https://doi.org/10.21289/KSIC.2023.26.1.95 KSIC

노후된 알루미늄 압출기의 재제조 기술 개발 및 성능 개선

Development and Performance Improvement of old Aluminum Extruder Remanufacturing Technology

윤상민[1], 정항철[1], 공만식[1*]

Sang-Min Yoon[1], Hang-Chul Jung[1], Man-Seek Kong[1*]

〈Abstract〉

The domestic remanufacturing industry is concentrated in auto parts, so it is necessary to expand into various industries. In the domestic aluminum industry, the extrusion process accounts for more than 40% of the total, but the old and management of the extrusion equipment is not done properly. In particular, the extruder has a structure in which equipment is not replaced until major parts are damaged or worn, so there are problems such as lower process precision, productivity and production efficiency compared to new equipment, and high maintenance costs. In this study, the old extruder was remanufactured for major high-risk parts through Failure Mode and Effect Analysis(FMEA), and the process level and performance of the extruder were evaluated before and after remanufacturing. Compared to the existing extruder, the standard deviation of the remanufacture extruder was reduced by 93.5%, 57.9%, and 70.0%, respectively, in major process control items such as container temperature, billet temperature, and ram speed, keeping performance constant. In addition, it was possible to produce products with complex shapes that could not be produced before due to problems such as dimensional deviation within tolerances. In this study, remanufacturing guidelines were presented by analyzing the effect of failure modes of the old extruder, and the performance improvement of the extruder was confirmed.

Keywords : Remanufacturing, Extrusion Machine, Aluminum, Resource Circulation, Quality Control

1 정회원, 고등기술연구원 신소재공정센터

1* 교신저자, 고등기술연구원 신소재공정센터, E-mail: mskong@iae.re.kr

1 Advanced Materials and Processing Center, Institute for Advanced Engineering(IAE)

1* Advanced Materials and Processing Center, Institute for Advanced Engineering(IAE)

1. 서 론

지속적인 산업발전으로 환경이 점차 파괴되고 있으며, 무분별한 자원의 사용으로 자원이 고갈되고 있다. 환경보전을 위해 각 국가별 환경기준이 강화되고 있으며, 이에 맞춰 환경오염 저감과 재활용 촉진, 자원순환 등의 규제를 강화하고 있다. 재제조 기술은 장기간 사용으로 인해 노후화된 장비 또는 폐기된 제품을 회수하여 비파괴 분해, 세척, 검사, 보수 및 조정, 재조립 등 일련의 과정을 거쳐서 원래의 성능을 유지할 수 있도록 만드는 기술이다. 재제조 산업은 미국, 유럽 등에서는 자동차 산업뿐만 아니라, 항공우주, 전자제품, 산업기계, 의료기기 등 다양한 산업분야에서 활발하게 이루어지고 있지만, 국내는 주로 자동차 부품, 잉크 카트리지, 생활가전제품 등에 대해서만 형성되어있다. 그러나 최근 국내에서도 '환경 친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률'이 시행됨에 따라 다양한 분야의 재제조 산업 필요성도 커지고 있다.[1-4]

국내 알루미늄 산업은 압출분야가 40%이상의 큰 비중을 차지하고 있는 분야로서 알루미늄 산업의 중추적인 역할을 담당하고 있다.[5] 알루미늄 압출을 위해 사용되는 압출기는 빌렛을 가열하여 컨테이너에 삽입 후 고압으로 금형에 밀어 제품을 성형하는 소성가공 설비이다. 압출 설비의 토대를 구성하는 소재는 철강 소재로서 한번 설비를 도입하면 중요 부분의 마모나 파손이 일어나기 전에는 교체하지 않는 산업 구조이다. 국내 알루미늄 압출업계의 상당수가 60~80년대의 노후 장비를 개보수하여 사용하고 있기에 엄격한 치수정밀도를 요구하는 첨단 제품 생산에는 부적합하고, 부품 수급이 원활하지 않아 설비 가동률이 감소하고 있다. 또한 최신 기술이 접목된 신규 설비에 비해 작업효율, 생산성, 공정 정밀도 등이 떨어지며, 이러한 사항들은 해외 업체대비 가격경쟁력이 떨어지게 된다.

고장모드 영향분석(FMEA, Failure Mode and Effect Analysis) 방법은 발생 가능한 잠재 고장모드와 그 영향을 확인하고 예방할 수 있도록 체계적으로 접근하는 톨로서, 요소에 따라 각 문제점들을 나누어 각각의 영향을 분석하는 방식이다. 일반적으로 고장모드 영향분석 방법은 설계 고장모드 영향 분석 기법, 공정 고장모드 영향분석 기법, 시스템 고장모드 영향분석 기법으로 분류되며 다양한 방식으로 응용 및 활용되고 있다[6-8].

이에 본 연구에서는 장기간 사용으로 노후화된 알루미늄 압출기를 대상으로 고장형태 및 영향분석을 통한 재제조를 진행하였으며, 각 부품의 조치 결과를 확인하였다. 또한 노후화된 압출기와 재제조된 압출기의 공정 수준을 비교하여 압출기의 성능을 비교평가 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 적용한 압출기는 7인치 알루미늄 빌렛을 압출하는 설비로, 20년 이상 사용된 노후 압출기이다. 해당 설비로 제품 생산 시 컨테이너 온도 및 빌렛 온도 등이 적절히 조절이 되지 않으며, 램 속도가 일정치 않아 완제품의 치수 정밀도가 떨어지는 상황이다. 해당 압출기의 체계적인 재제조를 위해 재제조 전 과정에 있어 공정을 분석하고 flow-map을 설정하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

노후 압출기는 장기간 운전에 따라 정밀도 및 압출 성능이 저하되어 주요 부품들의 열화 또는 변형이 발생되어 있을 확률이 높다. 노후된 압출기의 일부 부품은 교체가 불가하거나 재제조에 필요한 도면이 소실된 경우가 많은 문제점이 있다. 이

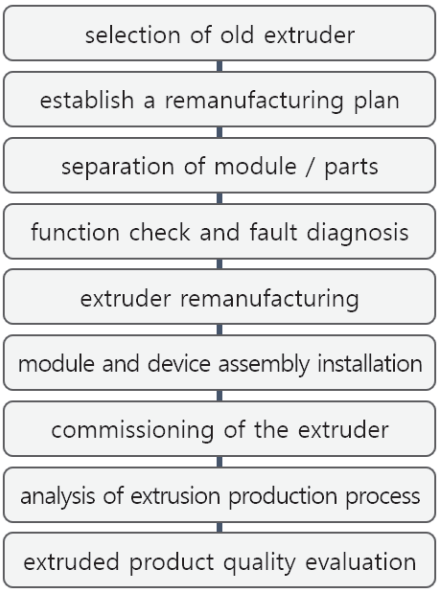


Fig. 1 Production process and remanufacturing cycle

러한 문제점을 극복하고자 재제조 flow-map을 설정하였으며, 이를 통해 재제조 공정이 획일화 및 전문화 될 수 있도록 하는 시스템을 적용하였다.

선행 연구를 통해 노후 압출기의 공정 및 제품에 대한 평가를 진행하여 압출기의 현 수준을 분석하였으며, 재제조 공정의 계획을 수립할 수 있는 flow-map 작업을 통해 전 프로세스에 대한 일정 및 필요한 기술을 수립하였다.[8] 이후 직접적인 노후 압출기의 모듈/부품별 분리 작업을 통해 고장 상태를 진단하고 이에 대한 부품별 재제조 여부를 선정하는 고장모드 영향분석을 거쳐 재제조 기술을 적용하였다.

고장모드 영향분석의 위험우선 순위를 통해 선정된 주요 부품은 재제조를 진행한 다음, 부품별 교체작업 및 보수 시공 작업을 수행하여 분해된 모듈 및 장치를 조립하고 재제조 압출기의 시운전을 통해 동작 여부 및 재현성 평가를 진행하였다. 압출기의 안정화 이후 통계적 공정 관리 및 제조 공정 관리서 등을 통해 압출생산 공정 분석을 수행하였으며, 압출 전과 후의 공정을 비교분석하여 압출기 및 제품에 대한 평가와 함께 유지 관리를 진행하였다.

재제조 전후 압출기의 공정 분석을 위해 미니텝(Minitab Statistical Software 20)통계 프로그램을 사용하여 정규성 검증을 진행하였다. 압출 공정상의 주요 인자가 정규분포를 따르는지 여부를 우선적으로 확인하였으며, Anderson-Darling 정규성 검정을 통해 재제조 전후의 압출기 공정 온도 및 압력 등의 인자에 대한 95% 신뢰구간에서 정규성 여부를 검증하였다.

노후 압출기의 해체 전과 재제조 후 압출기의 컨테이너 온도, 빌렛 온도, 램(Ram) 속도 공정 데이터를 비교 분석하였으며, 각 공정 데이터 항목에 대해 기술통계량 분석을 통해 히스토그램 및 공정 관리 분포를 바탕으로 표준편차(standard deviation)등의 주요 공정 관리 데이터에 대해 분석하였고, 재제조 후 압출기로 생산된 제품의 치수 정보를 분석하였다.

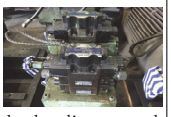
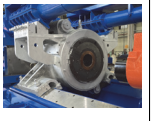
3. 실험 결과

3.1 노후 압출기의 재제조

노후 압출기 부품의 재제조를 실시하는 목적은 압출기의 압출 성능 향상, 에너지 저감, 유지보수의 용이성을 통해 작업 환경 개선, 생산성 향상, 품질 안정성을 확보하는데 있으며, 이를 고려한 주요 부품들의 재제조를 수행하였다. Table 1에는 선행연구를 통해 도출된 위험우선순위 상위 7개 부품의 고장모드 영향분석 및 재제조 결과를 나타냈다.

선행 연구를 통해 압출기의 재제조를 위한 전문가들의 의견 및 노후 압출기의 유지보수에 따른

Table 1. FMEA results for extruder remanufacturing

Parts/Functions	Failure/ damage mode	Failure/damage severity	Severity	Occur rence	Resource circulation utilization	Risk priority	Remanufacturing methods and technologies	Main parts after remanufacturing
logic block oil flow control device for hydraulics	Fixing Wear, Corrosion	• Fixing: Stuck due to poor operation due to aging • Wear: wear from use • Corrosion: Corrosion due to oil oxidation	8	8	8	**512**	• Methods: Recycling Resources • Technology: replacement (Full replace -ment work due to aging of parts)	
solenoid valve  hydraulic control valve	Opening and closing failure	• Opening and closing failure: electricity paragraph	8	7	8	**448**		
gauge check hydraulic condition	Malfunction	• Malfunction: Equipment damage due to gauge malfunction	8	9	8	**576**		
sensor extruder control	Contact failure:	• Contact failure: abnormal contacts and signals due to aging	8	7	8	**448**		
sleeve billet slot	Deformation, Crack	• Deformation: Reusable after polishing • Crack: Reuse after structural change	8	9	8	**576**		
stem billet pressing apparatus	Crack Deformation	• Crack: wear • Deformation: External Deformation	8	9	8	**576**		
die slide cylinder mold input and transfer	Malfunction	• Malfunction: wear of moving parts and change of structure	8	7	8	**448**		

현장 데이터를 바탕으로 고장모드 영향분석을 진행하였으며, 이를 근거로 우선순위를 산정하였다. 재제조 고장모드 영향분석의 각 점수 항목은 신품 대비 불량의 심각도, 고장 파손이 기능에 미치는 심각 정도, 경고나 예측이 가능한지 여부 등에 대한 척도로 지정하여 적용하였다.

압출기의 구성 요소들의 부품 및 모듈별로 점수를 산정하여 정량분석을 진행한 다음 심각도, 발생도 및 자원순환 활용도에 따라 점수를 평가하여 재제조 위험 우선 순위(RPN, Risk Priority Number)를 결정하였다. 선행연구를 통해 도출된 위험우선 순위는 12~576 까지 넓은 분포를 보이고 있으며, 위험우선 순위 100점을 기준으로 노후 압출기 부품의 재제조를 수행하였다.[8-10]

로직 블록과 솔레노이브 밸브는 오일의 흐름을 제어하여 유압을 형성하는 역할을 하며, 압출기의 핵심 기능인 압출 성능을 제어하는데 주요한 부품이다. 본 유압 형성 모듈은 압출기의 성능 향상을 목적으로 기존 노후 압출기 대비 압출 압력 1.5배 이상이 구현 가능하도록 적용되었다. 또한 노후 압출기 대비 향상된 압출 유압으로 인해 회로의 설계 등의 요소가 추가로 수정되었다.

압출 제품의 정밀한 유압 제어를 위해서 로직 블록과 연결되어 있는 게이지와 센서 부품의 업그레이드가 필수적이며 이를 위한 유압 제어부에 적용되는 측정 및 제어 파트도 같이 교체가 되어야 한다. 또한 과거의 아날로그 기반 측정 방식에서 디지털을 기반으로 하는 정밀 제어부의 적용에 따라 필수적으로 교체가 진행되어야할 부품으로 파악됐다.

이러한 압출 유압 제어부 및 측정부의 재제조를 통한 압출 장비는 기존 대비 생산성 및 압출 제품의 정밀도가 향상될 수 있으며, 높은 압력의 구현은 복잡 형상의 난 성형 제품의 압출에도 유리한 측면을 가지고 있어 제품의 다양성도 기대할 수 있다.

압출기 구동부의 핵심 부품인 슬리브, Stem 등은 빌렛 및 압출 제품이 직접 슬라이딩 되어 마찰하에 구동되는 곳으로 압출 제품의 치수 정밀도 및 압출 속도에 영향을 주는 주요 부품이다. 이러한 구동부 부품은 구조상 고온과 고압의 반복적인 하중과 함께 많은 마찰이 발생되므로 사용 빈도에 따라 정기적으로 교체해야하는 소모성 부품으로 피스톤 및 컨테이너 등과 같이 내마모성, 내식성 및 내구성을 갖는 소재를 사용한다. 구동부의 컨테이너 부품과 함께 슬리브 및 Stem 모듈은 리페어를 통해 정기적으로 유지 보수가 필요한 부품으로 6~10개월에 한 번씩 교체하고 있기에 본 재제조에서도 Repair 기술을 적용 및 교체하였다.

본 연구의 체계화된 재제조를 통해 저비용으로 전체 부품의 약 80%(무게 기준) 수준의 부품에 재제조 기술을 적용하여 고효율의 압출기로 재제조 하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 기

Fig. 2 Before(a) and after(b) extruder remanufacturing

술적인 측면에서는 압출기의 용량을 1,280톤에서 1,800톤으로 약 1.4배 이상 향상할 수 있었으며, 생산적인 측면에서는 압출 속도를 200 m/sec에서 220 m/sec로 증가하였고, 작업시간은 280초에서 180초로 단축되었다. 그 외 작업 환경 개선, 생산성 향상, 품질 안정성을 확보하였고 생산 현장에서 문제가 됐던 유지보수를 위한 비가동시간의 80% 이상을 개선함과 동시에 복잡 형상으로 제품 정밀도가 요구되는 압출제품 시장에 대응 가능한 우수한 압출기를 재제조 할 수 있었다.

3.2 재제조 압출기 성능 평가

Fig. 3은 노후 압출기의 재제조 전 주요 공정수준을 분석한 결과이다. 노후 압출기의 컨테이너 온도를 분석한 결과, 평균온도는 445.7℃ 이며, 평균의 95% 신뢰구간은 444.5~447.0℃로서 비교적 양호한 신뢰수준을 보이나, 표준편차는 7.78로 넓은 분포를 가지는 것으로 분석되었다. 이는 작업환경 및 컨테이너의 노후화로 인해 목표 온도 수준은 유지하나, 정밀한 온도 조절이 되지 않는 것으로 확인된다. 빌렛 온도 및 램 속도의 공정 분석 결과, 컨테이너 온도와 유사한 결과를 나타내며, 두 공정 모두 넓은 분포를 가지는 것으로 분석된다. 노후 압출기의 주요 공정 수준 분석 결과, 모든 결과에서 P-value가 0.05 이하로 정규분포를 벗어나며, 넓은 분포를 가진 것으로 보아 압출 공정이 안정되지 않음을 확인 할 수 있었다.

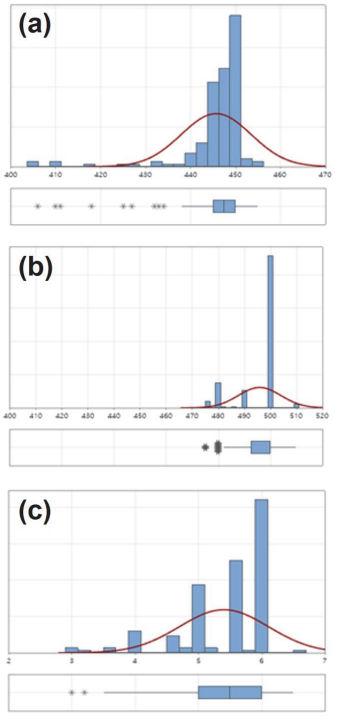


Fig. 3 Main process level analysis result of old extruder (a) temperature of container, (b) temperature of billet, (c) ram speed

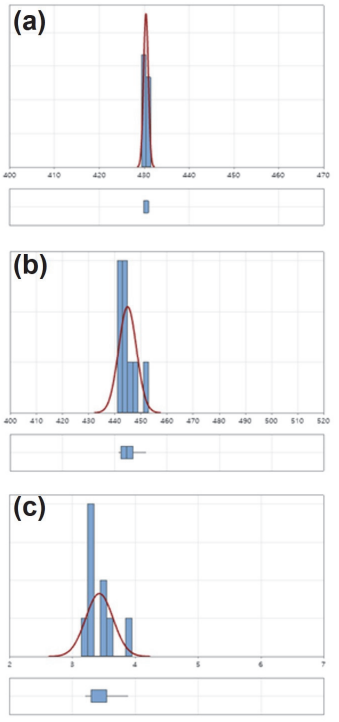


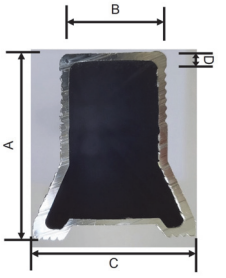
Fig. 4 Main process level analysis result of remanufactured extruder (a) temperature of container, (b) temperature of billet, (c) ram speed

재제조가 완료된 압출기를 이용해 시제품 생산 시 주요 공정 수준 분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 재제조 후 제품 생산 시 컨테이너 온도 평균은 440.4℃이며 평균의 95% 신뢰구간은 440.0~430.8℃로 우수한 신뢰수준을 보이고 표준편차는 0.05로 매우 좁은 분포를 나타냈다. 컨테이너 온도 공정 규격인 440℃ 기준으로 매우 안정적인 온도 조절이 가능한데, 이는 재제조 시 컨테이너의 열에너지 전달 방식 변경에 따른 것에 기인한다. 재제조 전 압출기의 경우 컨테이너 외부 열원에서 열이 전달되는 방식이였으나, 재제조를 통해 컨테이너 내부에서 직접적으로 열이 전달되는 구조로 변경되면서 우수한 온도 조절 성능을 나타내었다. 빌렛 온도 또한 컨테이너의 열에너지 전달 방식 변경에 따라 기존 보다 높은 온도가 일정하게 유지되며, 좁은 분포를 나타내었다. 또한 로직 블록, 솔레노이드 밸브, 게이지와 센서 등의 업그레이드를 통해 램 속도 또한 양호한 수준을 유지하는 결과를 확인하였다.

Table 2는 노후 압출기와 재제조 압출기의 주요 공정 수준의 표준편차를 비교한 결과이다. 컨테이너 온도와 빌렛 온도의 공정 규격은 각각 440℃±20, 445℃±20이며, 노후 압출기의 공정별 표준편차는 7.78, 8.15로 확인되었다. 재제조 후 컨테이너 온도 및 빌렛 온도의 표준편차는 0.5, 3.43으로 기존 노후 압출기보다 각각 93.5%, 57.9%씩 감소하는 성능을 나타내었다. 이는 앞서 기술한바, 컨테이너 온도 전달 방식 변경으로 인해 세밀한 온도 조절 및 유지가 가능한 것으로 판단되며, 이러한 온도의 안정화로 인해 압출재의 치수 정밀도, 균일도 등이 향상 될 것으로 보인다. 램 속도의 표준편차 또한 재제조 후 0.70에서 0.21로 70%가 감소하였으며, 이는 로직 블록 및 솔레노이드 밸브와 같은 유압 시스템의 디지털화 및 재제조에 따른 안정화로 판단된다.

Table 3은 재제조 압출기로 생산된 시제품과 제품의 스펙, 치수 분석 결과이다. 시제품은 특수 공정제품에 들어가는 부품으로서, 정밀한 치수가 요구된다. 기존 노후화 압출기에서는 공차를 맞출 수 없어 생산이 불가한 제품이였으나, 재제조 압

Table 3. Specifications and dimensions of prototypes and products produced by the remanufacturing extruder



	A	B	C	D
Spec	50.0	28.0	44.0	2.1
Tolerance	±0.3	±0.3	±0.3	±0.2
1st	50.18	28.25	44.10	2.02
2nd	50.12	27.92	44.23	1.93
3th	50.23	28.25	44.13	1.90
4th	50.18	28.27	44.06	1.94
5th	50.11	27.97	44.12	1.90

Table 2. Comparison of process level between old extruder and remanufactured extruder

	Spec(℃)	Tolerance	Old extruder	Remanufactured extruder
container temperature	440	±20	7.78	0.5
billet temperature	445	±20	8.15	3.43
ram speed	-		0.70	0.21

출기에서는 생산이 가능하였다. 이는 재제조 압출기의 유압 형성부, 제어부의 성능향상과 컨테이너의 열전달 방식 등 복합적인 요소가 설비의 성능 향상에 영향을 미친 것으로 판단된다. 시제품의 가로, 세로, 두께 방향으로 각 부위별 총 5개 제품의 치수를 분석하였으며, 치수 공차는 KS D6759:2011의 치수 허용차를 적용하였다. 제품의 치수는 모든 부위에서 설계 치수에 근접하였으며, 제품 공차를 만족하는 결과를 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

노후 압출기의 체계적인 재제조를 위해 기존 연구에서 진행 한 고장모드 영향분석 결과를 통해 도출된 위험우선순위 상위 7개 부품과 압출기 전반적인 재제조를 수행하였고, 재제조 전후 압출기의 공정분석과 시제품 생산을 통한 성능 분석을 진행하였다.

기존 연구를 통해 선정된 압출기의 핵심 부품인 유압부 및 이동부의 슬리브와 실린더 파트 등의 재제조가 이루어졌으며, 각 파트별 유압 성능 향상, 디지털화 적용을 통한 정밀제어 성능 향상, 슬리브 및 스템 모듈의 리페어 등을 진행하여 압출기 전반적인 성능 향상을 포함한 재제조를 수행하였다.

재제조 된 압출기는 주요 공정 조건인 컨테이너 온도, 빌렛 온도, 램 속도가 모두 노후 압출기보다 우수한 성능을 나타내었다. 공정분석 결과, 컨테이너 온도의 표준편차는 약 93.5%, 빌렛 온도의 표준편차는 약 57.9%, 램 속도의 표준편차는 약 70% 감소하여 일정한 수준의 성능을 유지하였다. 또한 재제조 설비를 활용하여 시제품 생산 시 노후 압출기에서는 생산이 불가한 복잡한 형상의 제품이 생산 가능하며, 치수 제어가 우수한 결과를 나타내었다.

본 연구의 결과를 통해 노후 압출기 재제조를 위한 고장모드 영향분석 및 재제조 공정 진행 방안을 제시함으로써 효율적이고 체계적인 재제조를 할 수 있는 가이드 라인으로 활용될 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

[1] Seo, Y. K., A Study on the Estimation of Durability Life Affected by Processing Dimension in Remanufacturing of Birfield Joint, A Thesis for a Doctorate, Chungnam National University, Republic of Korea, (2016).

[2] Park, B. G., FMEA Case Study for Remanufacturing ATC Performance Assurance, A Thesis for a Master, Changwon National University, Republic of Korea, (2017).

[3] Ha, J. H., Woo, Y. S., Roh, Y. H., Lee, C. M., 2017, A Study on the Development of Standardization Technology for Remanufacturing Process of Used Vertical Machining Center, J. Korean Soc. Precis. Eng., 34, 8 pp.517-524, (2017).

[4] Son, W. H., Park, S. J., Jeong, J. Y., Kim, J. H., Bin, H. W., Mok, H. S., 2016, Analysis of Throttle Body's Remanufacturing Process and RPN,J. of Korean Inst. of Resource Recycling, 25, 4 pp.11-22, (2016).

[5] Lee, H. C., Lee, K. S., and Park S. W., The Precise Extrusion–Technical Development to Get Excellent Mechanical-propertyand Accurate Shape- Dimension, The Korean Society for

Railway Seminar, pp.311-320, (2009).
[6] Yoo, J. M., Ahn, D. G., and Jang, J. S., Review of FMEA, Journal of Applied Reliability, 19, 4, 318-333, (2019).
[7] Park, B. N., Joo, H. J., Lee, C. H., and Lim, S. S., A Studyon FMEA for Railway Vehicle, The Korean Society forRailway collection of dissertations, pp 162-168, (2009).
[8] Jung, H. C., Yun, S. M., Oh, S. H., Baeg, C. H., Kong, M. S., Failure Mode and Effect Analysis for Remanufacturing of the Old Extrusion Press, Clean Technol, 27, 4, 297-305, (2021).
[9] Abdulah, T. A., Hashim, Akmal., Bakar, Baharudin., and Wahab, D. A., Use of Failure Mode and Effects Analysis(FMEA) Method in Remanufacturing Analysis for Engine Block, Appl. Mech. Mater., 465-466, pp 1026-1033, (2014).
[10] Yu, J. H., Song, J. W., and Kim, C. D., Construction SafetyManagement Using FMEA Technique for Selecting PriorityOrder, Korean J. Constr. Eng. Manag., 9, 6, 185-193, (2008).

(접수: 2022.12.01. 수정: 2022.12.23. 게재확정: 2022.12.30.)