

## 노후 압출기의 재제조를 위한 고장모드 영향분석

정항철<sup>1</sup>, 윤상민<sup>1</sup>, 오상호<sup>2</sup>, 백창현<sup>3</sup>, 공만식<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>고등기술연구원 신소재공정센터  
17180 경기 용인시 처인구 백암면 고안로 51번길 175-28  
<sup>2</sup>(주)선우엔지니어링  
15618 경기도 안산시 단원구 별망로 126번길  
<sup>3</sup>(주)알루스  
31250 충청남도 천안시 동남구 수신로 118

(2021년 10월 28일 접수; 2021년 11월 23일 수정본 접수; 2021년 11월 23일 채택)

## Failure Mode and Effect Analysis for Remanufacturing of the Old Extrusion Press

Hang-Chul Jung<sup>1</sup>, Sang-Min Yun<sup>1</sup>, Sang-Ho Oh<sup>2</sup>, Chang Hyun Baeg<sup>3</sup>, and Man-Sik Kong<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Advanced Materials and Processing Center, Institute for Advanced Engineering(IAE)  
175-28 Goan-ro 51 beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi, 17180, Korea  
<sup>2</sup>Sunwoo Engineering Co. Ltd.  
ByeolMang-Ro 126 Beon-Gil, Danwon-Gu, Ansan-Si, GyeongGi-Do, 15618, Korea  
<sup>3</sup>Alus Co. Ltd.  
118 Susin-ro, Susin-myeon, Dongnam-gu, Cheonan, Chungcheongnam-do, 31250, Korea

(Received for review October 28, 2021; Revision received November 23, 2021; Accepted November 23, 2021)

### 요 약

국내 알루미늄 산업에서 압출공정은 생산량 기준 40% 이상의 비중을 차지하고 있는 주요 공정이다. 국내 알루미늄 압출업체 대부분이 30년 이상 된 노후 설비를 이용하여 생산하고 있기 때문에 제품 정밀도 및 품질 저하, 낮은 생산성 등의 문제를 겪고 있다. 압출 설비는 한번 도입하면 주요 부품의 마모 또는 파손 발생 전에는 설비를 교체하지 않는 구조로 신규 설비에 비해 생산성 감소 및 불량률이 증가하기 때문에 설비의 유지 관리가 중요하다. 노후 압출기는 부품의 도면이 소실된 경우가 많아 현장에서 적절한 보수가 어렵고 유지 관리를 위한 기술력 부재로 인해 재제조에 어려움을 겪고 있기 때문에 해체 단계에서부터 체계적인 재제조 방안이 고안되어야 한다. 본 연구에서는 노후 압출설비의 재제조를 위해 재제조 고장모드 영향분석 방법을 고안하였다. 부품에 대한 재제조 대상 부품의 파손에 대한 심각도, 압출 공정 중 고장/파손에 따른 수명 그리고 재제조에 따른 자원순환의 가치를 고려하여 위험우선순위를 산정하고 재제조 대상을 선정하였다. 노후 압출기의 재제조 공정의 표준화 정립을 위해 노후 압출기의 구조에 따른 모듈 및 부품에 대한 분석 등을 통해 재제조 고장모드 영향분석을 수행하였으며 부품별 우선순위를 선정하여 자원순환의 효율성 및 제품 품질 안정화를 위한 재제조 연구를 수행하였다.

주제어 : 재제조, 압출기, 알루미늄, 고장모드 영향분석, 자원순환

**Abstract :** In the domestic aluminum industry, the extrusion process is a major process accounting for more than 40% of the total production. However, most domestic aluminum extrusion companies produce aluminum using old equipment that is more than 30 years old. Extrusion press is when the equipment is not replaced before the wear and breakage of major parts occur, reducing productivity and increasing the defect rate compared to new equipment. The old extrusion press often loses part drawings, so it is difficult to repair them properly on-site and to remanufacture them due to the lack of technical skills for maintenance. Therefore, a systematic remanufacturing plan must be designed from dismantling the equipment. In this study, remanufacturing FMEA was devised to remanufacture old extrusion press. The risk priority was analyzed by considering the degree of damage to the recycled parts, the cycle due to breakage/damage during the extrusion process, and the value of recycling resources due to

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: mskong@iae.re.kr; Tel: +82-31-330-7480; Fax: +82-31-330-7116

doi: 10.7464/ksct.2021.27.4.297 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

remanufacturing. To standardize the remanufacturing process, remanufactured FMEA was performed through part analysis according to the structural analysis of the extrusion press. In addition, remanufacturing priorities were selected for each part, while remanufacturing itself was studied for efficiency of resource circulation and product quality stabilization.

**Keywords :** Remanufacturing, Extrusion press, Aluminum, FMEA, Resource circulation

## 1. 서론

산업의 발달로 인해 자원고갈 및 환경문제의 중요성이 커지면서 친환경, 환경보전 등의 관심 증가와 더불어 각 국가별 환경기준이 강화되고 있다. 이러한 상황에 맞춰 세계적으로 자원순환을 통한 자원 확보의 필요성이 높아지고 있다. 자원순환을 통한 자원 확보에는 재활용(recycling), 재제조(remanufacturing), 재사용(reuse) 등 다양한 방법이 제시되고 있다.

재제조는 사용 후 제품을 회수하여 분해, 세척, 검사, 보수, 재조립 등의 과정을 거쳐 신규설비 및 부품 성능수준으로 복원하는 방법으로, 에너지 및 자원 절감 효과가 다른 자원순환방법에 비해 경제적이며 효율적인 방법이다. Figure 1은 제품의 생산 단계 및 재활용, 재제조 등의 자원 순환 사이클을 나타낸다[1].

재제조 산업은 미국, 유럽 등 선진국에서 약 100여 년 전부터 자동차 부품을 중심으로, 항공기부품, 프린트, 토너, 공작기계 등 다양한 산업분야에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 반면 국내의 재제조 산업은 아직 미흡하나, 2000년 중반 이후부터 자동차 부품 재제조 산업을 중심으로 재제조 기술 발전을 위한 정책 및 연구 등 다양한 활동이 이루어지고 있다[2]. 국내 재제조 연구동향을 살펴보면 Lee et al. [3]은 산업용 유압펌프의 재제조 공정을 분석하고 표준 공정계획을 수립하였고, Ha et al. [4]과 Roh [5]는 중고 머시닝 센터의 재제조 공정 표준화를 정립하였다. 이 외에 가전용 모터, 유압실린더, 자동차부품 등 다양한 분야의 재제조 연구 및 재제조 공정 표준화 관련 연구가 활발히 진행되고 있다[6-8].

국내 알루미늄 산업에서 압출공정은 생산량 기준 40% 이상의 비중을 차지하고 있는 제조 분야로서 국내 알루미늄 산업의

중요한 역할을 하고 있다[9]. 압출 설비를 구성하는 기본 소재는 철강으로서 설비를 한번 도입하면 주요 부품의 마모 또는 파손 발생 전에는 설비를 교체하지 않는 구조로서 신규 압출 설비에 비해 생산성 감소 및 불량률이 증가한다. 특히, 국내 알루미늄 압출업체 대부분이 도입된 지 30년 이상 된 노후 설비를 이용한 생산 활동을 하고 있어서 압출제품의 정밀도 및 품질 저하, 낮은 생산성이 문제가 되고 있다. 또한 노후 압출설비의 경우 도입 시기가 오래되어 부품의 도면이 소실된 경우가 많아 현장에서 적절한 보수가 어렵다.

본 연구에서는 장기간 생산 설비로 노후된 알루미늄 압출기를 대상으로 재제조 공정 표준화 정립을 위해 압출기 구조 분석, 재제조 고장모드 영향분석(failure mode and effect analysis, FMEA) 방법 수립과 결과를 분석하였다. 노후된 압출기를 분해, 모듈 및 부품에 대한 분류 등을 통해 구조 분석 및 부품별 중요도를 판단하였으며, 노후 압출기 재제조에 적합한 고장모드 영향분석 분석방법을 수정 및 적용하여 결과를 분석하였다.

## 2. 압출기 재제조 및 Flow Map

### 2.1. 압출기 재제조 방법

노후 알루미늄 압출기의 재製조를 위해서는 압출기의 구성 모듈 및 부품에 대한 분류 작업을 진행해야한다. 압출 시스템은 빌렛(billet) 공급 장치, 압력부, 헤드 및 다이 등으로 구성되어 있는데, 압출기의 핵심 부품들은 빌렛으로부터 수평압을 통해 일정한 속도와 압력으로 제품을 성형할 수 있도록 작용하고 압출 공정 시 일정한 압력을 부여하기 위해 모터, 속도 제어 장치 및 변속기 장치로 구성된 변속기 시스템의 품질에 따라 제

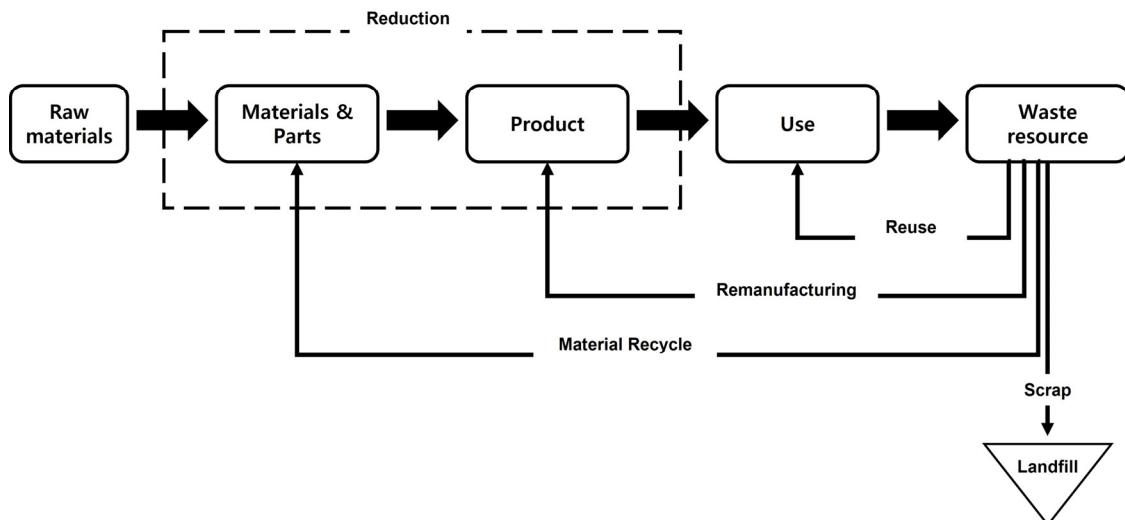


Figure 1. Production process and remanufacturing cycle.

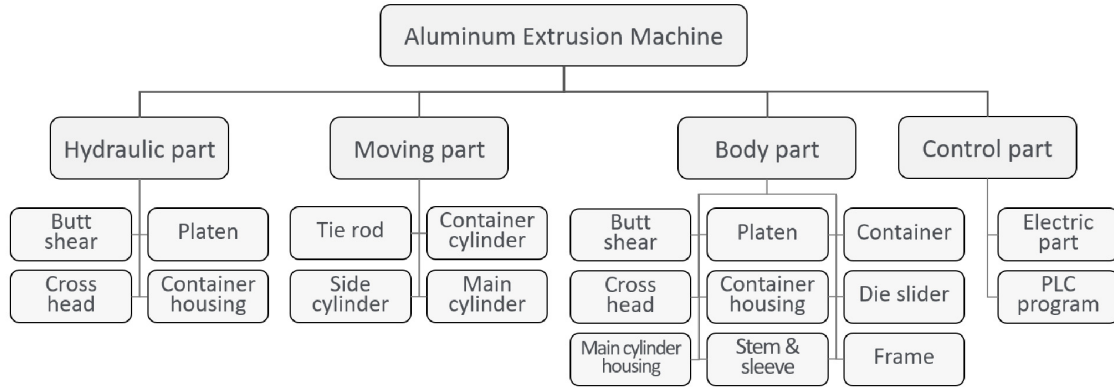


Figure 2. Structural tree of the extrusion press.

품의 품질이 달라진다[9].

우수한 압출 제품을 제조하기 위해서는 압출 공정시 최적의 온도와 압력을 유지해야하며, 압출 형태의 기계적 물성 향상과 형상 치수의 정확성을 위해서는 등온과 등압 압출을 동시에 제어해야한다. 등온 압출을 위해서는 압출공정의 변수 중 빌렛, 컨테이너 및 금형의 예열 온도와 램 속도의 제어가 중요하며, 이는 압출공정 시 소성 변형 구역에서 온도에 따른 미세구조의 변화가 압출 제품의 기계적 물성에 큰 영향을 주기 때문이다. 균일한 미세구조를 얻기 위해서는 주요 공정 변수의 제어가 필수적이며, 출구 온도를 일정하게 유지하는 것이 중요하다[8].

압출기의 성능과 압출제품의 품질에 영향을 주는 주요 인자의 제어를 위해 압출기의 주요 부품과 모듈에 대한 분류를 일차적으로 진행해야 한다. 노후되어 압출기의 성능이 저하된 장치의 재제조를 위해 대상이 되는 노후 압출기에 대한 구조 및 기계적 특성에 따라 tree를 통해 압출기를 분류하였으며, 그 결과를 Figure 2에 나타냈다.

압출기 구조에 따른 tree 분석은 장비의 구성 요소를 알기 쉽게 분류해두는 과정으로서 각 부품에 대한 기능적 중요도에 따른 연관성을 쉽게 파악할 수 있기 때문에 재제조 공정 시 그 대상을 선정함에 있어서 중요도를 우선적으로 나눌 수 있어 재제조 연구 개발에 있어서 중요한 요소로 볼 수 있다.

노후 압출기의 구조 및 기능적 tree 분석을 진행한 결과, 압출기는 크게 유압부(hydraulic part), 구동부(moving part), 몸체부(body part), 제어부(control part)로 분류할 수 있다. 유압부의 경우 압출기의 압축 압력과 관련된 부품으로 정밀한 제어가 필요한 부분이며, 구동부는 구조체의 이동이 잦은 이유로 노후화가 빈번하게 발생할 수 있는 부분이다. 몸체부에 가장 많은 주요 부품이 밀집되어 있으며, 재제조를 위해서는 몸체부를 이루는 부품별 기능과 시스템간의 기능적 상호 작용에 대한 분석이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

## 2.2. 재제조 기술의 flow map

노후 압출기는 대부분 장기간 운전 및 가동함으로써 초기 상태의 정밀도나 성능이 저하됨에 따라 일부 주요 부품 및 모듈에 있어 압출 작업 시에 발생하는 고온·고압의 반복적인 하중

에 의하여 열화 또는 변형이 발생한다[9].

압출기의 주요 부품 중 일부는 재사용이 불가하여 교체가 필요하지만, 대부분의 경우 압출기의 도입 시기가 오래되어 부품의 도면이 전무하거나 소실된 경우가 많기 때문에 노후 부품의 신규 제작 및 재제조 과정에 있어 필요한 설계 도안과 그에 따른 적절한 소재 선정 등에 어려운 점이 있다.

압출기를 신규로 도입할 때에는 회사의 많은 부담과 더불어 장비 제작에 많은 기술력과 적정한 소재의 제조 그리고 이를 관리 및 유지하는데 소요되는 많은 에너지로 인해 환경적인 부담이 크다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하고자 재제조 전과정에 있어 공정을 분석하고 재제조를 위한 flow map을 설정하여 공정이 획일화 및 전문화 될 수 있도록 하는 시스템이 필요하다.

Table 1에는 본 연구에서 진행한 노후 압출기의 재제조를 위한 flow map을 나타냈다. Flow map 작업은 재제조 공정별 필요 절차 확립과 그에 따른 공정 표준화 및 각 부품들에 대한 설계 도면화 작업이 필요하다. 또한 부품 및 장비의 해석 작업을 통해 장비 신뢰성과 내구성 향상을 위한 기초자료를 DB화함으로써 노후 압출기 재제조 기술력을 체계적으로 확립할 수 있기 때문에 추후 복잡한 중대형 장비의 재제조 기술에도 활용이 가능하다.

재제조 공정 기술은 설비 수리 기술, 부품 역설계 기술, 성능 개선 기술 등 다양한 기술이 조합되어 개발되어지는 복합 기술로서 압출 설비의 현재 상태 그리고 제조된 장비의 방식에 따라 많은 기술적 노하우와 함께 모듈/부품별 맞춤형 재제조 기술이 적용되어야 한다.

맞춤형 재제조 공정을 위해서는 장비의 분해 단계에서부터 각 부품에 대한 평가 및 공정에 대한 이해가 필요하기에 flow map 분석 및 설정은 중요한 요소이다. 또한 노후 압출기의 역설계, 신규 PLC 및 AI 기술이 반영된 첨단기술과의 융합에 있어서도 초석이 될 수 있는 공정 표준화 작업이다.

노후 압출기의 재제조 공정을 위해서는 프로세스 이전에 공정 및 제품에 대한 평가를 진행하여 압출기의 현재 상태를 파악하고, 재제조 공정의 전체 계획을 수립할 수 있는 flow map 작업을 통해 전 프로세스에 대한 일정 및 필요한 기술과 결과

**Table 1.** Flow map of extrusion press remanufacturing process

Remanufacturing process	Detail process	Result
Selection of old extruder	- Evaluation of yield, productivity, maintenance cost and history of extruder - Process efficiency and defect rate evaluation for extruded products	Old extruder and product assessment, process capability analysis
↓		
Establish a remanufacturing plan	- Process mapping for extruder remanufacturing - Securing technology for remanufacturing - Establishment of dismantling, separation and production schedule	Flow map and remanufacturing timeline
↓		
Separation of module / parts	- Dismantling for old extruders - Grouping according to module and part - Sorting according to the separation	Old extruder tree
↓		
Function check and fault diagnosis	- Diagnosis of failure/damage of dismantling parts - Core team verification for severity and incidence - Set the range of remanufacturing targets for each part	Draft FMEA by extruder part
↓		
Extruder remanufacturing	- Establishment of performance (spec) according to diagnosis for each extruder part - Replacement, reuse, and repair of parts - Diagnosis and evaluation of performance of each part	Remanufacturing FMEA and inspection by part
↓		
Module and device assembly installation	- Assembly of remanufactured parts and modules - Operation and performance evaluation - Assembly and installation of the device	Performance evaluation for each part/module
↓		
Commissioning of the extruder	- Trial run according to extruder assembly - Check the operation status of each module - Quality check of products according to remanufacturing	Extruder inspection confirmation, Process capability analysis
↓		
Analysis of extrusion production process	- Evaluation of the yield and productivity - Evaluation of process efficiency and defect rate for extruded products - Process stabilization work and evaluation	Extruder and extruded product evaluation sheet, C&E diagram
↓		
Product production	- Drawing up and managing the process diagram for the extruder process - Defect rate analysis of extruders and extruded products	Statistical process control and manufacturing process control

물 선정이 필요하다. 이후 직접적인 노후 압출기의 모듈/부품별 분리 작업을 통해 고장 상태를 진단하고 이에 대한 부품별 재제조 여부를 선정하는 고장모드 영향분석을 거치면서 본격적인 재제조 공정이 수행된다.

고장모드 영향분석을 통한 재제조 이후 부품별 교체작업 및 보수 시공 작업이 진행된 다음 조립과 설치를 통해 노후 압출기의 재제조가 이루어지며, C&E 다이어그램, 통계적 공정 관리 및 제조 공정 관리자 등을 통해 압출기 및 제품에 대한 평

가와 함께 유지 관리를 진행한다.

### 3. 재제조를 위한 고장모드 영향분석

#### 3.1. 고장모드 영향분석 개념 및 종류

본 연구에서는 분해/해체 공정을 거친 노후 압출기 부품에 대해 고장 유형을 분석하고 최종적으로 재제조 대상을 선정할 목적으로 고장모드 영향분석을 활용하였다. 고장모드 영향분

석 방법은 재제조 제품의 성능 및 내구성을 평가하기 위한 평가기준을 설정하고 평가함으로써 재제조 대상의 부품 및 모듈에 대한 신뢰성 확보와 재제조 표준화를 위한 절차이다[11].

고장모드 영향분석은 발생 가능한 잠재고장모드와 그 영향을 확인하고 예방할 수 있도록 체계적으로 접근하는 툴(tool)로 구성요소에 따른 각종 문제점들을 요인별로 나누어 각각의 영향을 분석하는 방식으로 해결할 문제에 대해 지식 및 경험이 있는 설계엔지니어 또는 핵심팀에 의해 활용되어지는 분석 기법이다. 일반적으로 고장모드 영향분석을 시행하는 주된 목적은 시스템의 운용 과정에서 발생할 수 있는 위험요소를 설계단계에서 체계적으로 정리 분석하여 안정 및 품질 안정화를 확보하는데 있다[12].

압출기 재제조를 위한 고장모드 영향분석은 해체 단계서부터 각 모듈에 대한 영향 요소를 분석하고 이를 해석함으로써 제품의 품질이나 압출기의 유지보수를 통한 주요 부품의 재제조 우선순위를 선정하고 효율적인 재제조 공정을 진행하기 위함이다.

일반적으로 고장모드 영향분석은 품질 관리에 있어 제조/생산을 주제로 하여 재발 방지라는 사고를 중심으로 진행하며, 이것은 불량 발생 후 사후 관리적인 사고방식으로 평가 받는 기법이다. 또한 안전성 해석이라는 영역까지 확대하여 안전성 분석 절차의 과정으로도 활용된다. 본 재제조를 위한 고장모드 영향분석의 실시목적은 포괄적으로 접근하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 압출기 운용의 안전성 및 품질을 향상시킬 수 있는 재제조 공정을 선택하는 기준 제시
- 각 모듈 및 부품별 최종 품질에 치명적인 잠재적 고장모드에 대한 영향 및 원인 분석
- 잠재적 결함 확인 후 개선조치 및 재제조 수행 중 우선순위의 결정
- 압출기 노후화 및 결함의 영향 제거를 위한 모듈별 대책 수립의 근거
- 압출기의 안전성 및 품질의 예측, 평가 또는 안전성 연구에 대한 정성적, 정량적 데이터 제공

고장모드 영향분석의 기법은 설계 고장모드 영향분석 기법(design FMEA), 공정 고장모드 영향분석 기법(process FMEA), 시스템 고장모드 영향분석 기법(system FMEA)으로 분류할 수 있다. 고장모드 영향분석 기법은 동일한 프로세스를 통해 진행되며, 본 재제조 고장모드 영향분석은 설계 고장모드 영향분석 방식을 기본으로 하여 진행하였다. 설계 고장모드 영향분석 기법은 일반적으로 설계 시작 단계에서 시작하여 양산 후 출고 이전에 완성하여 적용되지만, 본 재제조에서는 노후 압출기의 해체 단계에서부터 진행하여 제품의 구성요소인 부품, 어셈블리, 시스템의 단계별 분석에 적용하였다[12].

설계 고장모드 영향분석 기법은 설계 단계에서부터 제품의 고장모드의 확인이 용이하며, bottom-up 방식으로 분석하는 방법으로서 잠재적 위험성과 관련 있는 부품과 그 부품의 고장모

드를 찾아내고 각 고장모드의 위험도, 치명도 등을 추정하여 고장모드의 우선순위가 높은 부품을 집중 관리하여 사전에 방지하는데 효과적인 방식이므로 본 재제조에 적합할 것으로 판단된다. 또한 설계 고장모드 영향분석 방식은 설계 개선 조치들 간의 우선순위를 설정하여 제품의 설계 변경 후 그 근거를 문서화하기 때문에 향후 제품의 유지 보수 및 설계 수정에 있어서도 장점이 있다[12].

### 3.2. 압출기 재제조 고장모드 영향분석 전개

본 재제조 고장모드 영향분석 기법은 노후 압출기 해체 단계부터 모든 연관된 시스템, 반제품, 구성품과 더불어 재제조 완제품까지 평가되어야 하며, 가장 가혹한 상태에서 구성품, 하위시스템, 시스템, 각 분류 부품들이 설계될 때 엔지니어와 핵심팀(경험과 과거 사례에서 잘못된 수 있는 항목의 분석을 포함)의 의견을 종합하여 재제조 고장모드 영향분석 기법으로 수정하고 보완하여 활용하였다.

Table 2는 본 연구에서 수행된 재제조 고장모드 영향분석 전개 순서를 나타냈다. 재제조 고장모드 영향분석은 압출기의 해체 단계에서부터 작성을 진행하며, 압출기의 품질 및 안전성을 보장하기 위해 공학적인 측면에서 고장요인 분석을 위한 방법을 제시하고 공정 단계별로 분석을 실시하였다.

먼저 압출기의 하위시스템의 분류에 따라 장치의 기능을 확인한다. 압출기의 주요 성능 및 품질에 영향을 줄 수 있는 여러 부품 및 모듈 기준으로 그 기능을 서술한 다음, 서브시스템 장치 및 모듈 별로 고장 요인을 열거하였다. 압출기의 설계자가 있는 경우 과거의 고장 기록을 중심으로 사용자의 요구 사항 등을 포함하여 검토하며, 필요에 따라 전문가 집단의 브레인스토밍(brain storming) 기법을 활용하여 진행했다.

다음으로 고장모드 영향분석에 효과적인 고장모드, 원인, 영향을 열거하여 최종적으로 영향도(심각도)를 작성한다. 노후 장비의 운영 시 발생된 문제점 및 고장 이력 등을 파악하고 적절한 고장 모드를 선정하여 진행하며, 압출기 부품의 설계, 제작 및 사용 환경 등을 고려하여 종합적으로 검토하였다.

기존의 설계 고장모드 영향분석 기법과 비교하여 본 재제조 고장모드 영향분석에서 수정하여 재제조에 적용된 분석 기법으로 보완된 부분은 ① 재제조 대상 부품의 파손에 대한 심각도, ② 압출 공정 중 고장/파손 부품에 대한 수명과 주기, ③ 재제조에 따른 자원순환의 가치에 대한 개념을 접목하여 정량 분석을 통해 분석하였으며, 그에 따른 세부적인 정의는 다음과 같다.

- 재제조 대상 부품의 파손에 대한 심각도 항목은 신품 대비 불량률의 심각도, 고장 파손이 기능에 미치는 심각 정도, 경고나 예측이 가능한지 여부 등에 대한 척도이다.
- 고장/파손 부품에 대한 수명과 주기 항목은 마모, 휨, 정밀도 등의 주기, 수명이 짧고 자주 발생하면 높다.(파손/고장에 대한 취약성)
- 재제조에 따른 자원순환의 가치 항목은 재제조 기술이 난해하여 원인 파악이 힘든 정도, 재제조에 소요되는 비용이 높은 정도, 자원순환 가치를 의미한다.

**Table 2.** Deployment process of remanufacturing FMEA

No	Deployment process	Details
1	Definition of extruder parts and functions	Describe the role and definition of the function of each part/module of the extruder selected for obsolescence
2	List the types of failure/damage by part	List all possible failure modes when the function of each major part is lost
3	Estimated impact (severity) of failure/damage	Predict how the failure/damage phenomenon occurred during the extrusion process.
4	Estimation of failure/damage life and resource circulation value	Estimate the breakage cycle and lifespan of major parts during the extrusion process. Evaluate whether resource recycling is worthwhile.
5	Quantitative analysis	Quantitative analysis is carried out according to the determined criteria (severity/occurrence/resource cycle utilization)
6	RPN calculation	By multiplying occurrence/severity/resource cycle utilization, Relative priority is given to failure/damage modes in remanufacturing.
7	Draw a remanufacturing plan	Evaluate the value of remanufacturing based on 100 points according to quantitative analysis. Even if the score is less than 100, a specific remanufacturing and management plan should be established if the severity is 8 or higher.
8	Remanufacturing follow-up	Election of the head of the core team. Promoting and writing improvement according to the remanufacturing completion target schedule.
9	Calculate RPN after remanufacturing	The core team takes action on the planned remanufacturing target and re-calculates the R.P.N.
10	Field evaluation and reliability after equipment assembly	Statistical management of the reliability and quality of the remanufactured extruder

압출기에 대한 재제조 고장모드 영향분석에 있어 평가에 대한 기준은 개별적인 제품분석을 통해서 진행하며, 구성 요소나 하위시스템을 전체적으로 평가하여 Table 3과 같은 기준으로 등급을 정한다. 발생도와 같은 등급체계는 지속성을 보장하는데 이용되며, 설계수명 대비 고장률은 구성품, 하위시스템, 시스템의 수명 동안에 예상되는 고장의 확률에 근거하여 작성했다. 또한 자원순환율은 각 부품 및 하위 시스템의 기준에서 재제조가 필요할 확률로 선정했으며, 이는 자원순환을 해야 하는지 아니면 단순 교체나 수리를 통해 유지 보수가 가능한 수준인지에 따라 등급을 결정했다.

압출기 구성 요소들의 부품 및 모듈별로 점수를 산정하여 핵심팀의 의견을 바탕으로 정량분석을 진행한 다음 심각도, 발생도 및 자원순환 활용도에 따라 점수를 평가하여 재제조 위험우선순위(risk priority number, RPN)를 결정하였으며, 이후 압출기 재제조를 위한 부품별 재제조 계획안을 도출하고 이를 실행에 따라 재제조를 진행하였다[14,15].

### 3.3. 고장모드 영향분석을 이용한 재제조 대상 선정

노후 압출기의 구성 성분의 tree 분석을 통해 분류된 압출기의 구조를 바탕으로 노후 압출기의 운영 및 연구를 진행하는 핵심팀을 설정하고 재제조 고장모드 영향분석을 수행하였으며, 그 결과를 Table 4에 나타냈다. 실질적인 재제조를 수행하기에 앞서 본 연구에서는 압출 제품의 품질 및 안전성을 고려







하여 재제조의 우선순위를 산정하였다[11].

Figure 3에는 압출기의 재제조를 위한 우선순위를 산정한 결과를 나타냈다. 위험우선순위는 12 ~ 576까지 넓은 분포를 보이고 있으며, 핵심팀의 논의를 통해 위험우선순위 100점을 기준으로 노후 압출기 부품 및 모듈의 재제조 여부를 확인하고 재제조 계획을 입안하기로 결정하였다. 또한 100점 미만이어도 고장/파손의 심각도가 8 이상인 경우에 추가적인 검증을 통해 재제조 대상을 선정하였다.

위험우선순위에 따른 재제조 대상 부품에 대한 선정 기준은 심각도와 발생도 그리고 자원순환율에서 높은 점수를 획득한 부품을 중심으로 하여 위험우선순위 100 이상의 부품에 대해서 실시하였다. 이는 노후 압출기 부품의 재제조에 있어서 경제적인 부분과 기술적인 측면을 고려하여 신규 압출기 구매 비용 대비 약 70% 수준의 재제조율을 산정하여 진행하였다.

재제조 고장모드 영향분석 결과, 압출기의 핵심 부품인 유압부의 고장/파손 심각도가 비교적 높게 나타났고 또한 그 수명이 길지 않아서 재제조 대상으로 선정했으며, 장비 운영 시 지속적인 관리 및 보수가 필요할 것으로 판단된다. 이동부에서는 빌렛의 가압과 밀접한 관련이 있는 슬리브와 실린더 파트에 대한 재제조가 필요해 보이며, 전기장치 부분에 있어서는 각종 센서 부품과 더불어 프로그램의 업그레이드가 요구되는 상황으로 분석됐다.

**Table 4.** FMEA results for extrusion press remanufacturing (some excerpts)

Parts/Functions	Failure/damage mode	Failure/damage severity	Severity	Failure/damage life&cycle	Occurrence	Failure/damage management (resource circulation value)	Resource circulation utilization	Risk priority	Remanufacturing methods and technologies
 Oil flow control device for hydraulics	Fixing Wear, Corrosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fixing: Stuck due to poor operation due to aging</li> <li>Wear: wear from use</li> <li>Corrosion: Corrosion due to oil oxidation</li> </ul>	8	20% (20 yr cycle)	8	20% (4 yr cycle, Recycling)	8	512	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methods : Recycling Resources</li> <li>Technology: replacement</li> </ul>
 Hydraulic oil storage device	Fixing Wear, Corrosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fixing: Stuck due to poor operation due to aging</li> <li>Wear: wear from use</li> <li>Corrosion: Corrosion due to oil oxidation</li> </ul>	8	90% (20 yr cycle)	2	20% (20 yr cycle, Recycling)	8	128	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methods : Recycling Resources</li> <li>Technology: replacement</li> </ul>
 Check hydraulic condition	Malfunction	<ul style="list-style-type: none"> <li>Malfunction: Equipment damage due to gauge malfunction</li> </ul>	8	10% (20 yr cycle)	9	20% (20 yr cycle, Recycling)	8	576	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methods : Recycling Resources</li> <li>Technology: replacement</li> </ul>
 Extruder structure support	Deformation, Crack	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deformation: Reuse of datum plane repair</li> <li>Crack: Reusable after polishing</li> </ul>	3	100% (20 yr cycle)	2	80% (20 yr cycle, Recycling)	2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methods: remanufacturing</li> <li>Technique: Warp inspection and reuse after machining</li> </ul>
 Billet slot	Deformation, Crack	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deformation: Reusable after polishing</li> <li>Crack: Reuse after structural change</li> </ul>	8	0.25% (20 yr cycle)	9	20% (6 mo cycle, Recycling)	8	576	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methods : Recycling Resources</li> <li>Technology: replacement</li> </ul>
 Extruder pressurizing device	Crack	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crack: Reuse after repairing worn parts</li> </ul>	3	100% (20 yr cycle)	2	80% (20 yr cycle, Recycling)	2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methods: remanufacturing</li> <li>Technique: Crack inspection and reuse after machining</li> </ul>

#### 4. 결론

압출 장비는 관리 및 기술의 부재로 인해 노후화에 따른 유지 보수에 많은 노력이 필요하며, 이러한 장비의 재제조에 있어서 체계적인 재제조 방안이 고안 되어야 한다. 또한 장비의 성능은 제품의 품질과 함께 안전성에 문제를 유발하기 때문에 재제조 공정의 부품 해체 단계부터 체계적인 관리 시스템의 확

보가 필요하다. 노후된 압출기의 재제조를 위해 모듈/부품별 분리 작업을 통해 고장 상태를 진단하고 이에 대한 부품별 재제조의 우선순위를 정하기 위해 재제조 고장모드 영향분석을 설계하고 분석하였다.

본 재제조 고장모드 영향분석은 자원순환의 개념을 접목하여 각 기능별 부품별 성능을 향상시킴으로서 장비의 유지보수 및 압출 제품의 품질 안정화를 위해 접근하였다. 압출기의 재

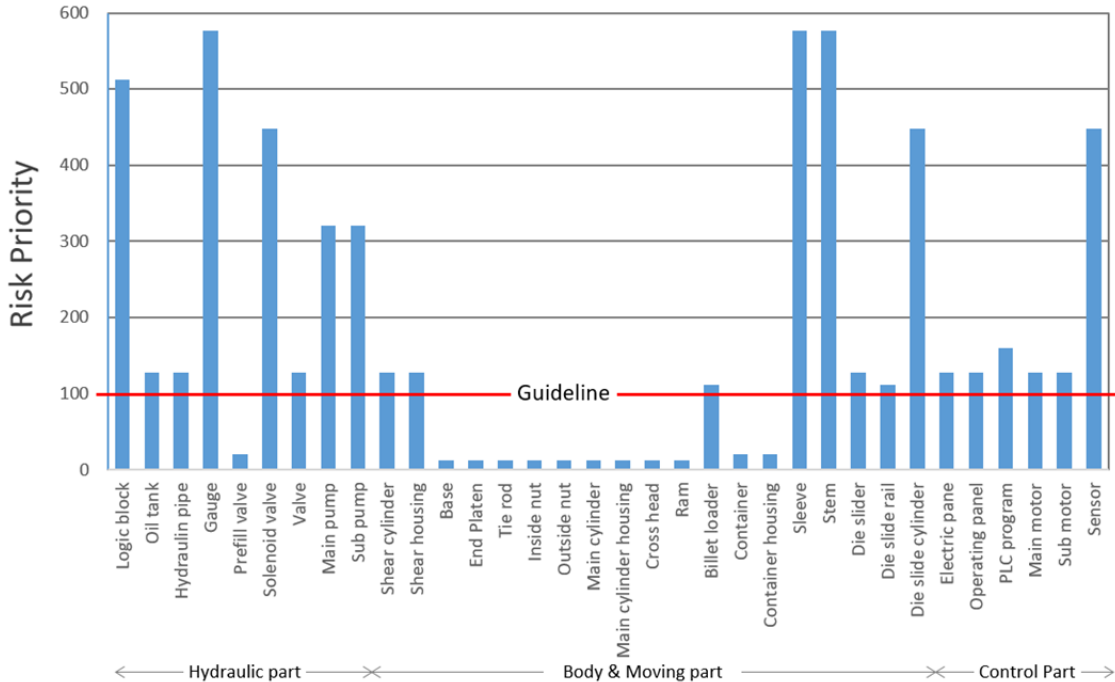


Figure 3. Selection result of remanufacturing target for each old extrusion part.

제조를 위해서 대상 압출기의 기능 및 모듈별 tree 분석을 통해 분류 작업을 진행하여 각 기능별 중요도를 확인하였으며, 압출기의 해체 공정에 있어서는 부품별 분류를 바탕으로 각 모듈에 따른 고장 유형 및 현재의 파손 형태를 나열하여 각 부품의 성능을 점검하였다. 이때 각 부품의 수준에 따라 재제조 범위를 설정하여 고장모드 영향분석을 수행하였다.

각 부품에 대한 재제조 대상 부품의 파손에 대한 심각도, 압출 공정 중 고장/파손 부품에 대한 수명과 주기 그리고 재제조에 따른 자원순환의 가치 등을 고려하여 우선순위를 산정하여 재제조 대상을 선정하였다. 압출기의 핵심 부품인 유압부 및 이동부의 슬라이브와 실린더 파트 등의 재제조가 필요한 상황으로 분석됐다.

본 연구에서는 고장모드 영향분석 개념을 도입하여 체계적으로 재제조를 진행하고 각 부품을 관리할 수 있는 시스템을 고안하였다. 본고에서 진행한 고장모드 영향분석을 바탕으로 노후 압출기의 재제조를 실시하고 그에 따른 실시 방법 및 각 부품별 재제조 결과를 도출할 예정이다. 각 부품의 재제조에 대한 경제성 및 기술의 난이도 등을 추가로 분석하고 공정을 수행한다면 효율성을 극대화할 수 있는 재제조가 가능할 것으로 판단된다.

### 감사

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 20206310100080).

### References

1. Kang, H.-Y., Kim, Y.-C., and Lee, I.-S., "Current Status and Promotional Measures of Domestic and Overseas Remanufacturing Industry," *Resour. Recycl.*, **21**(4), 3-15 (2012).
2. Kang, H.-Y., and Kim, Y.-C., "Current Status and Trend of Korea's Remanufacturing R&D in the Field of Automotive Parts," *Auto Journal*, **35**, 20-24 (2013).
3. Lee, K.-C., Son, W.-H., Park, S.-J., and Mok, H.-S., "Remanufacturing Technology Development of Industrial Hydraulic Cylinder," *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, **27**(6), 539-545 (2018).
4. Ha, J. H., Woo, W.-S., Roh, Y. H., and Lee, C.-M., "A Study on the Development of Standardization Technology for Remanufacturing Process of Used Vertical Machining Center," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, **34**(8), 517-524 (2017).
5. Roh, Y.-H., "A study on the Remanufacturing of Used Machine Tools," *J. Korean Soc. Indu. Convert.*, **23**(3), 403-410 (2020).
6. Kim, S. Y., Yun, W. Y., and Kim, H. G., "Reestablishment of RPN Evaluation Method in FMEA Procedure for Motors in Household Application," *J. Korean Soc. Qual Manag.*, **35**(1), 1-9 (2007).
7. Park, S. J., Son, W. H., Lee, K. C., and Mok, H. S., "Performance Improvement through the Remanufacturing Process Analysis of Industrial Hydraulic Pumps," *J. Korean Soc. Indu. Convert.*, **23**(2), 181-189 (2020).
8. Kang, H.-Y., and Kim, Y.-C., "Sustainable Growth Strategy through the Analysis of Korean Remanufacturing Industry,"



- KIC News*, **20**(5), 1-12 (2017).
9. Lee, H.-C., Lee, K.-S., Oh, K.-H., and Park, S.-W., "The Precise Extrusion-Technical Development to Get Excellent Mechanical-property and Accurate Shape- Dimension," *J. Korean Soc. Railw.*, 311-320 (2009).
  10. Barella, S., Gruttadauria, A., Gerosa, R., Mainetti, G., and Mainetti, T., "Predictive Tools for in-Line Isothermal Extrusion of 6xxx Aluminum Alloys," *Mater. Proc.*, **3**(1), 24-34 (2021).
  11. Yoo, J. M., Ahn, D. G., and Jang, J. S., "Review of FMEA," *J. Appl. Reliab*, **19**(4), 318-333 (2019).
  12. Park, B. N., Joo, H. J., Lee, C. H., and Lim, S. S., "A Study on FMEA for Railway Vehicle," *J. Korean Soc. Railw.*, 162-168 (2009).
  13. Son, W. H., Park, S. J., Jeong, J. Y., Kim, J. H., Bin, H. W., and Mok, H. S., "Analysis of Throttle Body's Remanufacturing Process and RPN," *Resour. Recycl.*, **25**(4), 11-22 (2016).
  14. Abdulah, T. A., Hashim, A., Baharudin, A. B., and Wahab, D. A., "Use of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Method in Remanufacturing Analysis for Engine Block," *Appl. Mech. Mater.*, **465-466**, 1026-1033 (2013).
  15. Yu, J.-H., Song, J.-W., and Kim, C.-D., "Construction Safety Management Using FMEA Technique for Selecting Priority Order," *Korean J. Constr. Eng. Manag.*, **9**(6), 185-193 (2008).