

국가 맞춤형 폐자동차 해체시스템 선정 방법에 대한 연구

이화조¹, 박정환^{1,*}, 황선¹, 박성수²

¹영남대학교 기계공학부

38541 경북 경산시 대학로 280

²영남대학교 대학원 기계공학전공

38541 경북 경산시 대학로 280

(2016년 12월 12일 접수; 2017년 1월 26일 수정본 접수; 2017년 1월 26일 채택)

Selection of Customized ELV (End-of-Life Vehicle) Dismantling System for Different Countries by Utilizing Fuzzy Theory and Modified QFD

Hwa-Cho Yi¹, Jung Whan Park^{1,*}, Seon Hwang¹, and Sung-Su Park²

¹School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

280 Daehak-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk, 38541, Korea

²Mechanical Engineering, Graduate school, Yeungnam University

280 Daehak-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk, 38541, Korea

(Received for review December 12, 2016; Revision received January 26, 2017; Accepted January 26, 2017)

요 약

폐자동차는 재활용 자원의 주요 원천이며 폐자동차 재활용 과정은 해체, 파쇄 및 ASR 처리 단계로 구분된다. 폐자동차 해체는 재사용 가능 부품을 수집하는 등 매우 중요한 단계인데, 크게 독립형(island type)과 라인형(line type)으로 구분할 수 있고 다양한 유형의 해체 시스템이 존재한다. 또한 국가별 법적 규제, 폐자동차 발생량, 인구밀도, GNP 등 국가 별 특성이 다르기 때문에 특성에 맞는 적절한 해체 시스템을 체계적으로 선정하는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 퍼지이론 및 변형 QFD를 활용하여 국가 특성에 대한 데이터 퍼지화 및 해체시스템 적합도를 평가하는 방법을 개발하였으며, 관련 데이터를 보유한 대표 국가에 대해 적용하고 결과를 평가하였다.

주제어 : 폐자동차, 해체시스템, 퍼지이론, QFD (Quality function deployment), 국가별특성

Abstract : The recycling process of ELV consists of three phases: dismantling, shredding and ASR treatment. Dismantling is the collection of reusable parts and the most important phase. The types of dismantling system is diverse and each country has different characteristics. Therefore, the selection of a suitable ELV dismantling system for a target country is dependent on the characteristics of each country. But the characteristics of country data changes every year and is insufficient and ambiguous. In this study, fuzzy inference and modified QFD (Quality function deployment) methods are utilized to solve the problems. The fuzzification of characteristics data for each country, customized rules and decision of modified QFD matrix are developed, which is applied to sample countries.

Keywords : ELV (End-of-Life Vehicle), Dismantling system, Fuzzy theory, QFD (Quality function deployment), Country characteristics

1. 서 론

자동차는 다른 제품에 비해 재활용률(recycling rate)이 70~

75%로 높은 수준이나 더 많은 자원 회수를 위해 효율적 해체를 통해 이를 제고할 여지가 많다[1]. 단일 품목으로 가장 큰 시장을 형성하고 있는 폐자동차(end-of-life vehicle, ELV)는

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jwpark@yu.ac.kr; Tel: +82-53-810-3524; Fax: +82-53-810-4627

doi: 10.7464/ksct.2017.23.1.015 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.

중고 부품 판매, 부품 재제조 산업, 희소금속 재활용 등 다양한 방면으로 자원순환이 시도되고 있다. EU 등 선진국을 중심으로 자동차 폐자원에 대한 잠재적 가치를 인식하고 유해물질 제거, 폐자동차 회수, 재활용 촉진을 목적으로 폐자동차에 대한 규제가 지속적으로 강화되고 있는 실정이다[2].

우리나라의 경우 폐자동차의 효과적인 재활용을 위해 환경부는 ‘전기전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률’(이하 ‘자원순환법’)을 제정하고 2015년부터 폐자동차 재활용률을 95%(에너지 회수 10% 포함)까지 높이고자 노력하고 있다. EU(유럽연합)의 경우 Directive 2000/53/EC, Commision Decision 2005/293/EC 등의 규정을 통하여 폐자동차 재활용 모니터링 및 재활용률에 대한 기본 지침을 제정하였다[3].

각국의 폐자동차 재활용 관련 법률들은 자동차 제조사와 폐자동차 해체업체에 재활용률 향상을 위한 연구개발을 촉진시키고 있다. BMW, TOYOTA, 현대차 등의 주요 자동차 제조사들은 이미 자체 리사이클링 센터를 구축하여 재활용률 규제를 만족하는 차량 개발을 수행 중이고, 해체 및 재활용을 수행하는 재활용업체들도 제조사들과 연계하여 ELV 해체시스템을 개발하고 있다.

ELV 해체시스템의 경우 다양한 유형의 해체시스템이 있지만, 각 국가는 법적 규제, 폐자동차 발생량, 인구밀도, GNP 등의 국가특성이 다르므로 각 국가에서 요구하는 ELV 해체시스템의 유형이 다를 수밖에 없다. 차량의 밀집도가 높고, 재활용 기술이 앞선 유럽국가의 경우, 대규모 해체가 가능한 고가의 자동화 시스템이 필요하겠지만, 동유럽국가의 경우에는 경제 및 제반상황 등을 고려할 때 적절한 보급형 시스템이 필요할 것이다. 또한, 개발도상국의 경우에는 개발도상국 맞춤형 해체시스템이 적절할 것이고, 폐자동차를 해체하여도 이를 재생할 수 있는 인프라를 갖추지 못한 국가의 경우 해체시스템이 필요 없는 경우도 있을 것이다. 따라서 각 국가의 특성에 맞는 해체시스템의 보급이 필요하고, 각 국가의 특성

에 따라 ELV 해체 시스템을 유형화 할 수 있다면 각 국가의 수준에 맞는 적절한 해체시스템을 제시할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 국가특성에 따라 ELV 해체시스템에 영향을 미치는 변수들에 의해 나누어진 해체시스템과의 적합도를 비교분석 하여, 국가별 최적의 ELV 해체시스템을 선정하고 이를 평가할 것이다. 2장에서는 폐자동차 리사이클링과 해체시스템에 대해 살펴보고, 3장과 4장에서 국가 맞춤형 해체시스템 선정 절차 및 적용 사례를 살펴보고자 한다.

2. ELV 리사이클링 및 해체 시스템

2.1. ELV 리사이클링

폐자동차의 리사이클링 과정은 Figure 1과 같이 해체(dismantling), 파쇄(shredding) 단계와 ASR (Automobile Shredder Residue) 처리 단계로 구분할 수 있다[3]. 해체 단계에서는 액상류 회수, 타이어, 배터리 제거 및 주요부품을 해체하여 재사용 가능성을 판단하여 중고 부품으로 판매한다. 이후, 소재별 재활용률을 고려한 분해를 수행하고, 차체를 프레스를 이용하여 압착한 다음 슈레딩 단계로 이송처리 된다.

슈레딩 단계에서는 자력선별, 와류선별, 풍력선별 등의 방법으로 철 및 비철금속으로 재질별 회수를 수행한다[4]. 입고되는 압축된 차체의 검사는 사람이 하고 내용물의 품질을 평가하여 비용을 지급하고 있다. 선진국의 경우 철 회수율이 70% 정도이나 국내는 58%전후로, 처리결과는 벨트스케일로 측정한다[1].

최종적으로 ASR을 처리하게 되는데, ASR에는 45%의 분말과 자동차 부품에 사용한 플라스틱, 고무, 섬유류, 스폰지, 나무 등의 다양한 재질과 함께 슈레딩 단계에서 분리되지 않은 금속파편이 혼합되어 있다[5]. ASR의 처리방법으로 ASR에 포함된 자원들은 추가적인 회수로 재활용되거나 재활용 회수율이나 경제성은 높지 않으며, 대부분 소각 또는 매립

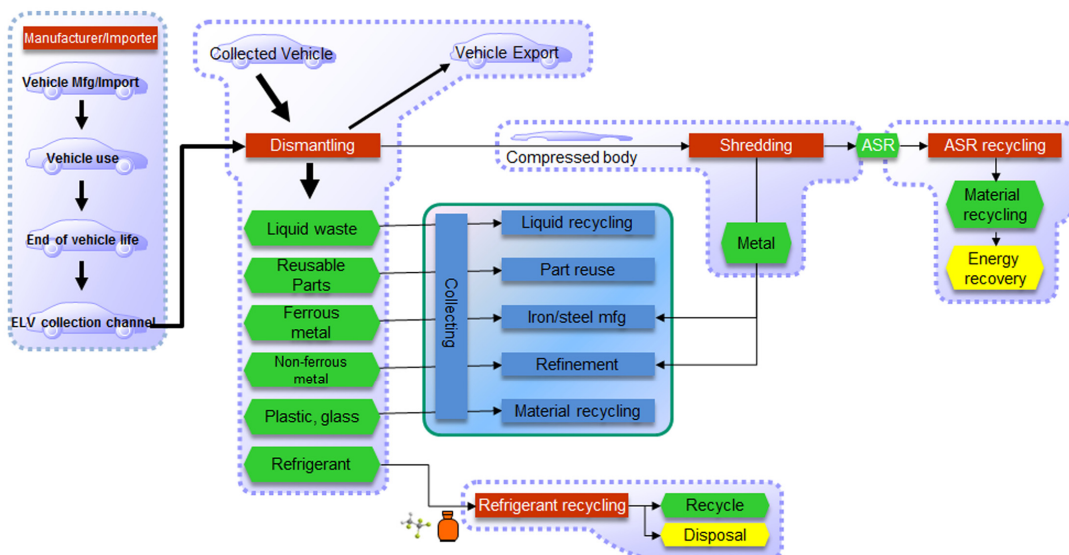


Figure 1. Typical ELV recycling procedure.

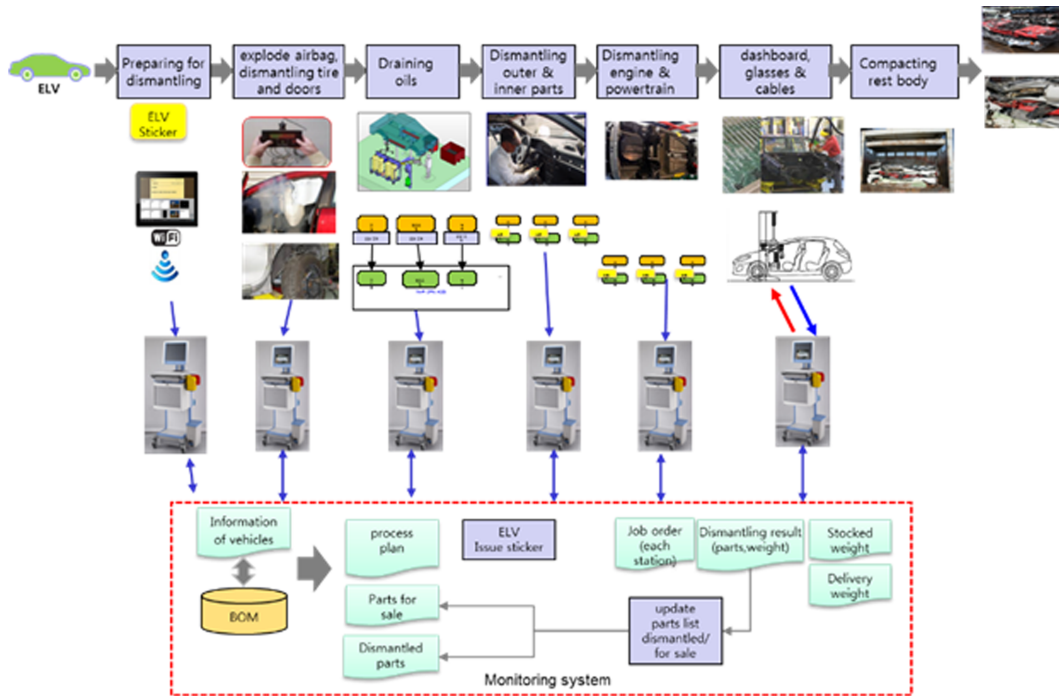


Figure 2. Schematic diagram of the developed ELV recycling center

방식으로 처분하고 있어 불가피하게 환경오염을 발생시키고 있다[6].

2.2. 이상적인 ELV 해체 및 재활용 모니터링 시스템

ELV 해체 시스템의 규모와 방식은 폐자동차 발생량, 국가 GDP, 자원 재활용 인프라 등에 따라 결정되고, 대부분의 해체업체의 경우 수익성을 고려하여 해체과정을 진행하고, 더 나은 처리를 위해서는 추가적인 비용이 요구된다. 또한 해체된 부품들이 적절히 재활용 되었는지 여부를 확인하기 위한 통합적이고 시스템화된 재활용 데이터 수집 및 모니터링 시스템이 절실히 요구되는 실정이다.

참고로 Figure 2에 보이는 액티브 IT 융합형 ELV 해체시스템의 경우 실질적인 재활용률 산정이 가능한 신뢰성 있는 모니터링 시스템을 갖추고 있다[1]. 스마트 패드를 이용하여 원격 모니터링과 차량 데이터 입력이 가능하고, 실시간 차량 상태 사진을 전송하며 새로운 정보를 서버에 입력할 수도 있다. 또한 해체 부품 관리를 통하여 해체/비해체 부품 DB를 업데이트 한다. 해체된 부품들은 차량 정보를 기록한 태그를 부착하여 출고 전 까지 부품의 종류별로 창고에 보관된다. 해체 모니터링 시스템은 웹 기반의 입력 시스템으로, EcoAS 시스템과 연계하여 재활용업체, 슈레더 업체 등이 해체 정보를 확인 가능하게 한다[3].

2.3. 기존 ELV 해체시스템 사례

ELV 해체 시스템은 해체작업의 방식과 규모에 따라 크게 독립방식(island type)과 라인방식(line type)으로 구분할 수 있으며, 해체 작업은 대부분 수작업 위주로 수행된다[6]. 독립방

식은 하나의 작업장에서 해체를 진행하는 방식으로 해체작업이 많지 않은 국가에 적합한 방식이며, 라인방식은 다수의 해체작업장을 바탕으로 각 작업장에서 특화된 작업만을 담당하며, 순차적인 단계로 해체를 수행함으로써 해체작업이 많은 국가에 적합하다.

서일본 오토 리사이클링(west japan auto-recycling, WARC)은 Figure 3(a)와 같이 중고부품 회수, 액상류 회수, 비금속 회수, 엔진/변속기 해체, 비철 회수, 압축 등의 라인방식 해체 단계로 이루어져 있으며, 월 1,000대의 처리 능력을 갖추고 있다. 또한 상당 수준의 자동화가 이루어져 있지만, 설비 비용이 높은 단점이 있다[7].

Figure 3(b)에 보이는 프랑스의 Re-source는 르노(Renault)와 수에즈(Suez)가 합작하여 설립한 회사로서, 해체 단계는 차량 인수/등록, 에어백 해체, 액상류 회수, 내외장 해체, 엔진/하체 부품 해체, 유리/대시보드 해체 등의 해체단계로 이루어져 있으며, 대차를 이용하여 차량을 이송하는 특징이 있다. 프랑스의 해체업체는 부품판매업과 서비스센터를 같이 운영하여 경제성을 유지하며, 폐자동차 해체 시 부품 재사용에 주력하고 있다[1].

스페인의 CesviMap은 자동차 보험회사인 MAPFRE S.A.가 투자한 회사로 사고차량만 전문으로 처리하는 시스템을 갖추고 있는데, 이를 통하여 MAPFRE S.A.는 보험부분에서 사고차량의 보상과 관련하여 효과를 보고 있는 것으로 추정된다[1].

오스트리아의 SEDA는 세계 각국의 23개의 공급업체를 바탕으로 자사의 제품을 판매하고 있다. 대부분의 설비들은 유럽국가로 판매되고 있는데, 오염제거, 해체, 특수공구, 테스트 장비로 구분되어 판매되고 있다. SEDA의 경우에도 해체시스

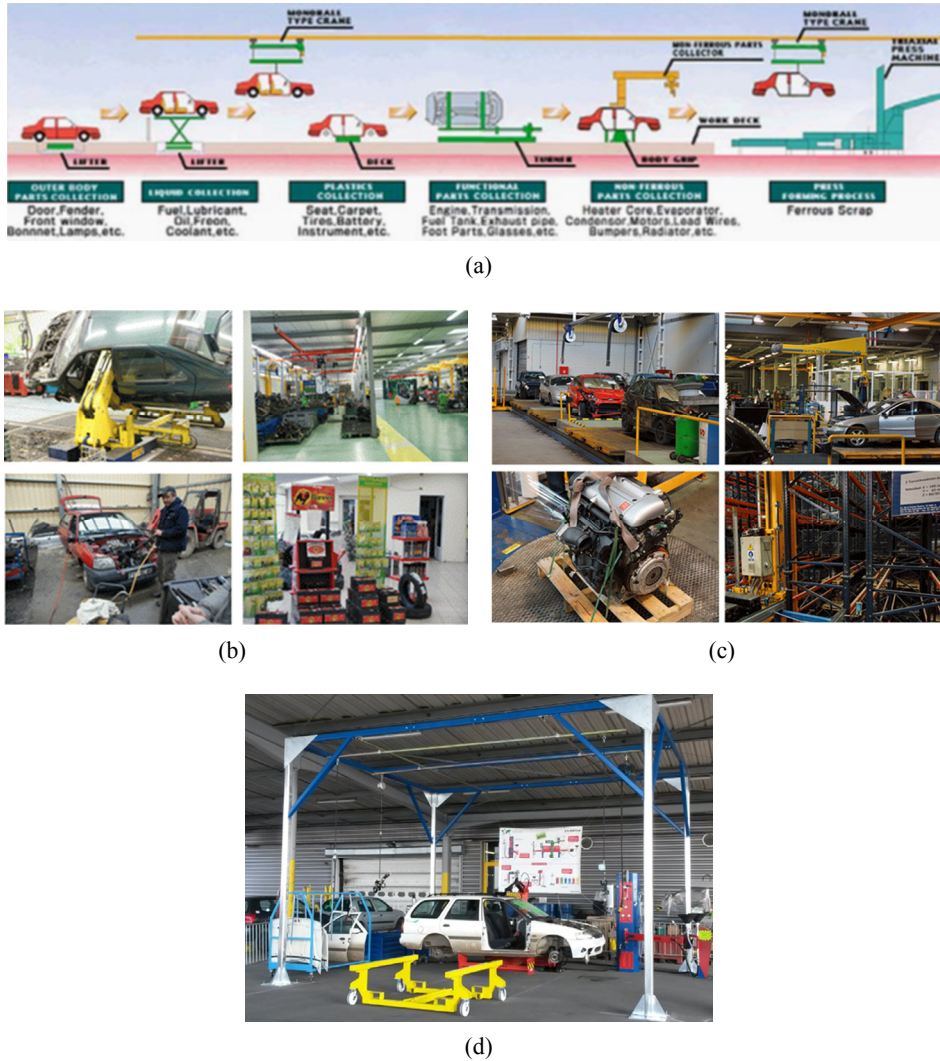


Figure 3. Dismantling system: (a) WARC (b) Re-resource (c) CesviMap (d) SEDA.

템 일체를 판매하기보다는 각각의 설비를 따로 판매하고 있고, Figure 3(d)와 같이 All-in-one Solution으로 명명하여 셀 (cell)형의 해체시스템을 판매하고 있다.

3. 국가 맞춤형 ELV 해체시스템 선정 방법

3.1. 해체 시스템 선정을 위한 이론 및 절차

3.1.1. 퍼지 집합 이론

퍼지 집합 이론은 인간의 주관적인 판단과 관련된 개념의 모호성을 측정 하는 도구이다. 퍼지이론은 “0” 또는 “1”로 확실하게 표현되는 이분법적 논리와는 달리 “0에 가깝다”, “아마도 그럴 것이다”와 같은 모호한 대상을 표현하는데 활용한다. 즉, 인간의 언어와 같은 모호함을 표현하는 질적이고 정성적인 자료를 정량적인 수치로 변환시킬 수 있기 때문에 모호한 불확실성을 본질적으로 내포하고 있는 인간의 가치 판단을 보다 정확히 표현하는데 효과적이고, 다양한 분야에 응용되고 있다[9,10].

본 연구에서도 차량등록대수가 많은지 적은지, 인구밀도가

높은지 낮은지, 폐자동차 발생량이 어느 정도가 되면 많은 것인지에 대한 정확한 답을 구하기가 어렵다. 따라서 이러한 애매한 문제들을 해결하는 방법으로 Fuzzy이론을 사용하기로 한다.

3.1.2. 변형 QFD

QFD (quality function deployment)는 설계과정에서 엄격한 정부의 규제 조항과 소비자의 요구사항을 동시에 고려하기 위해 사용했던 행렬 형태의 도표가 시초가 되었다. QFD는 고객의 요구사항(customer attributes, CA)을 우선 제품의 설계 특성(engineering characteristics, EC)으로 변환하고 이를 다시 부품 특성, 공정 계획 및 생산 계획까지 순차적으로 전개해 나감으로써 고객의 요구가 최종 제품에 충실히 구현되도록 한다.

QFD에는 품질의 집(house of quality, HOQ)이라는 특수한 형태의 도표가 사용되는데, HOQ는 QFD를 의미하는 용어로 혼용되기도 하는 QFD의 대표적인 도구로서 고객의 요구사항을 제품의 기술특성으로 변환시키는 기능을 하는 시각적 도표이다. HOQ는 10개의 구성요소로 이루어져 있으며, 활용 목적에 따라 선택적으로 이 항목들을 가감하여 이용되기도

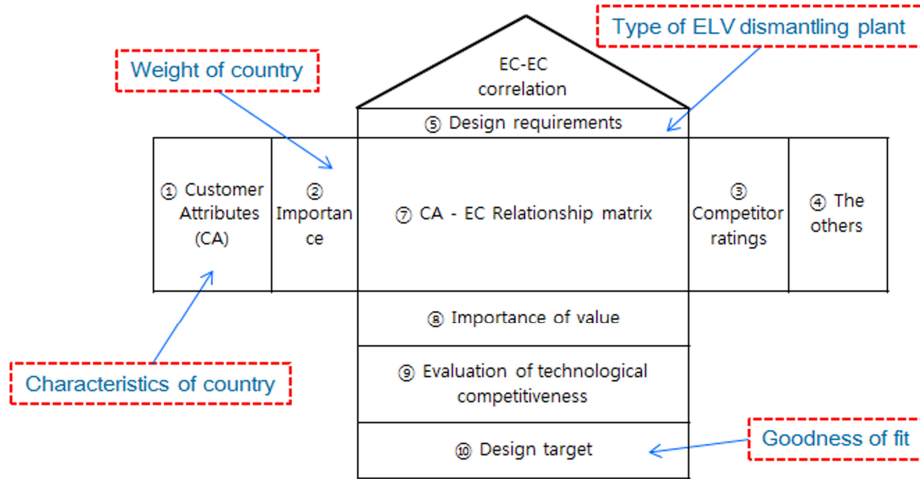


Figure 4. Modified QFD for the research.

한다[9].

본 연구에서는 변형 QFD (Modified QFD)를 활용하여 국가별 ELV 해체 시스템을 선정하는 과정을 제안하였다. 변형 QFD에서는 QFD의 고객 요구조건들을 국가 특성으로 변형하였고, 설계 요구조건들을 ELV 시스템 유형으로 변형하였다. 또한 중요도에 국가 가중치를 입력하여 관계 매트릭스의 상관관계 값을 곱하여 종으로 합계하여 각각의 ELV 해체시스템 적합도를 도출하도록 하였다. 변형 QFD 모형을 Figure 4에 나타내었다.

ELV 해체시스템 적합도 산출을 위해서는 우선 고려해야할 국가 특성을 변수화 하고, ELV 해체 시스템 유형을 분류한다. 다음으로 국가특성에 따른 유형별 ELV 해체 시스템의 적합도를 평가한다. 제시된 변형 QFD 모형을 활용하여 ELV 해체 시스템 선정을 위한 과정은 크게 다음과 같은 4단계로 구분된다.

i. 국가 특성의 변수화

ELV 처리와 관련이 있는 몇 가지 항목들을 식별변수로 설정한 후, 각 변수는 퍼지화 하여 항목 별로 높음, 보통, 낮음에 대한 정도를 결정한다.

ii. ELV 해체시스템 유형 분류

모니터링이 가능한 대규모 라인형 해체시스템부터 해체시스템이 필요 없는 경우까지, 해체시스템의 유형을 분류한다.

iii. 변형 QFD Matrix 구성

관계성 매트릭스(relationship matrix)를 이용하여 식별변수와 ELV 해체 시스템 간의 상관관계(correlation)를 표현한다. 이때 식별변수는 매트릭스의 행(row)으로, ELV 해체시스템 유형은 열(column)로 나타낸다. 또한 상관관계는 매우 강한 관계성(◎), 보통 관계성(○), 약한 관계성(△)의 세 가지 기준으로 나타냈으며, 각각 9, 3, 1의 값을 부여하여 상관 정도를 수치적으로 표현하였다.

iv. 국가 별 ELV 해체시스템 적합도 산출

국가 맞춤형 ELV 해체시스템을 선정하기 위해, 식별변수에 따른 ELV 해체시스템의 점수를 도출하여야 한다. 식별변수에 따른 ELV 해체시스템의 점수는 식별변수의 값과 상관관계 정도의 값을 곱한 후, 종으로 합계를 구하여 각각의 ELV 해체시스템 점수를 도출한다.

3.2. 해체시스템 식별변수 설정 및 유형 분류

3.2.1. 국가별 특성을 나타내는 식별변수 설정

국가별 맞춤형 ELV 해체시스템을 선정하기 위해 고려해야 하는 국가별 특성을 나타내기 위해 다음과 같이 8개(3개 그룹)의 변수를 설정하였으며, 해체시스템을 선정하는 과정에서 값을 부여하여 평가에 활용 하였다(Table 1 참조).

- ① 인구 10,000당 폐자동차 발생 대수
- ② 인구 10,000당 차량등록 대수
- ③ 인구수
- ④ 인구밀도
- ⑤ ELV 및 환경에 대한 법적 규제
- ⑥ GNP
- ⑦ 제철자원 재생 인프라
- ⑧ 석유화학자원 재생 인프라

3.2.2. ELV 해체시스템 유형 분류

본 연구에서는 ELV 해체시스템의 유형을 다음과 같이 8가지로 유형으로 분류 하였으며 Table 2에 설명하였다.

- ① A유형 - 모니터링이 가능한 대규모 라인형 ELV 해체시스템
- ② B유형 - 모니터링이 필요 없는 대규모 라인형 ELV 해체시스템
- ③ C유형 - 모니터링이 가능한 소규모 셀형 ELV 해체시스템

Table 1. Variables for selection of ELV dismantling system

Variables		Remarks
Vehicle data	① 인구 10,000당 폐자동차 발생 대수	폐자동차 발생 대수는 ELV 해체시스템의 규모와 방식을 결정하는데 중요한 요인으로 절대적인 폐자동차 발생 대수 보다는 인구 10,000당 폐자동차 발생 대수를 고려함으로써, 다른 변수들과의 관계에 따라 해체시스템의 규모와 방식을 결정하게 하였다. 절대적인 폐자동차의 발생 대수만 고려한다면 국가별 인구수, 인구밀도, 차량등록 대수 등 여러 변수들의 영향력이 미미해 질 것이다.
	② 인구 10,000당 차량등록 대수	차량등록 대수는 폐자동차 발생량에 영향을 미치는 중요한 요인으로 차량등록 대수가 많다는 것은 현재 해당 국가가 많은 폐자동차 발생량을 가지고 있거나 폐자동차 발생량이 증가할 가능성이 높다는 것을 나타내고, 차량등록 대수가 적다는 것은 폐자동차의 발생량이 적거나 앞으로 폐자동차의 발생량이 크게 증가하지 않는다는 것을 의미한다.
Country characteristics	③ 인구수	인구는 국민·인종·민족 등과는 다르며 일정한 지역 내에 있는 주민 전부를 포괄하는 말로서 그 지역에 사는 외국인이나 이민족도 포함된다. 반대로 그 나라 국민이라고 해도 그 지역에 있지 않으면 포함되지 않는다. 인구수가 많다면 차량등록 대수가 많거나 향후 증가 할 가능성이 있다는 것을 나타내고, 인구수가 적다면 전체적인 차량의 수가 적거나 증가한다고 하더라도 그 수는 한정적일 수밖에 없을 것이다.
	④ 인구밀도	인구밀도는 단위면적 1 km ² 당의 인구수를 나타낸 것으로 본 과제에서는 총인구/총면적으로 인구밀도를 산출하였다. 인구밀도가 높다는 것은 폐자동차를 처리하는 플랜트에서 많은 양의 폐자동차를 처리할 가능성이 높아 대규모 ELV 해체 시스템을 요구할 수 있음을 의미한다. 반대로 인구밀도가 낮은 경우에는 인구수가 많다고 하더라도 하나의 플랜트에서 적은양의 폐자동차를 처리할 가능성이 높기 때문에 중소규모의 ELV 해체 시스템을 요구할 수 있음을 의미한다. 따라서 인구밀도는 ELV 해체 시스템의 규모를 결정하는데 영향을 미칠 수 있다.
	⑤ ELV 및 환경에 대한 법적 규제	국제적으로 자동차재활용에 대한 환경규제가 지속적으로 강화되고 있고, 해체시스템을 이용하여 각 국가에서 요구하는 폐자동차 재활용률을 달성하기 위해서는 ELV 및 환경에 대한 법적 규제를 고려하여야 한다. 폐자동차의 법적 규제에서 환경에 관한 지침과 폐자동차의 재활용률을 요구하고 있는 ELV 관련 지침들의 법적 규제가 강한 경우 모니터링 시스템을 통하여 실질적인 재활용률 계산과 데이터 처리 등을 필요로 한다.
	⑥ GNP	경제규모는 국가의 생활수준을 알아볼 수 있는 중요한 요인으로 노동자의 인건비와 ELV 해체 시스템의 자동화율에 많은 영향을 미친다. GNP (Gross National Product)는 한나라의 국민이 생산한 것을 모두 합한 금액으로, 국민이 외국에 진출해서 생산한 것도 GNP에 모두 잡히게 된다. 따라서 GNP는 장소를 불문하고 그 나라 사람의 총생산을 나타내는 개념이다. GNP가 높을수록 해체시스템 선정에서 설립비용이나 인건비 등이 높은 고가의 시스템을 선정할 수 있다.
Infrastructure for material recycling	⑦ 철철자원 재생 인프라	자동차에서 발생하는 철과 비철을 처리할 수 있는 시설은 ELV 해체 시스템을 구축하는데 중요한 요인으로 평가되는데, 철과 비철을 처리할 수 있는 시설이 없는 국가의 경우 폐자동차를 해체 하더라도 철과 비철에 대한 자원 재생이 제대로 이루어지지 않아 ELV 해체 시스템이 필요 없게 된다.
	⑧ 석유화학자원 재생 인프라	폐자동차에서는 철과 비철뿐만 아니라 플라스틱, 고무, 각종 액상류들이 발생한다. 따라서 이들을 처리 할 수 있는 시설 또한 필수적으로 갖추어야 한다.

Table 2. Type of a dismantling system for end-of-life vehicle

Grade	Dismantling plant types	Automation	Remarks
A	Large scale line type dismantling plant with monitoring capability	○	라인방식의 해체시스템으로서, 해체작업을 다수의 단계로 나누고 각 단계의 전용 해체스테이션을 연결하여 연속적인 해체작업을 수행하는 시스템이다. 또한, 설비의 상당부분이 자동화되어 있고, 모니터링이 가능하여 실질적인 재활용률의 측정이 가능하다.
B	Large scale line type dismantling plant	○	A유형과 같이 대규모 폐자동차 처리가 가능한 라인방식의 해체시스템이나, 모니터링이 불가능하여, 높은 재활용률을 요구하지 않는 대규모 처리를 필요로 하는 국가에 적합하다.
C	Small scale cell type dismantling plant with monitoring capability	○	이 유형의 경우 차량 한 대를 중심으로 하나의 스테이션에서 작업자가 최선 설비 및 공구를 사용하여 해체를 하며, 모니터링 시스템을 갖추고 있어 실질적인 재활용률 측정이 가능하다. 처리능력이 작고 효율은 떨어지지만 차중에 영향을 적게 받는 장점이 있다.
D	Small scale cell type dismantling plant	○	이 유형은 C유형과 유사하나 모니터링을 할 수 없기에 높은 재활용률을 요구하는 국가에는 적합하지 않으며, 보급형 시스템으로 처리량은 많지 않으나 GNP가 높은 국가에 적합하다.
E	Large scale dismantling plant	X	이 유형은 라인타입이 아닌 대규모 해체시스템으로 주로 지게차를 이용하여 폐자동차를 이송하고, 저가의 설비 및 공구를 이용하여 해체를 수행한다.
F	Small scale dismantling plant	X	이 유형은 주로 리프트를 이용하여 하나의 폐자동차를 중심으로 저가의 설비 및 공구를 이용하여 해체를 수행한다.
G	Manual work	X	수작업의 경우 몇몇 공구를 이용하여 해체를 진행하는데, 주로 사용 가능한 부품 위주로 해체를 하며, 작업효율이 가장 떨어지는 유형이다.
H	No dismantling plant	X	해체시스템이 필요 없는 경우는 해체를 하더라도 자원을 재활용할 수 있는 인프라를 구축하지 못한 국가에 해당한다.

- ④ D유형 - 모니터링이 필요 없는 소규모 셀형 ELV 해체시스템
- ⑤ E유형 - 대규모 해체시스템
- ⑥ F유형 - 소규모 해체시스템
- ⑦ G유형 - 수작업
- ⑧ H유형 - 해체시스템이 필요 없는 경우

3.3. Fuzzy 이론과 변형 QFD를 이용한 ELV 해체시스템 선정

3.3.1. 식별변수의 퍼지화

ELV 해체시스템 선정을 위해 3.2.1에서 설정한 8개 변수에 대해 Figure 5와 같이 퍼지화를 적용하였다. 각 변수 별로 적음(Low), 보통(Normal), 큼(High)에 대한 기준값을 설정하고 이를 그래프로 나타내었다. 예를 들어 Figure 6(a)의 ‘인구 10,000 당 폐자동차 발생 대수(Scrapped vehicle fleet per 10,000 inhabitants)’의 경우, 인구 10,000명 당 폐자동차 발생 대수가 50~150대를 보통, 100대 이하는 적음(50대 이하는 완전 적음), 100대 이상은 많음(150대 이상은 매우 많음)으로 정의하였다.

또한 ‘ELV 및 환경에 대한 법적 규제(Regulations on ELV

& Environment)의 경우 Table 3과 같이 규제정도를 구분하여 국가 별로 0~1 사이의 값을 부여하도록 하였다. 기타 변수에 대한 추가 설명은 별도 참고문헌을 참고하도록 한다[8].

Table 3. Fuzzification rule for Regulations on ELV & Environment

규제 정도	퍼지 값	규제내용	해당 국가 예
최상	1	폐차처리 규정에 1차 분해 및 분해부품 추적 포함	미래형
상	0.85	폐차처리 규정에 개별 폐차장 재활용률 보고 의무 포함	한국
중상	0.6	폐차처리 규정에 재활용률 보고 의무 포함	유럽
중	0.5	폐차처리 규정에 환경관련 내용 있음	미국
중하	0.25	폐차처리 법규 있음	중국
하	0	없음	우즈베키스탄

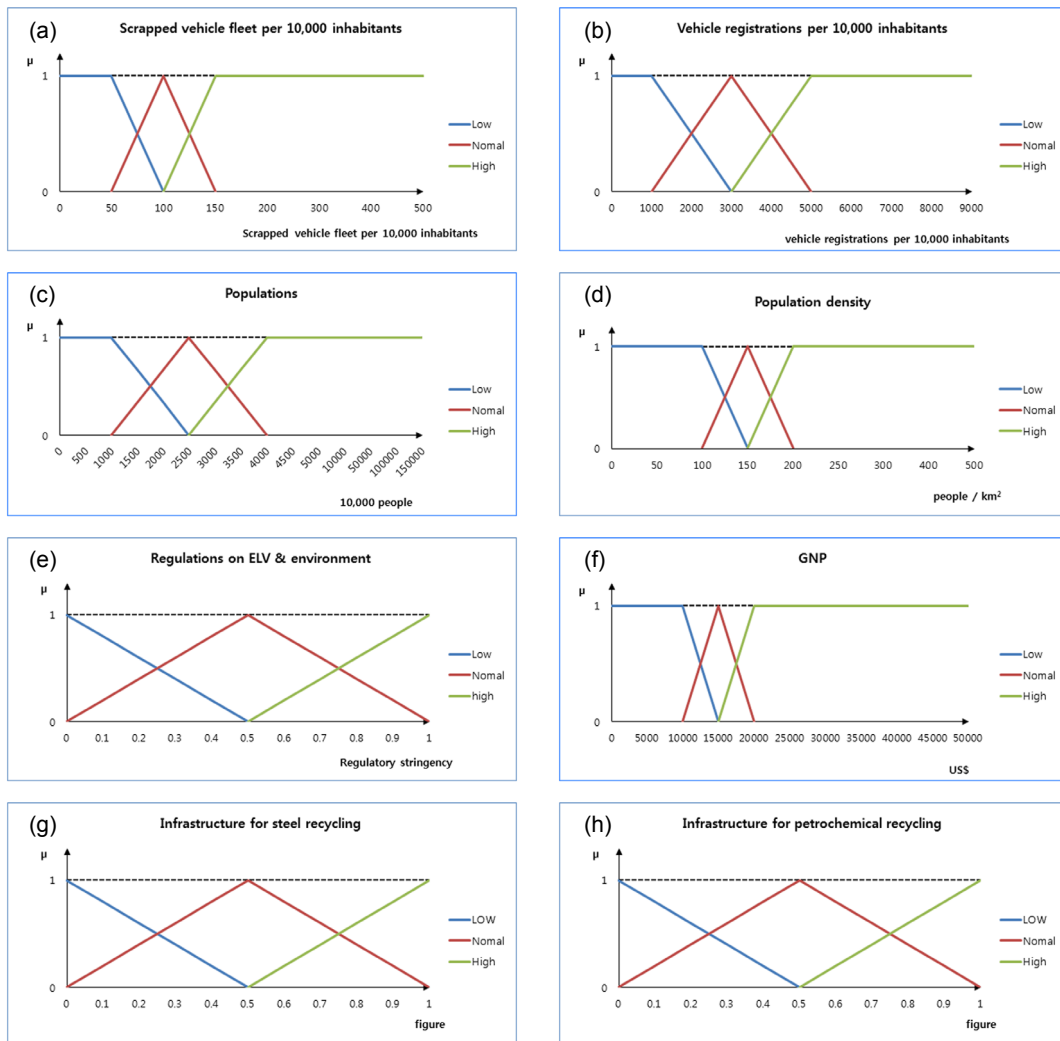


Figure 5. Fuzzification of variables.

Main category	Sub category	Correlation	A	B	C	D	E	F	G	H
Vehicle data	Scrapped vehicle fleet per 10,000 inhabitants	9	○	○	△	△	△	△	X	X
	Vehicle registrations per 10,000 inhabitants	3	○	○	△	△	△	△	X	X
Country carateristics	Populations	1	○	○	△	△	○	△	X	X
	Population density	9	○	○	△	△	○	△	X	X
	Regulations on ELV & Environment	3	○	△	○	△	X	X	X	X
	GNP	9	○	○	○	△	X	X	X	X
Infrastructure for material recycling	Steel	9	○	○	○	○	○	○	△	X
	Petrochemistry	3	○	○	○	○	○	○	△	X

○: H(High), △: N(Normal), X: L(Low)

Figure 6. Customized rules of ELV Dismantling system.

3.3.2. 변형 QFD Matrix 작성

변형 QFD Matrix를 구성하기 위해 먼저 식별변수와 ELV 해체시스템 간의 관계를 정의하고 이를 Figure 6에 나타내었다. ‘Correlation’ 데이터는 각 식별변수의 비중(중요도)을 나타내는데, 상관관계 정도에 따라 9점, 3점, 1점을 부여함으로써 상관 정도를 수치화 하였다. 즉 인구 10,000 명당 폐자동차 발생 대수, 인구밀도, GNP, 제철자원 재생 인프라는 강한 상관관계(9점), ELV 및 환경에 대한 법적 규제, 인구 10,000 명당 차량 등록 대수와 석유화학 재생 인프라를 일반적인 상관관계(3점), 인구수를 약한 상관관계(1점)를 가지는 것으로 정하였다.

또한 각각의 ELV 해체시스템 유형 별로 식별변수의 퍼지 값을 설정하였는데, ○는 퍼지 값이 높음, △는 보통, ×는 낮음에 소속됨을 의미한다.

예를 들어 A유형 해체 시스템의 경우 해체 모니터링 시스템을 갖추고 있기에 ELV 및 환경의 규제가 강한 국가에 적합하며, 높은 자동화율을 바탕으로 하는 대규모 라인형 해체시스템의 특징상 높은 설치비용과 운영비용이 필요하다. 따라서 많은 양의 폐자동차 대수와 지속적인 폐자동차 공급을 요구함으로 인구 10,000 명당 폐자동차 대수와 차량등록 대수가 많은 국가에 적합하다. 또한, 폐자동차의 운반비용을 고려하여 인구수가 많고 인구 밀도가 높은 지역에 적합한 해체시스템이라 할 수 있고, 각 스테이션에 전문화된 해체 작업을 수행하는 작업자를 요구함으로, 고등교육 이상의 학업을 달성한 작업자가 적합하다. 높은 설립비용 및 운영비용과 높은 인건비용 등으로 인해, A유형의 해체시스템은 경제규모가 큰 고 GNP 국가에 적합하고, 많은 양의 폐자동차를 처리함으로,

Carateristics of country		Weight of country	Type of Dismantling plant for End-of-life vehicle							
Main category	Sub category		A	B	C	D	E	F	G	H
Vehicle data	Scrapped vehicle fleet per 10,000 inhabitants	H	⊙	⊙						
		N			⊙	⊙	⊙	⊙		
		L							⊙	⊙
	Vehicle registrations per 10,000 inhabitants	H	○	○						
		N			○	○	○	○		
		L							○	○
Country carateristics	Populations	H	△	△			△			
		N			△	△		△		
		L							△	△
	Population density	H	⊙	⊙			⊙			
		N			⊙	⊙		⊙		
		L							⊙	⊙
	Regulations on ELV & Environment	H	○		○					
		N		○		○				
		L					○	○	○	○
	GNP	H	⊙	⊙	⊙					
		N				⊙				
		L					⊙	⊙	⊙	⊙
infrastructure for material recycling	Steel	H	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		
		N							⊙	
		L								⊙
	Petrochemical	H	○	○	○	○	○	○		
		N							○	
		L								○
Goodness of fit										
Rank										

Figure 7. Determination of Modified QFD Matrix.

자국 내에서 적절하게 처리할 수 있는 제철 및 석유화학 재생 인프라를 갖춘 국가여야 한다. 기타 유형에 대한 상세한 설명은 별도 참고문헌을 참고하도록 한다[8]. 최종적인 변형 QFD는 Figure 7에 나타내었다. 참고로 변형 QFD에서는 Figure 6

의 ‘Correlation’ 값을 해체시스템 유형별 퍼지값에 반영하고 상관관계 정도에 따라 9점(◎), 3점(○), 1점(△)을 부여하였다. 또한 식별변수 퍼지값의 ‘높음/보통/낮음’은 ‘HNL’로 나타내었으며, 국가별 측정값을 기준으로 해당 값을 계산하였다.

Table 4. Reference data for various countries

Country name	Scrapped vehicle fleet/10,000 inhabitants	Vehicle registration/10,000 inhabitants	Populations	Population density	Regulations	GNP	Infrastructure for Steel recycling	Infrastructure for Petrochemistry recycling
Korea, Rep.	169.91	3,959.66	49,779,000	496.75	0.85	20,870	0.90	0.90
China	22.54	1,540.49	1,344,130,000	139.42	0.50	4,930	0.90	0.90
United States	415.54	8,310.79	311,591,917	31.71	0.60	48,450	0.90	0.90

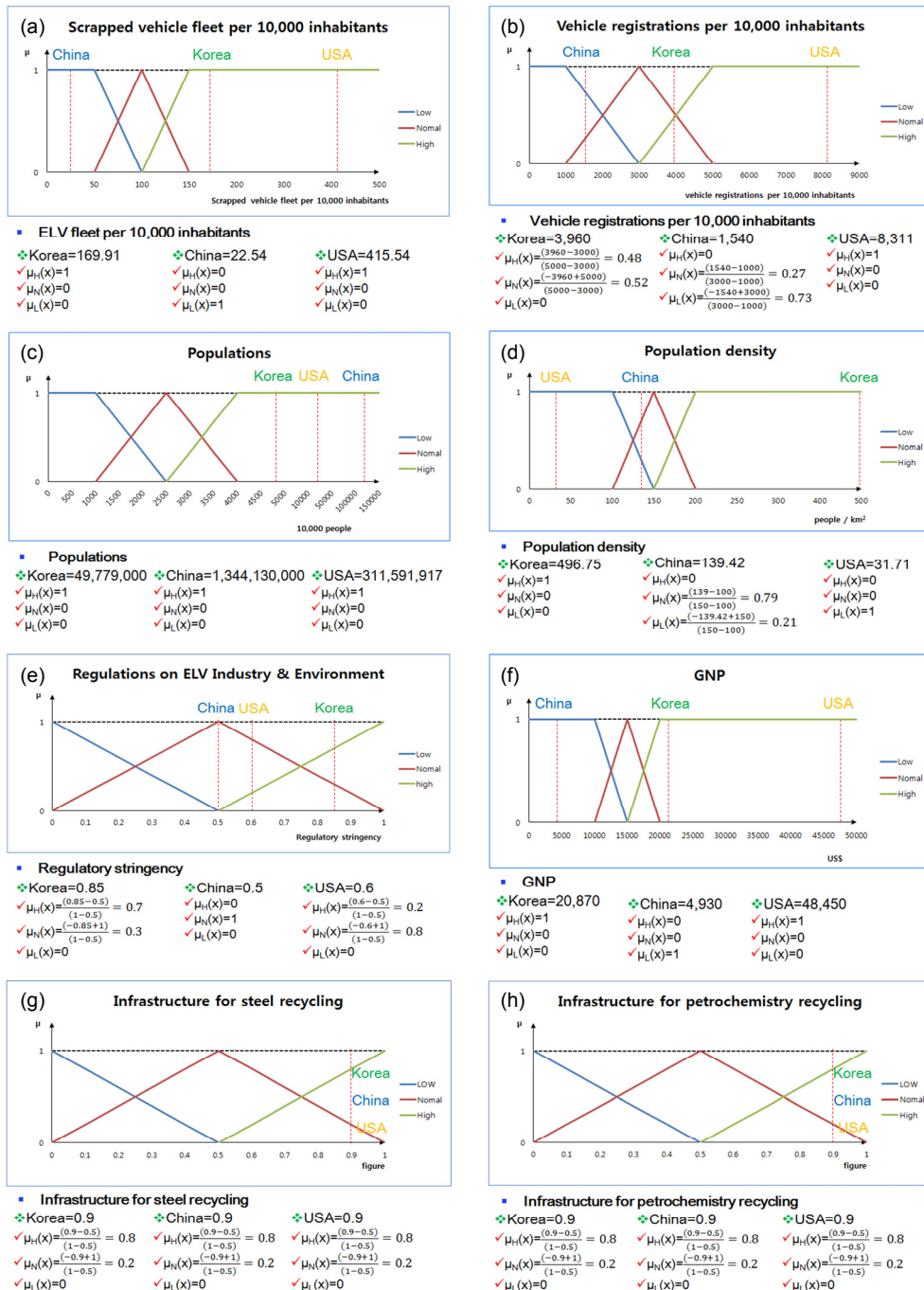


Figure 8. Fuzzification of variables for selected countries.

Table 5. Fuzzification data for selected countries

Country	Grade of membership	Scrapped vehicle fleet/10,000 inhabitants	Vehicle registration per 10,000 inhabitants	Populations	Population density	Regulations	GNP	Infrastructure for Steel recycling	Infrastructure for Petrochemistry recycling
Korea, Rep.	H	1.00	0.48	1.00	1.00	0.70	1.00	0.80	0.80
	N	0.00	0.52	0.00	0.00	0.30	0.00	0.20	0.20
	L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
China	H	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.80
	N	0.00	0.27	0.00	0.79	1.00	0.00	0.20	0.20
	L	1.00	0.73	0.00	0.21	0.00	1.00	0.00	0.00
United States	H	1.00	1.00	1.00	0.00	0.20	1.00	0.80	0.80
	N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.20	0.20
	L	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4. 적용 사례

4.1. 국가별 특성 퍼지화

국가별 특성을 퍼지화하기 위해서는 3.2절에서 제시한 식별변수의 국가별 데이터가 필요하다. 관련 데이터는 폐자동차 대수의 데이터가 있는 국가로 한정하였으며, Table 4에 3개 대표 국가의 실측 데이터를 나타내었다.

본 연구에서는 한국, 중국, 미국을 예로 선정하였는데, 한국은 국민소득 대비 상당한 선진국형 환경규제 법규를 적용하는 사례이며, 미국은 국민소득이 높은 선진국임에도 불구하고 국토가 커서 환경규제가 약한 국가, 또한 중국은 국민소득이 급격히 증가하고 있으며 환경규제를 점진적으로 도입하는 대표적인 사례이다.

그리고 이들 국가별 실측 데이터를 퍼지화한 결과를 Figure 8과 Table 5에 정리하였다. 예를 들어 ‘인구 10,000당 폐자동차 발생 대수(Scrapped vehicle fleet per 10,000 inhabitants)’의 경우, 한국은 169.91이므로 높음(H)/보통(N)/낮음(L)에 해당하는 퍼지함수 값은 $\mu_H = 1, \mu_N = 0, \mu_L = 0$ 이다(Figure 8(a) 참조).

4.2. ELV 해체시스템의 적합도 판단 및 최적 해체시스템 선정

4.1절에서 선택한 3개 국가에 대한 해체시스템 적합도 계산 결과를 Figure 9~11에 나타내었다. Figure 9는 변형 QFD에 한국의 퍼지화한 국가특성을 국가별 가중치에 입력하고, 이 값과 상관관계 정도의 값의 곱을 중으로 합계하여 각 ELV 해체시스템의 적합도를 구한 결과를 보이고 있다. 한국의 경우 A유형의 해체시스템의 점수가 가장 높게 나와 가장 적합한 ELV 해체시스템임을 나타내었다. 하지만 B유형의 해체시스템의 경우에도 A유형의 점수와 크게 차이 나지 않기에 B유형의 해체시스템 또한 사용 가능하다고 판단할 수 있다. 나머지 유형의 해체시스템의 경우 한국에서 발생하는 폐자동차를 처리하기에는 처리용량이 부족하고, 2015년부터 목표로 하는 폐자동차의 재활용률 95%를 달성하기도 어려워 보인다. A유형의 해체시스템의 경우 재활용률 95%를 달성하기 위하여 필수적으로 갖추어야 하는 설비들을 모두 갖추고 있고, 대량의 폐자동차의 처리가 가능하므로 한국의 경우에는 A유형의 해체시스템을 선정하는 것이 가장 적절하다.

중국의 경우 F 유형의 해체시스템이 가장 적합한 해체시스템으로 선정되었고, G 유형의 해체시스템이 다음으로 적합한 해체시스템으로 선정되었다(Figure 10 참조). 중국의 경우 중국 전체의 평균적인 국가특성을 바탕으로 해체시스템의 적합도를 판단하였지만, 지역별로 국가특성의 차이가 크게 나타남을

Carateristics of country		Weight of country		Type of Dismantling plant for End-of-life vehicle								
Main category	Sub category			A	B	C	D	E	F	G	H	
Vehicle data	Scrapped vehicle fleet per 10,000 inhabitants	H	0.70	⊙	⊙							
		N	0.30			⊙	⊙	⊙	⊙			
		L	0.00								⊙	
	Vehicle registrations per 10,000 inhabitants	H	1.00		○	○						○
		N	0.00				○	○	○	○		
		L	0.00									○
Country carateristics	Populations	H	0.48	△	△				△			
		N	0.52			△	△		△			
		L	0.00								△	△
	Population density	H	1.00	⊙	⊙				⊙			
		N	0.00			⊙	⊙		⊙			
		L	0.00								⊙	⊙
	Regulations on ELV & Environment	H	1.00		○		○					
		N	0.00			○		○				
		L	0.00						○	○	○	○
	GNP	H	1.00	⊙	⊙	⊙						
		N	0.00					⊙				
		L	0.00						⊙	⊙	⊙	⊙
infrastructure for material recycling	Steel	H	0.80	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		
		N	0.20								⊙	
		L	0.00									⊙
	Petrochemistry	H	0.80		○	○	○	○	○	○		
		N	0.20								○	
		L	0.00									○
Goodness of fit				41.1	39.9	22.3	12.1	21.2	11.2	2.4	0	
Rank				1	2	3	5	4	6	7	8	

Figure 9. Selection of optimal ELV dismantling system for Korea.

Carateristics of country		Weight of country	Type of Dismantling plant for End-of-life vehicle								
Main category	Sub category		A	B	C	D	E	F	G	H	
Vehicle data	Scrapped vehicle fleet per 10,000 inhabitants	H	0.00	⊙	⊙						
		N	1.00			⊙	⊙	⊙	⊙		
		L	0.00							⊙	⊙
	Vehicle registrations per 10,000 inhabitants	H	0.00	○	○						
		N	0.00			○	○	○	○		
		L	1.00							○	○
Country carateristics	Populations	H	0.00	△	△			△			
		N	0.27			△	△		△		
		L	0.73							△	△
	Population density	H	1.00	⊙	⊙			⊙			
		N	0.00			⊙	⊙		⊙		
		L	0.00							⊙	⊙
	Regulations on ELV & Environment	H	0.00	○		○					
		N	0.79		○		○				
		L	0.21								
	GNP	H	0.00	⊙	⊙	⊙					
		N	0.00				⊙				
		L	1.00					⊙	⊙	⊙	⊙
infrastructure for material recycling	Steel	H	0.80	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		
		N	0.20							⊙	
		L	0.00								⊙
	Petrochemistry	H	0.80	○	○	○	○	○	○		
		N	0.20								○
		L	0.00								○
Goodness of fit			10.6	13.6	17.5	20.5	20.4	26.5	24.5	22.1	
Rank			8	7	6	4	5	1	2	3	

Figure 10. Selection of optimal ELV dismantling system for China.

Carateristics of country		Weight of country	Type of Dismantling plant for End-of-life vehicle								
Main category	Sub category		A	B	C	D	E	F	G	H	
Vehicle data	Scrapped vehicle fleet per 10,000 inhabitants	H	0.2	⊙	⊙						
		N	0.8			⊙	⊙	⊙	⊙		
		L	0							⊙	⊙
	Vehicle registrations per 10,000 inhabitants	H	1.00	○	○						
		N	0.00			○	○	○	○		
		L	0.00							○	○
Country carateristics	Populations	H	1.00	△	△			△			
		N	0.00			△	△		△		
		L	0.00							△	△
	Population density	H	1.00	⊙	⊙			⊙			
		N	0.00			⊙	⊙		⊙		
		L	0.00							⊙	⊙
	Regulations on ELV & Environment	H	0.00	○		○					
		N	0.00		○		○				
		L	1.00					○	○	○	○
	GNP	H	1.00	⊙	⊙	⊙					
		N	0.00				⊙				
		L	0.00					⊙	⊙	⊙	⊙
infrastructure for material recycling	Steel	H	0.80	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		
		N	0.20							⊙	
		L	0.00								⊙
	Petrochemistry	H	0.80	○	○	○	○	○	○		
		N	0.20								○
		L	0.00								○
Goodness of fit			32.2	34	19.2	12	10.6	9.6	114	9	
Rank			2	1	3	4	6	7	5	8	

Figure 11. Selection of optimal ELV dismantling system for USA.

로 중국의 지역별로 적합한 해체시스템을 선정할 수 있는 전략을 다시 세워야 한다. 차후 중국에서 가장 선진화된 동쪽의 베이징과 상하이 같은 대도시, 나머지 동쪽의 도시들과 중서부의 도시들로 나누어 적합한 해체시스템을 선정할 것이다.

미국의 경우 B유형의 해체시스템이 가장 적합한 해체시스템으로 선정되었고, A유형이 다음으로 적합한 해체시스템으로 선정되었다(Figure 11 참조). 미국은 ELV에 관한 법적 규제는 없지만 세계적으로 환경오염에 대한 규제가 강력하고, 가장 많은 폐자동차가 발생하는 국가로 라인타입의 ELV 해체시스템이 적합한 국가이다.

참고로 본 연구 방법을 3개 국가 이외에 다양한 국가에 대

해 적용한 후 국가별로 적합한 상위 3개의 해체 시스템을 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Evaluation results

Country name	Results		
	Best fit(1st)	Good fit(2nd)	Acceptable fit(3rd)
Korea, Rep.	A(41.1)	B(39.9)	C(22.3)
Japan	A(43.2)	B(41)	C(21.2)
United States	B(34)	A(32.2)	C(19.2)
Greece	C(29.7)	A(23.7)	B(22.5)
Slovak Republic	D(24.3)	C(21.3)	F(16.8)
Philippines	E(30.4)	G(25.2)	H(22.8)
China	F(26.5)	G(24.5)	H(22.1)
Thailand	F(28.2)	G(24.9)	E(22.9)
Hungary	G(24.2)	H(21.8)	D(18.8)

5. 결론 및 추후 연구

본 연구는 차량 데이터와 국가특성 및 자원의 재활용 인프라를 고려하여 국가특성에 맞는 국가 맞춤형 ELV 해체시스템을 선정하는 방법을 개발하고, 이를 폐자동차 데이터를 보유한 국가에 적용해 봄으로써 국가별 ELV 해체시스템을 선정하고 평가하였다. 고려한 국가 특성으로는 ELV 및 환경에 대한 법적 규제, 인구 10,000 명당 폐자동차 대수 및 차량 등록대수, 인구수, 인구밀도, GNP, 제철 및 석유화학에 대한 재활용 인프라가 있다.

국가특성에 대한 데이터들은 매년 그 값이 변하고, 불충분하며, 애매한 특성을 가지고 있기에 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 국가특성에 대한 데이터들을 퍼지화하여 해결하고자 하였다. 그러나 결과를 도출하는 방법으로 퍼지-인퍼런스(Fuzzy-inference) 만으로는 적합하지 않다고 판단하여 변형 QFD를 이용하여 국가 맞춤형 ELV 해체시스템 선정을 하였다.

변형 QFD에서는 QFD의 고객 요구조건들을 국가특성으로 변형하였고, 설계 요구조건들을 ELV 시스템 유형으로 변형하였다. 중요도에 국가 가중치를 입력하여 관계 매트릭스의 상관관계 값을 곱하여 종으로 합계하여 각각의 ELV 해체시스템 적합도를 도출하도록 하였다.

식별 변수의 설정에 있어 정량적으로 얻을 수 있는 변수 이외에 ‘ELV 및 환경에 대한 법적 규제’, ‘제철자원 재생 인프라’, ‘석유화학자원 재생 인프라’ 등은 법적규제 및 인프라 존재의 유무만을 고려하는 것으로서 상관관계 정도를 선정하기에 적절하지 않을 수 있다. 하지만 실제로 관련 데이터가 없는 경우가 많고, 국가별 측정기준도 달라 정량화가 어려워서 본 연구에서는 퍼지이론을 도입함으로써 오류를 최소화하도록 노력하였다.

국가특성의 퍼지화와 맞춤형 규칙들을 바탕으로 변형 QFD 매트릭스를 결정하는 방법을 개발하였고, 이를 이용하여 국가별 해체시스템의 적합도를 도출함으로써 최적의 ELV 해체시스템을 선정하는 방법을 제안하고 대표적인 국가들에 대해 적용하였다. 본 연구에서 적용한 퍼지-추론 및 변형 QFD 접근법은 하나의 결과를 도출하기 보다는 여러 대안의 적합도를 판단할 수 있기 때문에 국가별 ELV 해체시스템을 선정하는데 적합한 방법으로 판단된다.

아울러 본 연구와 관련하여 추후 연구를 다음과 같이 정리하였다. QFD의 특성상 관계성 매트릭스(relationship matrix)는 설계자의 주관에 반영되는 특징이 있기 때문에, 본 연구에서 제안한 상관관계 정도에 따른 상관관계(correlation)의 설정근거를 보다 명확하게 제시하는 것이 필요하다. ‘인구밀도’의 경우 특정 도시나 지역/권역으로 세분화함으로써 해체시스템의 유형을 왜곡하는 오류를 최소화 하는 것이 필요하다.

해체시스템이 도입 결정에는 경제성이 중요한 요인이므로, 선정과정에서 국가적 지원 등을 함께 고려하는 것이 필요하다.

감사

본 연구는 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 유용자원 재활용 기술개발사업단 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(과제번호: 2016002260001).

References

1. Yi, H. C., “Development of ELV Dismantling Facilities and High Efficient Process Technology,” Project Report for R&D Program for Valuable Recycling, 2014.
2. Park, J. W., Yi, H. C., Park, M. W., and Sohn, Y. T., “A Monitoring System Architecture and Calculation of Practical Recycling Rate for End-of-Life Vehicle Recycling in Korea,” *Int'l J. Precision Eng. Manufacturing-Green Technol.*, **1**(1), 49-57 (2014).
3. Park, J. W., Yi, H. C., Park, M. W., and Sohn, Y. T., “A Study on Monitoring System Architecture for Calculation of Practical Recycling Rate of End-of-Life Vehicle,” *Clean Technol.*, **18**(4), 373-378 (2012).
4. Oh, J. K., Lee, H. Y., and Kim, S. G., “Evaluation and Analysis of Composition of Shredder Residue from End-of-life Vehicle,” *J. Korean Inst. Resour. Recycling*, **10**(4), 34-41, 2001.
5. Morselli, L., et al., “Automotive Shredder Residue (ASR) Characterization for a Valuable Management,” *Waste Manage.*, **30**, 2228-2234 (2010).
6. Sohn, Y. T., “Development of an Adaptive Design Supporting System for Dismantling Plant of End-of-life Vehicles,” Ph. D. Thesis, Korea University, 2013.
7. Lee, H. Y., Song, J. Y., Yoon, J. H., Hong, J. H., and Lee, W. B., “Trends of Recycling Technology on End of Life Vehicle,” 2004 Conference Proceedings of Korea Society of Precision Engineering, 1244-1247, 2004.
8. Park, S. S., “A Study of Selection of Customized ELV (End-of-Life Vehicle) Dismantling System for Different Countries by Utilizing Fuzzy Theory and Modified QFD,” M. S. Thesis, Yeungnam University, (2015).
9. Park, C. G., and Choi, G. R., “A Fuzzy QFD Approach to the Determination of Importance Weights of Nuclear Quality Assurance Requirements,” *J. Energy Eng.*, **16**(3), 128-148 (2007).
10. Bae, E. S., “Service Quality Improvement for Airlines by Utilizing QFD and Fuzzy Theory,” M.S. Thesis, Hanyang University, 2014.