 26252	1.351e+06N/m <sup>2</sup> Node: 84244
Roll #4 Stress	VON: von Mises Stress	9.393e+01N/m <sup>2</sup> Node: 56342	1.624e+06N/m <sup>2</sup> Node: 85478

Table 3. : Stress Result

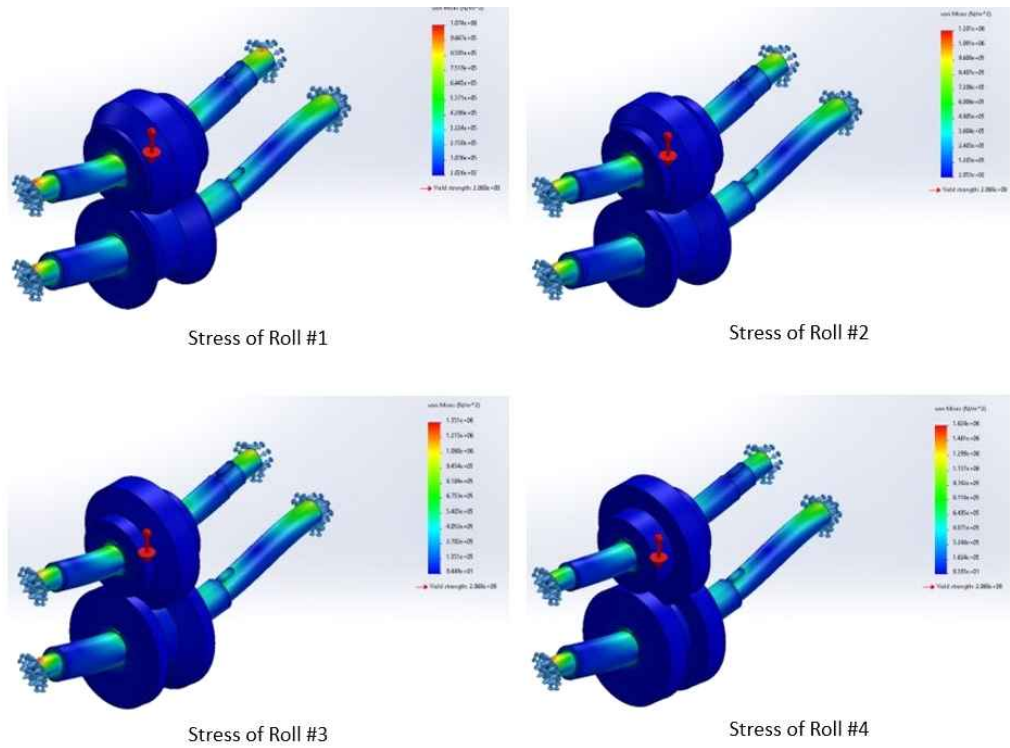


Fig. 38 : Stress result of four rollers

- 변위 결과 (Displacement Result)

Results Name	Type	Min	Max
Roll #1 Displacement	URES : Resultant Displacement	0.000e+00mm Node: 53066	1.332e-03mm Node: 81543
Roll #2 Displacement	URES : Resultant Displacement	0.000e+00mm Node: 53176	1.375e-03mm Node: 84323
Roll #3 Displacement	URES : Resultant Displacement	0.000e+00mm Node: 57874	1.719e-03mm Node: 169
Roll #4 Displacement	URES : Resultant Displacement	0.000e+00mm Node: 58982	1.915e-03mm Node: 271

Table 4. : Displacement result

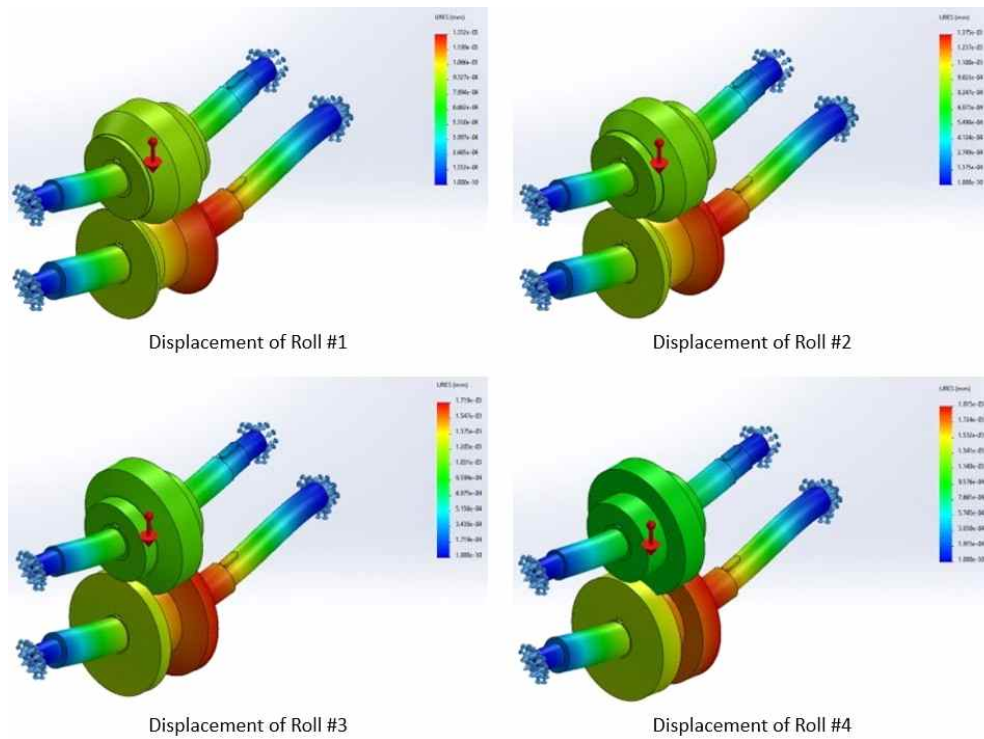


Fig. 39 : Displacement results of four rollers

- 스트레인 결과 (Strain Result)

Results Name	Type	Min	Max
Roll #1 Strain	ESTRN : Equivalent Strain	2.069e-09 Element: 32575	4.408e-06 Element: 40892
Roll #2 Strain	ESTRN : Equivalent Strain	1.383e-09 Element: 21401	4.492e-06 Element: 53936
Roll #3 Strain	ESTRN : Equivalent Strain	6.095e-10 Element: 36849	5.420e-06 Element: 49956
Roll #4 Strain	ESTRN : Equivalent Strain	4.076e-10 Element: 35518	6.094e-06 Element: 50793

Table 5. : Strain result

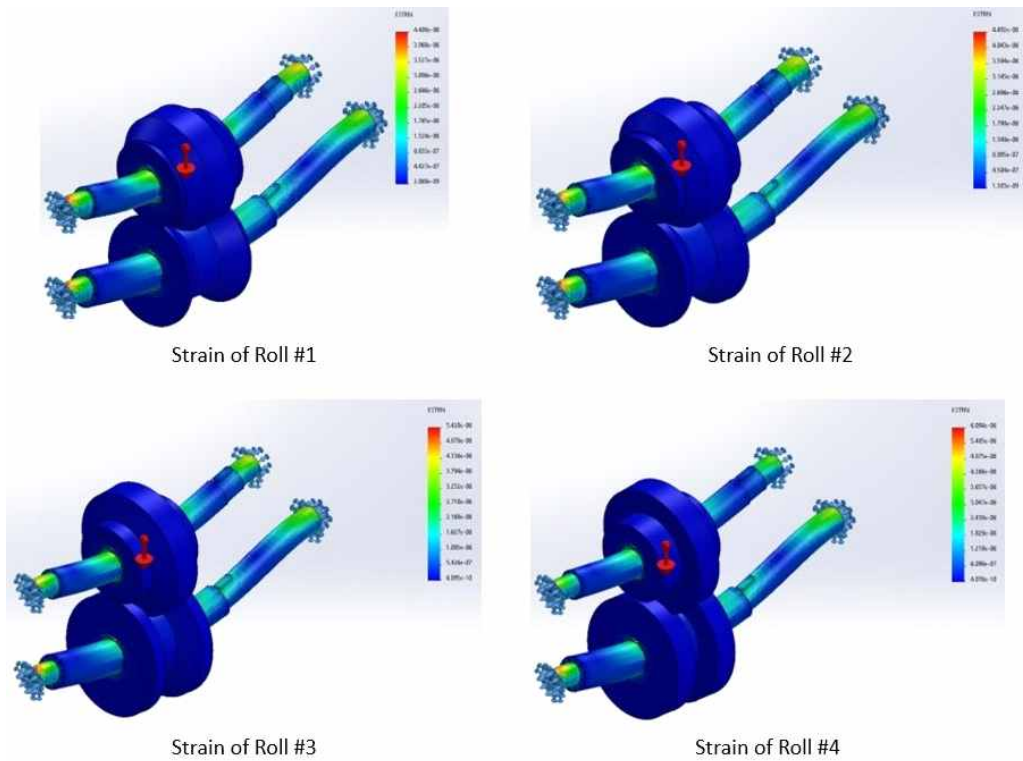


Fig. 40 : Strain result of four rollers

- 안전 계수 결과 (Safety Factor Result)

Results Name	Type	Min	Max
Roll #1 Safety Factor	Automatic	2.072e+02 Node: 11812	8.843e+05 Node: 8488
Roll #2 Safety Factor	Automatic	1.722e+02 Node: 83005	1.007e+06 Node: 49530
Roll #3 Safety Factor	Automatic	1.531e+02 Node: 84244	2.189e+06 Node: 26252
Roll #4 Safety Factor	Automatic	1.561e+02 Node: 14707	1.405e+06 Node: 8565S

Table 6. : Safety Factor result

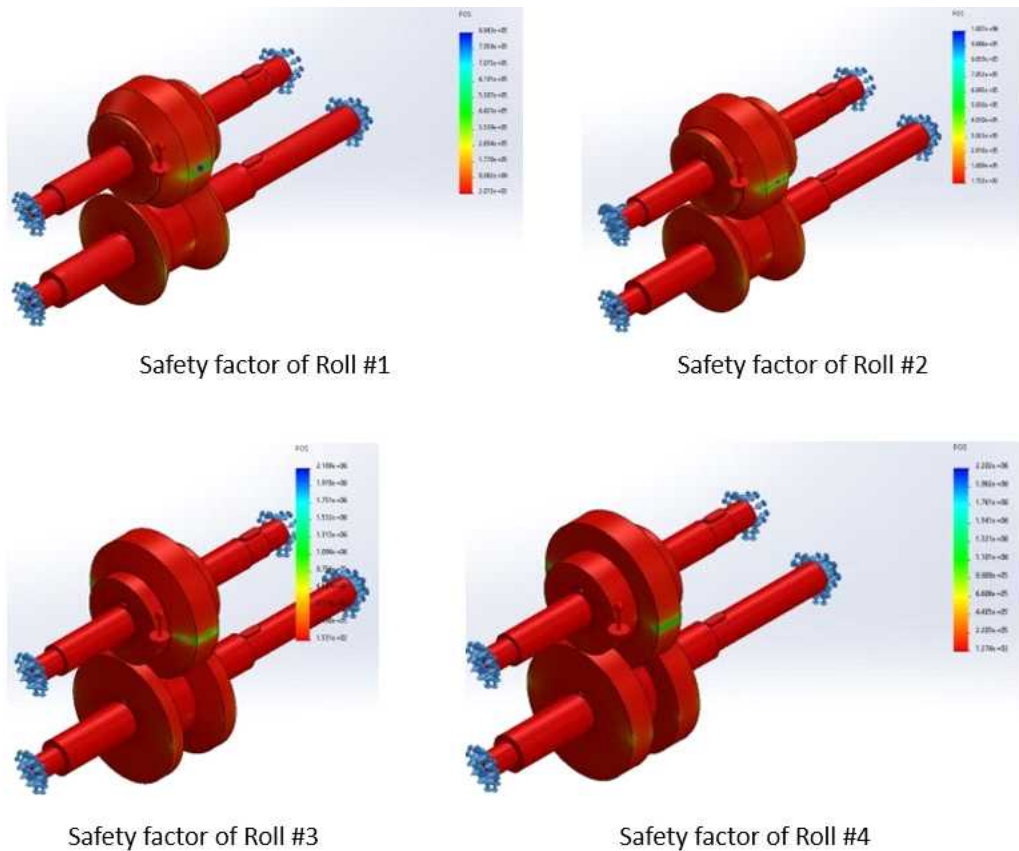


Fig. 41 : Safety Factor result of four rollers

- 상기 도면과 같이 가공부품의 컴퓨터 분석.

가공 부품은 설계 및 조립되며, Male & Female 부품은 축에 결합 및 분석되었다. 롤 성형 부품에 대한 연구는 최대 힘의 회전력을 가함으로써 안정성의 문제점을 가지고 있다. 컴퓨터 분석은 적용된 힘의 관점에서 안전 요인을 고정하는 것을 제안한다. 재료가 강철보다 강한 AISI 304을 사용한 결과, 중력의 최대력을 가하여 롤러의 안정성이 불안정하였음을 확인하고 조사되었다.

3D 모델링 및 시뮬레이션 검사 프로세스의 컴퓨터 분석은 10분이 걸리며 (사람마다 분석 기술은 다름) 다른 분석을 위해 프로세스를 반복할 수 있다. 이는 시간이 많이 걸리고 에너지 절약 프로세스이다.



## V. 결론

결론적으로, 롤 성형 기계를 재제조하기 위한 원인을 분석하였다. 이를 위해, 기존의 롤 성형 기계의 한계를 평가하였고 기계의 각 부분은 수치적으로나 실험적으로 연구되었다. 기계에 대한 실험 연구를 위해 롤러의 Male과 Female 부품, 정렬, 모터, 시트 가이드 및 기어 등을 부품별로 평가하였다. 또 초기 성형 기계 분석 시 레이저 조사기로서 Fig. 22와 같이 시트의 정확한 성형성을 위해 정렬 조정기로 사용하였다. 컴퓨터 분석을 위해, 롤 성형 기계는 수동으로 연구하였다. 그 후, 기계의 각 부분은 3D CAD 소프트웨어로 설계한 다음 설계된 모든 부품을 재료 테스트, mesh 및 응력 변형을 분석을 위해 조립했다. 그 결과, stainless steel이 가장 단단한 재료임을 알 수 있었다. 롤 성형 기계의 장기간 사용을 위해 stainless steel이 가장 적합하다. 컴퓨터 분석에서 일반 강철은 장시간 사용 후 녹이 낫기 때문에 일반 강철이 아닌 stainless steel을 사용하는 것이 좋다. 또 롤러는 알루미늄 (Al) 금속 시트를 형성하는 동안 순간적으로 성형 시트보다 강해야 하며, 롤 성형기의 롤러는 알루미늄보다 강한 재료이어야 한다. 마찬가지로, 그것은 컴퓨터에서 설계 부분을 통해 재료 분석에서 연구된 것처럼 응용 프로그램을 형성하는 다른 재료에도 적용된다. 롤 부품의 작은 요소를 연구하기 위해 롤 성형 기계의 각 부분을 mesh로 나눈 컴퓨터 해석을 했다. 금속 시트를 성형하는 동안 롤러는 각 부품마다 다른 힘을 갖습니다. 힘으로 롤러 사이에 압력이 발생한다. 그 압력은 mesh 연구에 의해 평가되고 안전 조치가 취해진다. 유사하게, 롤러 #1, #2, #3 및 #4번 부분에서 Male과 Female 부분 모두 연구되었다. 결국, 연구된 응력과 변형은 성형 과정에서 롤러의 적절한 정렬을 유지해야 한다고 제안했다. 모든 롤러를 적절하게 조정하면 후 금속 시트의 성형성이 일정하다. 컴퓨터 분석 전반에 걸쳐 각 롤러의 안전 계수를 평가하고 연구한 결과 안전하다고 판단된다. 금속 시트를 형성하는 동안 관찰된 스프링 백의 약간의 오류가 있었지만, 이 오류는 롤러 각도를 조정하면 후 약간 조정할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Halmos, G.T. Roll Forming Handbook, 1st ed.; Chemical Industry Press: Beijing, China, 2009; pp. 1–190. ISBN 9787122029522. [Google Scholar]
- [2] Zeng, G.; Li, S.H.; Yu, Z.Q.; Lai, X.M. Optimization design of roll profiles for cold roll forming based on response surface method. Mater. Des. 2009, 30, 1930–1938. [Google Scholar] [CrossRef]
- [3] Zeng, G.; Lai, X.M.; Yu, Z.Q.; Guo, Y.J. The simulation of roll forming with multiple passes. J. Shanghai Jiaotong Univ. 2007, 41, 1598–1602. [Google Scholar]
- [4] Li, D.Y.; Jiang, J.M.; Peng, Y.H.; Yin, J.L. Study on roll forming process simulation and roll diameters optimization. J. Syst. Simul. 2007, 19, 893–896. [Google Scholar]
- [5] Li, B.; Zhang, S.H.; Hu, L. Numerical simulation on cold roll forming process of profiled strip. Iron Steel 2004, 39, 82–85. [Google Scholar]
- [6] Xu, S.C.; Wang, X.J. Analysis of displacement and velocity field in channel steel roll forming process using elastic-plastic large-deformations finite element method. J. Plast. Eng. 1999, 6, 71–75. [Google Scholar]
- [7] Zheng, J.X. Finite Element Method Simulation and Springback Research on Cold Roll Forming. Master's Thesis, Kunming University of Science & Technology, Kunming, China, November 2006. [Google Scholar]

- [8] Heislitz, F.; Livatyali, H.; Ahmetoglu, M.A.; Kinzel, G.L.; Altan, T. Simulation of roll forming process with the 3-D FEM code PAM-STAMP. *J. Mater. Process. Technol.* 1996, 59, 59–67. [Google Scholar] [CrossRef]
- [9] Sukmoo, H.; Seungyeon, L.; Naksoo, K. A parametric study on forming length in roll forming. *J. Mater. Process. Technol.* 2001, 113, 774–778. [Google Scholar]
- [10] Park, J.C.; Yang, D.Y.; Cha, M.H.; Kim, D.G.; Nam, J.B. Investigation of a new incremental counter forming in flexible roll forming to manufacture accurate profiles with variable cross-sections. *Int. J. Mach. Tool. Manuf.* 2014, 86, 68–80. [Google Scholar] [CrossRef]
- [11] Liu, C.F.; Zhou, W.L.; Fu, X.S.; Chen, G.Q. A new mathematical model for determining the longitudinal strain in cold roll forming process. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2015, 79, 1055–1061. [Google Scholar] [CrossRef]
- [12] Jiang, Z.Y.; Tieu, A.K. A simulation of three-dimensional metal rolling processes by rigid-plastic finite element method. *J. Mater. Process. Technol.* 2011, 112, 144–151. [Google Scholar] [CrossRef]
- [13] Jeong, S.H.; Lee, S.H.; Kim, G.H.; Seo, H.J.; Kim, T.H. Computer simulation of U-channel for under-rail roll forming using rigid-plastic finite element methods. *J. Mater. Process. Technol.* 2008, 201, 118–122. [Google Scholar] [CrossRef]
- [14] Cai, Z.Y.; Li, L.L.; Wang, M.; Li, M.Z. Process design and longitudinal deformation prediction in continuous sheet metal roll forming for three-dimensional surface. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 2014, 15, 1889–1895.

[Google Scholar] [CrossRef]

[15] Luo, X.L.; Yu, Z.Q.; Li, S.H.; Zeng, G. Finite element analysis of the springback in high strength steel roll forming. *J. Plast. Eng.* 2008, 15, 83–86. [Google Scholar]

[16] Chen, Z.Y.; Wang, H.B.; Yan, Y.; Jia, F.H. Design and analysis of roll-forming machine based on ABAQUS equivalent simplified model. *Forg. Stam. Technol.* 2014, 39, 82–86. [Google Scholar]

[17] Bui, Q.V.; Ponthot, J.P. Numerical simulation of cold roll-forming processes. *J. Mater. Process. Technol.* 2008, 202, 275–282. [Google Scholar] [CrossRef]

[18] Bidabadi, B.S.; Naeini, H.M.; Tafti, R.A.; Mazdak, S. Experimental investigation of the ovality of holes on pre-notched channel products in the cold roll forming process. *J. Mater. Process. Technol.* 2015, 225, 213–220. [Google Scholar] [CrossRef]

[19] Weng, C.C.; Pekoz, T. Residual stress in cold-formed steel members. *J. Struct. Eng.* 1990, 116, 1611–1625. [Google Scholar] [CrossRef]

[20] Li, S.H.; Zeng, G.; Ma, Y.F.; Guo, Y.J.; Lai, X.M. Residual stresses in roll-formed square hollow sections. *Thin Wall Struct.* 2009, 47, 505–513. [Google Scholar] [CrossRef]

[21] Zeng, G. Simulation and Experimental Study on Residual Stresses for Multi-Stand Roll-Formed Sections. Ph.D. Thesis, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China, June 2009. [Google Scholar]

- [22] Sánchez Egea, A.J.; González Rojas, H.A.; Celentano, D.J.; Peiró, J.J. Mechanical and metallurgical changes on 308L wires drawn by electropulses. *Mater. Des.* 2016, 90, 1159–1169. [Google Scholar] [CrossRef]
- [23] Sánchez Egea, A.J.; González Rojas, H.A.; Celentano, D.J.; Peiró, J.J.; Cao, J. Thermomechanical analysis of an electrically-assisted wire drawing process. *J. Manuf. Sci. Eng.* 2017. [Google Scholar] [CrossRef]
- [24] J. Lee, D. Kim, L. Quagliato, S. Kang, N. Kim, Change of the yield stress in roll formed ERW pipes considering the Bauschinger effect, *Journal of Materials Processing Technology*, 244 (2017) 304–313.
- [25] Y. Yan, H. Wang, Q. Li, the inverse parameter identification of Hill 48 yield criterion and its verification in press bending and roll forming process simulations, *Journal of Manufacturing Processes*, 20 (2015) 46–53
- [26] G.S. Srinivasu, N.R. Raja, Finite element modeling of stress strain curve and micro stress and micro strain distributions of titanium alloy-a review, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11 (2012) 953-960.
- [27] G.S. Srinivasu, N.R. Raja, Finite element modeling of stress strain curve and micro stress and micro strain distributions of titanium alloy-a review, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11 (2012) 953-960. 8 Author name / *Procedia Manufacturing* 00 (2018) 000–000
- [28] X.G. Fan, H. Yang, P.F. Gao, Deformation behavior and microstructure evolution in multistage hot working of TA15 titanium alloy: on the role of recrystallization, *Journal of Materials Science*, 46 (2011) 6.18-6.28.

- [29] A.N. Chamos, G.N. Labeas, D. Setsika, Tensile behavior and formability evaluation of titanium-40 material based on the forming limit diagram approach, *Journal of Materials Engineering & Performance*, 22 (2013) 2253-2260.
- [30] E.O. Ezugwu, Z.M. Wang, Titanium alloys and their machinability- a review, *Journal of Materials Processing Technology*, 68 (1997) 262-274.
- [31] P. Guo, Y.Q. Zhao, W.D. Zeng, Q. Hong, The effect of microstructure on the mechanical properties of TC4-DT titanium alloys, *Materials Science & Engineering A*, 563 (2013) 106-111.
- [32] Y.M. Huo, J.G. Lin, Q. Bai, B.Y. Wang, X.F. Tang, H.C. Ji, Prediction of microstructure and ductile damage of a high-speed railway axle steel during cross wedge rolling, *Journal of Materials Processing Technology*, 239 (2017) 359-369.
- [33] J. Bartnicki, J. Tomczak, Z. Pater, Numerical Analysis of the Cross-Wedge Rolling Process by Means of Three Tools of Stepped Shafts From Aluminum Alloy 7075, *Archives of Metallurgy & Materials*, 60 (2015) 1-8.
- [34] J. Mirahmadi, M. Hanedi, S. Ajami, Investigating the effects of cross wedge rolling tool parameters on formability of Nimonic® 80A and Nimonic® 115 superalloys, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74 (2014) 995-1004.
- [35] J.L. Li, B.Y. Wang, H.C. Ji, X. Huang, X.F. Tang, W.P. Ma, Effects of the cross-wedge rolling parameters on the formability of Ti-6Al-4V alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92 (2017) 2217-2229.

[36] J. Luo, M. Li, X. Li, Y. Shi, Constitutive model for high temperature deformation of titanium alloys using internal state variables, *Mechanics of Materials*, 42 (2010) 157-165.

[37] Q. Bai, J.G. Lin, T.A. Dean, D.S. Balint, T. Gao, Z. Zhang, Modelling of dominant softening mechanisms for Ti-6Al-4V in steady state hot forming conditions, *Materials Science and Engineering A*, 559 (2013) 352-358.

[38] X.G. Fan, H. Yang, Internal-state-variable based self-consistent constitutive modeling for hot working of two-phase titanium alloys coupling microstructure evolution, *International Journal of Plasticity*, 27 (2010) 1833-1852.

[39] D.M. Neto, M.C. Oliveira, A.D. Santos, J.L. Alves, L.F. Menezes, Influence of boundary conditions on the prediction of springback and wrinkling in sheet metal forming, *International Journal of Mechanical Sciences*, 122 (2017) 244-254.

[40] J. Liao, X. Xue, M.G. Lee, F. Barlat, G. Vincze, A.B. Pereira, Constitutive modeling for path-dependent behavior and its influence on twist springback, *International Journal of Plasticity*, 93 (2017) 64-88.