

ELV에서 재제조 부품을 회수하기 위한 해체 우선순위

Disassembly Priority for Recovering Remanufacturable Parts(Core) in ELV

손우현¹, 박상진², 목학수^{3*}

Woo Hyun Son¹, Sang Jin Park², Hak Soo Mok^{3*}

〈Abstract〉

Today, due to the development of the industrial society, the need for sustainable research and development for energy depletion and environmental protection is increasing. Among sustainable research, remanufacturing is an ideal way to meet environmental and economic aspects. In this paper, we investigated the End-of-Life Vehicle(ELV) in order to find the recovery method of the core which is the preceding stage of remanufacturing. The number of End-of-Life Vehicle is increasing year by year, but the core recovery rate from ELV is still low. Therefore, a methodology to determine the disassembly priority of each part is proposed to increase the core recovery rate. Based on the analysis Table through the disassembly process, the decision rule was selected and the weighted score evaluation Table was completed to complete the disassembly priority system. Finally, evaluation was made on gasoline vehicles to determine priorities.

Keywords : Remanufacturing, End-of-Life Vehicle(ELV), Disassembly, Priority

1 주저자, 부산대학교 산업공학과 박사수료
2 부산대학교 산업공학과 박사수료
3* 교신저자, 부산대학교 산업공학과 교수
E-mail : hsmok@pusan.ac.kr

1 Main Author, Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University, Ph.D. Candidate
2 Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University, Ph.D. Candidate
3* Corresponding Author, Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University, Professor,

1. 서론

에너지 고갈 및 환경보호를 위한 지속 가능한 연구 및 개발의 필요성이 증가하고 있다. 지속 가능한 연구에는 재활용, 재사용 및 재제조의 연구 분야가 있으며, 그중 재제조는 앞선 문제들을 해결하기 위한 이상적인 방법이다[1].

재제조란 오래 사용된 제품이나 고장난 제품을 대상으로 해체, 세척 등의 재제조 공정을 거쳐 신제품과 동일한 성능을 갖도록 제품을 재탄생시키는 제조방식이다[2]. 적용 가능한 분야로는 자동차부품, 공작기계, 전자제품 및 철도산업 등 다양한 분야에 적용이 가능하다. 이러한 재제조를 진행하기 위해서는 우선 재제조 대상이 되는 부품(이하 코어)의 회수가 우선적으로 해결되어야 한다.

과거에는 자동차의 생산력 향상과 제조비용의 감소에 관심이 많았지만, 현재는 환경적인 문제와 맞물려 재제조 중요성이 증가하고 있다. 국내에서는 해마다 80만대 이상의 폐자동차가 발생하고 있으며[3], 이러한 폐자동차로부터 코어를 회수하기 위해서 보다 체계적인 해체 공정이 필요하다.

ELV(이하 폐자동차)에서 발생하는 코어를 단순히 고철로 여기지 않고 재제조 대상으로 회수하여 판매한다면 1차적으로 고철을 녹이는 재활용의 과정을 거치지 않기에 환경적인 부담을 경감시킬 수 있으며[4], 2차적으로는 폐차장의 코어판매를 통한 수익의 증가 및 재제조 기업의 코어 회수율을 높일 수 있다. 대부분의 재제조 기업은 1대1 교환방식을 통해 코어를 수집하고 있으며, 회수체계 또한 명확하지 않기에 물량을 확보하는데 어려움이 많다. 폐차장을 통한 코어의 회수율은 15%도 채 되지 않고 있는 실정이다[5]. 따라서 재제조를 위한 코어의 회수는 폐차장으로써는 단순 고철이 아닌 코어의 판매를 통한 수익의 증가를 가져오고, 재제조 기업은 보다 손쉽게 코어를 회수할 수 있

는 기회를 가지게 될 것으로 보인다.

일반적으로 자동차 부품 조립 및 해체, 재활용에 관련한 연구는 다수 진행되었다. 하지만 사용 후 폐자동차의 재제조를 위한 부품 회수에 관한 해체시스템 연구는 미진한 상황이다. 폐자동차와 관련된 그동안의 연구를 살펴보면 LCA기법을 활용한 국내 폐자동차 처리시스템에 대한 환경성 평가[6], ELV의 리사이클링 cost-benefit을 위한 분해 순서에 대한 개발 연구 등이 진행되었다[7]. 또한, 리사이클링 효율을 위한 해체 공정 및 폐자동차의 해체기술에 관한 연구가 대부분이었다[8,9]. 이렇듯 폐자동차와 관련된 연구내용은 물질 재활용을 위한 해체 및 분석에 주로 집중되어 있었다.

따라서 본 논문에서는 폐자동차를 통하여 단순 물질 재활용을 위한 해체에서 벗어나, 재제조를 위한 코어의 원활한 회수를 위하여 폐자동차로부터 재제조 대상 부품의 해체 우선순위에 대하여 논의하고 방법을 찾아보려 한다.

2. 폐차장에서의 코어 회수

현재 폐차장에서 폐차 과정을 살펴보면 코어를 회수하기 위한 명확한 작업기준이 없다. 또한, 전문적인 도구를 사용하기보다는 일반적인 도구를 사용하여 해체를 진행하고 있기에 코어에 손상을 주는 경우가 많다. 이러한 코어의 손상을 최소화하기 위한 해체 절차가 반드시 필요하다. 국내에서의 폐자동차 처리시 문제점을 살펴보면 코어의 품질을 생각하지 않는 무분별한 해체 공정 진행, 비전문적인 도구의 사용과 이로 인한 작업자의 안전문제 등을 들 수 있다. 코어를 회수하기 위하여 우선 코어의 형상과 위치 분석, 방해요소를 파악하고 해체 우선순위를 결정하기 위한 요소를 선정하고 평가를 진행하여야 한다.

폐자동차의 해체 공정은 Fig.1에서와 같이 배터리 회수를 시작으로 마지막 단계인 차체의 프레스 공정으로 진행된다[10]. 대부분의 회수 가능한 코어들은 차량의 외부, 엔진룸 및 하부에서 2차 해체 공정을 통해 회수가 가능하다.

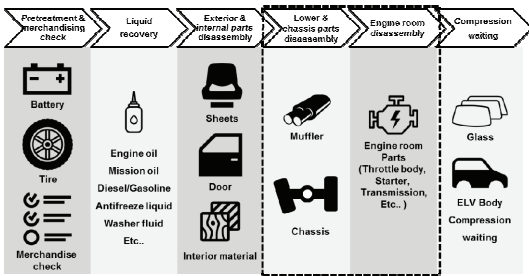


Fig. 1 ELV disassembly process sequence

재제조 활성화를 위해 현재 국내에서는 재제조 품질인증기준을 시행 중이며, 2018년 1월 기준 총 56가지의 제품을 고시하였다. 그 중 자동차 부품은 모든 연료방식 (가솔린, 디젤, LPG)를 포함하여 총 37가지가 시행 중이다[11]. 본 논문에서는 2016년 개정고시안을 기준으로 연구를 진행하였으며, 자동차부품 재제조 대상은 총 26가지이다. Table.1 과 같이 재제조 가능한 대부분의 부

Table 1. Location analysis of remanufacturable parts(2016)

Location	Products
Back side	Combination lamp
Front (Engineroom)	Alternator, Start motor, Diesel injector, Air compressor, Clutch cover, Turbocharger, Automatic transmission, Mechanical fuel injection pump, Common rail pump, Fan clutch, LPG vaporizer, LPG mixer, Cylinder head, Torque rod, Cooling fan, Gasoline engine, Diesel Engine, Common rail diesel fuel filters, Throttle body
Bottom	Brake caliper, Constant velocity joint, Shock absorber, Lower control arm, Power steering pump, Steering gear box

품은 차량의 앞부분인 엔진룸에 위치하고 있고, 하부에는 브레이크 캘리퍼, 축 업소버 등이 있으며, 차량 외부에는 콤비네이션 램프가 위치하고 있다.

3. 방법론

폐자동차에서 코어 회수를 위한 우선순위를 결정하기 위하여 폐자동차에 대한 해체 공정 분석을 진행하고 분석표를 바탕으로 우선순위 결정원칙을 정의한다. 정의된 결정원칙을 이원비교를 통하여 가중치를 산정하고 각 부품 회수공정에서의 평가점수를 통하여 최종적으로 해체 우선순위를 결정한다.

3.1 코어 회수를 위한 해체 공정

폐자동차에서 재제조 될 코어를 회수하려면 외 부 부품, 엔진룸 및 하부 부품의 해체 과정이 필요하다. 우선순위 결정을 위한 기본데이터로 활용하기 위하여 전체적인 해체 공정을 외부, 엔진룸, 하부로 구분하여 해체 공정을 진행하고 각 공정별 분석을 위하여 Fig.2 와 같이 공정분석표를 이용하여 공정명, 사진, 작업도구, 시간 및 특이사항 등을 체크하였다. 해체 공정을 통하여 부품의 위치를 육안으로 확인하고 부품 간의 간섭 및 필요 공구, 시간 및 특이사항을 통하여 우선순위 결정원칙을 위한 기본 자료로 활용하였다.

Process order	Process name	Before disassembly	Characteristics of disassembled parts			Characteristics of disassembly work			
			Part name	Part photo	Remark	Tool (set)	Number of tool/minut amount	Time (s)	Characteristics
1	Head cutting		-		-	Cutter	-	0-20	Need to remove obstacles to operate parts
2	Shock absorber Ball disassembly		Ball, Washer		-	Socket wrench 12mm, 17mm, Hexamer	0	5-20	Easy to grasp the position of the fastener's 90°/out
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	Constant velocity joint - Brake caliper disassembly		Constant velocity joint, Brake caliper, Nut		0	Socket wrench 17mm, 25mm, Hexamer	3	0-20	Washer-very troublesome Requires a jig for upper entry
Total	-	-	-	-	-	-	-	40'52	-

Fig. 2 Analysis Table of ELV disassembly process

3.2 우선순위 결정원칙

해체 공정분석표를 통하여 각 부품을 회수하기 위한 요소와 기준을 정의하였다. 요소 및 기준 설정을 위해 부품의 조립 및 분리 용이성 및[12,13] 재제조 공정에서의 작업 안전에[14] 관한 연구내용을 참고하였으며, 15년 이상의 해체 경력 작업자 5인과 재제조 관련 연구자 5인(교수 및 대학원생)의 브레인스토밍을 실시하고 해체 우선순위에 대한 요소 및 기준을 Table.2 와 같이 정의하였다. 전체적인 해체 공정을 위한 공정 분석, 부품 회수를 위한 작업자의 작업분석, 부품의 가치에 따른 부품분석 및 방해요소의 정도를 확인하기 위한 간접분석 등 총 4개의 그룹으로 정의하였다. 각 요소분석에 기준을 설정하였으며, 공정 분석의 경우 해당 부품에 대한 가시성, 전체 공정순서 및 작업자의 접근성에 대한 세부 기준으로 정의하였다. 작업분석에서는 공구 및 특수공구의 사용 여부, 그리고 작업자의 안전에 관련한 위험성에 대하여 정의하였다. 또한, 부품분석에서는 부품의 가치, 수요 및 재제조 부품비율에 따른 기준을 수립하고 마지막으로 간접분석에서는 해체 진행을 위한 간접 정도를 확인하기 위한 기준을 수립하였다.

각 요소에 따른 기준들의 가중치는 이원비교 방법으로 원칙들간 1: 1 비교를 위하여 AHP (Analytic Hierachy Process) 기법을 사용하였다[15]. T.I Saaty에 의해 개발된 AHP는 정성적인 측면에서의 평가요소를 정량화하는 과정 등이 포함된 평가방법으로 개발되어 사용되고 있다. 이원비교 또한 앞선 결정 기준에 투입된 폐자동차 해체 작업자 및 재제조 관련 연구자를 대상으로 가중치 산정을 수행했다.

Table.3은 기준들 간의 이원비교의 결과값이며 척도는 1에서 5까지의 비율척도를 부여하였다. 기준을 통한 가중치 결과를 살펴보면 부품 및 패스너

Table 2. Decision criteria for disassembly priority

Element	Criteria	Detailed explanation
Process Analysis	Visibility	Is it easy to check by the external apperance of the part?
	Whole process sequence	Which process in the entire process sequence corresponds? (Pretreatment-liquid recovery-collect external parts- collect lower parts-Interior parts-compression waiting)
	Accessibility	Are workers and tools easily accessible to the target?
Job Analysis	Tool necessity	Is it possible to disassemble without tools?
	Need for special tools	Is it possible to disassemble without special tools?
	Risks	Are there safety and environmental threats to the worker?
Component Analysis	Value	Is it valuable when considering the scarcity of parts and the selling price?
	Demand	Is it high demand part of the customer?
	Remanufacturable parts ratio	How many remanufacturable parts are included? (ex. Prioritize lower parts and engine room)
Interference Analysis	Degree of interference	How much is the degree of interference from parts and elements?

에 대한 접근성(0.231)이 가장 높게 나타났으며, 작업자 안전의 위험도(0.196)가 두 번째 순위의 가중치값을 가지는 것으로 확인되었다. 해체와 관련된 접근성의 가중치가 높게 반영되었으며, 그에 반해 가치(0.032)와 수요(0.032)는 비교적 낮은 가중치로 책정되었다. 일관성 지수(CI : consistency index)는 0.0334이며, 일관성 비율(CR : consistency ratio)는 0.0224로 0.1이하의 값을 보이면서 가중치 결과값의 일관성을 보여주고 있다.

Table 3. Weight for disassembly priority criteria

Criteria	Visibility	Whole process sequence	Accessibility	Tool necessity	Need for special tools	Risks	Value	Demand	Remanufactured parts ratio	Degree of interference	Weight (score/total)
Visibility	1	1/2	1/3	3	3	1/3	4	4	3	1/2	0.102
Whole process sequence		1	1/2	2	2	1/2	3	3	2	1/2	0.105
Accessibility			1	4	4	2	5	5	5	2	0.231
Tool necessity				1	1	1/5	2	2	1	1/4	0.047
Need for special tools					1	1/5	2	2	1	1/4	0.047
Risks						1	5	5	5	1	0.196
Value							1	1	1	1/4	0.032
Demand								1	1	1/4	0.032
Remanufacturable parts ratio									1	1/4	0.039
Degree of interference										1	0.169
Consistency Index(CI) : 0.0334 / Consistency Ratio(CR) : 0.0224											

3.3 해체 우선순위 가중점수 평가

$$\text{Total score} = \sum(\text{weight} * \text{score}) \quad (1)$$

Table.4는 각 단위공정에서 사용될 평가 테이블이며 앞서 선정된 가중치를 실제 해체 공정에 적용하여 해체 우선순위 가중점수 평가표를 작성하였다. 가중점수(weighted score)는 3.2의 우선순위 결정원칙에서 정의된 가중치(weight)와 현장 작업자가 각 해당 부품 회수공정의 기준에 부여한 점수(score)를 곱하여 식 (1)과 같이 계산되었다. 작업자의 부여점수는 최저 1점에서 최고 5점으로 설정하였으며, 각 해당 공정의 기준에 부여한 점수(score)를 가중치(weight)와 곱하여 가중점수(weighted score)를 산정하였다. 전체 원칙별 가중점수를 합산하여 최종 스코어를 산출하였다.

Table 4. Weighted score evaluation for disassembly priority

Disassembly Process Name				
Element	Criteria	Weight	Score	Weighted score
Process Analysis	Visibility	0.102		
	Whole process sequence	0.105		
	Accessibility	0.231		
Job Analysis	Tool necessity	0.047		
	Need for special tools	0.047		
	Risks	0.196		
Component Analysis	Value	0.032		
	Demand	0.032		
	Remanufacturable parts ratio	0.039		
Interference Analysis	Degree of interference	0.169		
Total score				

평가표를 통하여 최종 스코어가 높은 부품에 대하여 순위를 정하였고, 만약 동점이 발생한다면 평가표에서 앞서 선정된 가중치값 중 높은 순서에 따라 순위를 적용하도록 하였다.

4. Result & Case study

앞서 결정된 해체 우선순위 가중점수 평가표를 실제 폐자동차 해체 공정에 적용하였다. S사의 가솔린 차량을 대상으로 Table.4의 평가 테이블을 이용하여 해당 부품 해체 공정에 적용하였고, 그 결과는 Fig.3과 같다. 평가테이블을 통해 총 15종의 재제조 가능 부품을 평가하였다. 부품 해체 공정별로 콤비네이션 램프의 해체 공정 분석에서는 총 3.789의 점수를 획득하였고, 브레이크 캘리퍼는 1.926의 점수를 획득하였다.



Shock absorber disassembly process				
Cooling fan disassembly process				
Combination Lamp disassembly process				
Picture		Special note		
Before disassembly	After disassembly	<ul style="list-style-type: none"> Very good visibility and accessibility First disassemble module among remanufacturing parts 		
				
Element	Criteria	Weight	Score	Weighted score
Process analysis	Visibility	0.102	5	0.51
	Whole process sequence	0.105	5	0.525
	Accessibility	0.231	5	1.155
Job analysis	Tool necessity	0.047	4	0.188
	Need for special tools	0.047	5	0.235
	Risks	0.196	1	0.196
Component analysis	Value	0.032	2	0.064
	Demand	0.032	1	0.032
	Remanufactured part ratio	0.039	1	0.039
Interference analysis	Degree of Interference	0.169	5	0.845
Total score				3.789

Fig. 3 Evaluation Table for each part

Table 5. Table for disassembly priority decision

Location	Product	Weighted score	Priority
External	Combination lamp	3.789	1
Engine room	Cooling fan	3.287	1
	Throttle body	3.247	2
	Torque rod	3.183	3
	Alternator	3.080	4
	Air compressor	3.080	5
	Starter motor	2.712	6
	Cylinder head	2.248	7
	Automatic transmission	2.240	8
Bottom	Shock absorber	3.166	1
	Steering gear box	2.670	2
	Lower control arm	2.568	3
	Constant velocity joint	2.425	4
	Power steering pump	2.197	5
	Brake caliper	1.926	6

각 부품에 대한 평가를 통하여 최종적으로 Table.5와 같이 해체 우선순위 결정 테이블이 완성되었다. 우선순위는 차량 외부, 엔진룸 및 하부 부품으로 나누어서 순위를 선정하였으며, 이는 앞서 다른 해체 공정 중 코어를 회수하기 위한 2차 해체 공정을 진행하기 위하여 순위를 위치별로 각각 선정하였다. 콤비네이션 램프의 경우는 차량 외부에 유일하게 위치한 재제조 가능 부품이며, 접근성과 간섭 정도가 타 부품에 비해 높은 점수를 차지하였다. 엔진룸 부품에서의 순위를 살펴보면 냉각팬이 가장 높은 순위를 보였으며, 하부측에서는 속 업소버가 높은 우선순위를 보였다. 자동 변속기 및 브레이크 캘리퍼의 경우는 상위의 부품에 비해 낮은 가중점수인 2.240과 1.926을 받아 후순위에 랭크되었다.

5. 결론

재제조를 진행하기 위해서는 코어의 회수가 필수적이며, 현재 폐차장으로부터의 코어 회수율(15%)이 상당히 저조하기 때문에 이를 활성화하기 위한 방법에 대하여 연구를 진행하였다[5]. 우선 폐자동차에서의 코어의 위치를 분석하고, 실제 폐자동차를 대상으로 해체 공정을 실시하였다. 해체 공정을 통하여 코어 회수 시의 문제점을 분석하고, 해체 우선순위를 결정하기 위한 요소들을 선별하였다. 각각의 요소들을 통하여 기준을 도출하고, 원칙들간의 이원비교를 통하여 가중치를 산정하였다. 산정된 가중치를 평가 테이블에 반영하여 최종 해체 우선순위를 결정하였다. 실제로 폐자동차에 해체 우선순위를 적용하여 외부, 엔진룸 및 하부에 위치한 부품 해체에 대한 순위를 확인하였다.

해체 우선순위는 단순한 재활용을 위한 폐자동차의 물질 재활용적인 측면 및 해체 과정보다는 재제조 가능 코어 회수를 위한 원칙으로 활용하기 위하여 만들어졌다.

현재 국내에서의 재제조 품질인증에 따른 제품들은 점점 증가하는 추세(자동차부품 기준 2016년 26종, 2018년 37종)이며[11], 자원순환을 위한 재제조의 중요성은 더욱 증가할 것으로 보인다. 따라서 다양한 종류의 자동차를 대상으로 해체 우선순위를 적용하여 코어를 회수하기 위한 가이드라인으로 활용될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] Kerr, W., Ryan, C., 2001. Eco-efficiency gains from remanufacturing-a case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. *Journal of Cleaner Production* 9 (1), 75-81.
- [2] Steinhilper, R., 2005. *Remanufacturing*. Fraunhofer IRB Verlag
- [3] KADRA (Korea Auto Dismantment Recycling Association), 2018. "http://www.kadra.or.kr/kadra/contents/sub02/02_01.html?BbsId=2010316112316".
- [4] In-Ho Kwak, et al., 2016. Environmental Evaluation for the Remanufacturing of rental Product Using the LCA Methodology. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 38 (11), 611-617.
- [5] Hong-yoon Kang, Young-chun Kim, 2017. Sustainable Growth Strategy through the Analysis of Korean Remanufacturing Industry-Focusing on Automobile Industry Field. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20 (5), 1-12.
- [6] Hong, S. J. et al., 2015. Life Cycle Assessment on the End-of-Life Vehicle Treatment System in Korea. *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers* 13 (6), 105-122.
- [7] Wuiqing Xia, et al., 2016. The construction and cost-benefit analysis of end-of-life vehicle disassembly plant: a typical case in China. *Clean Technologies and Environmental Policy* 18 (8), 2663-2675.
- [8] Baek, J. H. et al., 2007. A study on the dismantle process for End-of-vehicle recycling rate. *Society for Computational Design and Engineering* 2007 (1), 819-822.
- [9] Ho Won Jeong, et al., 2012. Trend of Eco-friendly Dismantling Technology of ELV. *Journal of Korea Society of Automotive Engineers* 34 (2), 32-39.
- [10] Ministry of Environment(Korea), 2009. A Study on the Efficient Recycling of Waste Vehicle Parts. 11-1480000-001072-01.
- [11] KATS (Korean Agency for Technology and Standards), 2018. Remanufacturing quality certification standard enactment bulletin.
- [12] Hak Soo Mok, Jong Rae Cho, Young Hun Kang, 2002. Methodology for Estimation of Assembly Time and Evaluation of Assemblability. *Journal of the Korean Society for Precision*

- Engineering 19 (5) 72-80.
- [13] Hak Soo Mok. et al., Determination of Design Parameters for Automobile Parts Recycling. Journal of the Korean Society for Precision Engineering 20 (1) 159-171.
- [14] Jae Young Jeong, Sang Jin Park, Woo Hyun Son, Hak Soo Mok, 2018. Injury Risk Analysis for Product Disassembly and Reassembly Process in Remanufacturing. Journal of the Korean Society of Safety. 33 (2) 112-123.
- [15] Satty, T., 1986. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierachy Process. Management Science 32 (7), 841-855.
-
- (접수: 2019.09.06. 수정: 2019.09.26. 게재확정: 2019.10.10.)