

DFDA를 이용한 에어 크리너의 분해성 평가 (한일 차량용을 중심으로)

Disassembility Assessment of Air-cleaner by DFDA (For Korea-Japan Passenger-Vehicle)

김 하 수*, 강 회 용*, 양 성 모*, 진 정 선**
Hasu Kim*, Heeyong Kang*, Sungmo Yang*, Jungsun Jin**

Abstract

A disassembility assessment has mostly depend on the subjective decision making from the qualitative element. The work of disassembly is already classified with given disassemble points from the symbolic chart method. It is not useful in the practical assessment because it is not specified. The new method of design for disassembility assessment(DFDA) is practical to introduce the fuzzy number as the conversion of quantitative element from qualitative. It is applied to compare the usefulness of air-cleaner in Korea-Japan passenger-vehicle.

Key word : Disassembility(분해성), DFDA(Design for disassembility assessment : 분해성 평가), Symbolic chart method(원리도화법), Fuzzy number(퍼지수), Air-cleaner(에어크리너)

1. 서론

모든 제품은 그 생산에서 최종 폐기물이 될 때까지 어떤 형태를 환경 부하를 일으키는데 이는 지구환경, 폐기물 처리를 포함한 다양한 환경문제에 영향을 끼친다. 또한 최근의 경제발전과 소비자의 생활수준 향상에 따라 제품이 점차 대형화, 고기능화를 목표로 생산되고 있고 또한 폐기물의 배출량이 매년 증가하고 있으며 이들의 처리·처분이 사회문제로 대두되고 있다.

이에 따라 폐기물의 감량화와 재 자원화가 긴급한 현안문제로 되고있다. 이렇게 환경성을 증진시키기 위해서는 환경부하요소를 정량화 할 수 있는 방법이 필요하게 되었으며 각 분야에서 리사이클링을 위한 분해성 평가가 이루어지고 있다.^[1]

특히 자동차는 생산에서 다양한 종류의 원재료가 소모되고, 생산 단계에서 인공적인 수단으로 여러가지의 재료를 가공, 조립한 것이기 때문에 폐 자동차를 인공적으로 분해 혹은 해체하지 않고 자원으로 분리하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 효율적인 재사용과 재활용을 위해서는 폐차 시 분해되어 처리되어야만 한다.^[2]

최근 폐기물의 누적에 의한 환경적 요소와 자원 고갈의 위협으로 리사이클성을 고려한 분해성 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 발표사례 또한 증가되고 있다.

Wei Li와 Chuck Ahang는 부품간의 조인트 연결 부위의 관계를 파악하여 그 순서도를 설정하여 가장 폐기비용이 적은 부분을 찾아 분해 및 조립 용이성을 평가하였고^[3], Boothroyd는 자동차 구동장치부분의 체결부위를 줄임으로써 분해시간과 비용을 단축시키기 위한 재 설계방안을 제시하였다.^[4] 中村茂弘은 산업현장에서 쓰이는 다양한 부분의 기술을 분류하여 표로 제시하였고^[5], 嶺木傳幸은 자동차부품의 재료구성과 리사이클을 위한 설계 및 결합 예를 보임으로 분해성 평가를 보였다.^[6] 그러나 분해성 평가방법은 어느 정도 방법과 기술에 따라 그 오차가 있고 숙련자마다 다르기 때문에 많은 사항을 고려해 주어야 하므로 복잡하다.

본 연구는 분해성 평가를 좀더 정확하고 정량적인 방법을 위해 각 산업체에서 활용된 바 있는 원리도화표를 이용하여, 퍼지이론을 적용시켜 새로운 관점에서 분해성 평가식을 세우고, 이를 한국과 일본에서 차량용으로 널리 쓰이는 클립식 에어크리너의

* : 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소

** : 국립 익산대학 기계과

평가에 적용시켜 보았다.

2. 연구내용

2.1 원리도화법

원리도화표는 리사이클 설계에 필요한 분해성에 대한 기술수단의 평가검토와 함께 축적된 정보를 구사하여 분해성에 유효한 리사이클 대책에서 효과가 있는 요소 기술을 추출하기 쉬운 형태로 표시하고 요점을 정리 한 것이다.

원리도화법을 사용한 평가 법에서는 우측상부의 기호가 조립품의 분해성을 나타낸다는 것을 의미하고 있다. 표의 수치는 조립품을 분해하는 공수, 실시상의 문제 등을 실점(失點)으로 나타낸다.

이는 정성적인 요소를 정량적인 수치로 나타낸 것으로 Table 1에서 보는바와 같이 왼쪽은 점수가 낮아질수록 이윤이 낮아지는 것을 나타내고 오른쪽은 분해 및 조립의 난이도가 높아지는 것을 나타낸다.

실점이란 분해 및 조립과정에서 전체 점수에서 마이너스되는 점수로써 이의 기준은 위쪽에서부터 RP(Repeat)의 No.를 정하고 있다. No.가 높을수록 분해성의 난이도가 높아진다. 또 같은 No.라도 횡축에 표시된 항목이 발생하면 실점을 가산해야 하는 방법이다.

2.2 평가방법

평가방법에는 RP- I 식은 각 부위의 위치를 기본으로 평균점을 계산하는 식이다. 이 목적은 전체대상이 리사이클 용이성에 적합하고 있는가를 알아보는 것이고, 동시에 실점이 많은 부분의 개선여부를 나타낸다. 동시에 평균값을 높이는 대상을 선정하여 개선대상으로 정한 목적에 사용한다.

$$RP - I = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \quad \text{----- (1)}$$

여기서, S_i 는 각 요소의 득점을, P_i 는 각 요소의 공정을 나타낸다.

2.3 퍼지이론 [7]~[9]

퍼지 제어에서는 퍼지변수로서 정규화 한 것을 이용하여 전체집합도 정규화하는 경우가 많다. 대개 이산화된 전체집합의 영역을 $[-U, +U]$ 내에서 구역별로 크기변환을 시키는데, 이 경우 크기변환은 선형적으로 할 수도 있고, 비선형적으로 이루어질 수도 있다. 그 결정은 실제 측정 환경을 고려해서 정해주게 된다.

입·출력변수의 언어값의 이산화에 대하여 생각하면 경험적 연속 퍼지값을 이산화하는 것은 연속 퍼지 집합을 이산의 퍼지집합으로 변환하는 과정이며. 퍼지집합 A는

$$A = \int_{x \in X} \frac{(x, \mu_A(A))}{x} \quad \text{----- (2)}$$

이므로 퍼지집합A의 이산화는 대집합 X와 $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 의 이산화를 필요로 한다.

입력은 보통의 수치값이어야 하므로 근사추론 퍼지값을 보통의 수치값 u 로 변환할 필요가 있다. 퍼지값을 비퍼지값으로 변환하는 것을 비퍼지화라한다. 퍼지제어규칙이 N개이고 주어진 수치적인 입력값에 대하여 i 번째 규칙의 적합도가 w_i ($i = 1, 2, \dots, N$)이며, i 번째 규칙만에 의한 추론결과가 A_i' ($i = 1, 2, \dots, N$)이라 하면, 전체규칙에 의한 추론결과 u 의 퍼지값이고 $\mu_{A'}(u)$ 는 무게중심법을 사용하여 구한다. 대집합 U를 N개로 이산화했을 경우 A' 의 비퍼지값 u^* 는 식(3)과 같이 정의된다.

개개의 퍼지규칙에 의한 근사추론 결과를 무게중심법으로 비퍼지화한 후 전체 규칙에 의한 비퍼지화된 추론결과 u^* 는 식(4)과 같다.













$$u^* = A' = \frac{\sum_{j=1}^N \mu_{A'}(u_j) \cdot u_j}{\sum_{j=1}^N \mu_{A'}(u_j)} \quad \text{----- (3)}$$

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^N u_i^* w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (w_i : \text{weight}) \quad \text{----- (4)}$$

2.4 세부 요소들의 가중치 결정

세부요소들이 분해성에 미치는 영향은 각각 가중치를 주어서 계산을 한다. 이러한 가중치를 주는 방법 중에 주관적인 방법으로 두 가지의 대안을 놓고,

Table 1 The symbolic chart method

| RP No. | | Element of base | | | | | | Addition works |
|--------|--|---------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------|---|
| | | A basic negative point | B conveyance movement | C need of rotating motion | D settling the axle | E need of 0.9kg by the hands | F need of expert | |
| 1 | Downward extracting  | 0 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | Use tool with hands -5 |
| 2 | Upward extracting  | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | Unvisual case -15 |
| 3 | Sideward extracting  | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | Need of safe protection -20 |
| 4 | Fixing extracting  | -5 | -5 | -5 | -5 | -10 | -5 | Need of separation removal -20 |
| 5 | Check opening  | -5 | -10 | -5 | -5 | -10 | -5 | With special tool -5 |
| 6 | Spring pushing movement  | -10 | -10 | -5 | -10 | -10 | -5 | Need of vibration, environment case -15 |
| 7 | Spring pushing extracting  | -10 | -10 | -5 | -10 | -10 | -5 | Need of energy cost -20 |
| 8 | Turning separation  | -15 | -10 | -5 | -10 | -10 | -5 | Take a working time -10 |
| 9 | Turning extracting  | -20 | -15 | -10 | -10 | -5 | -5 | Special processing of ruined component -20 |
| 10 | Drawing  | -20 | -10 | -15 | -15 | -5 | -5 | Need of washing and special management -20 |
| 11 | Pin extracting  | -25 | -10 | -15 | -20 | -5 | -5 | etc.. -5~-20 |
| 12 | Stationary fit  | -30 | -15 | -15 | -20 | -5 | -5 | |

서로 상대적인 중요성을 비교하는 쌍대 비교법이 있다. 분해 및 조립 작업자의 사용목적과 작업장 상황 등을 고려하여 쌍대 비교를 실시해야 한다. 작업자들이 상대적으로 중요하다고 생각되는 분해성 요소 즉, 재질, 제품의 형상, 작업공간, 분해형태, 비용 등에 1를 기입하고, 이것을 정리하여 각 요소의 합을 구하고 이를 항목 전체의 수로 나누어 가중치를 정한 다음 분해성 타겟에 표시한다. 이것은 실험에 참여한 작업자의 경험으로 이루어지기 때문에 제품에 따라 변동요인이 될 수 있으며, 필요에 따라 요소들은 추가 또는 수정이 가능하다.

3. DFDA식

원리도화법을 사용한 평가 법에서 제품의 분해용 이성을 나타내는 RP-I 식과 비퍼지화한 추론값 u^* 를 곱하면 제품간의 분해성 정도를 평가할 수 있는 식을 얻을 수 있다.

$$DFDA = RP-I \times u^* \text{ ----- (6)}$$

이식을 DFDA(design for disassembly assessment)식이라 하고, 본 연구의 결론식으로 한다.

지금까지는 산업공학적으로 해석한 분해성 평가 정도로 가중치나 실험계획법에 따른 개인차정도만을 줄이기 위한 방법만 있었다. 실제 기계공학과 접목하여 제품간의 정량적인 평가를 내린다는 것은 거의 불가능하였다.

그러나 본 연구식에 의한 방법은 재 설계시 모 제품간의 분해성 차이를 보이고 이를 어느 정도까지 분해성을 높여주어야 제품간에 분해정도가 평이하게 되고 가장 정도가 힘든 제품을 찾아 조정 가능하게 함으로써 아주 미세한 차이까지 나타낼 수가 있다.

4. 고찰

본 장에서는 분해성 평가식인 DFDA식을 이용하여 차량용 에어크리너의 분해성을 평가하였다. 차량용 에어크리너는 한국과 일본에서 널리 쓰이는 각사의 같은 규격의 모델별로 하였으며, 실험에 참여한 작업자는 차량을 분해 및 조립한 경험이 많으며 제품의 특징들을 숙지한 사람에 한하였다.

실험 방법은 각 사의 모델 형태에 따라 분류하였

다. 먼저 개인별로 각 제품사의 모델을 선정하고 작업자와 측정자를 각각 배치하여 측정하였다.

Table 4는 클립 형태의 제품을 각 모델의 종류로 분류하여 실험을 한 경우의 분해 및 조립 시간을 나타낸다. Table 5는 클립 형태의 제품을 각 모델의 종류로 분류하여 실험을 한 경우의 공정에 따른 공수를 나타낸다. 이는 직접 실험자가 분해 동작을 실시함으로써 얻어진 실험값이다.

Table 4 Disassembly time

| Car | Korea | | | Japan | | |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Model | Square 4 clip | Circle 4 clip | Circle 4 clip | Square 4 clip | Circle 2 clip | Circle 3 clip |
| 1 | 45 | 58 | 60 | 26 | 30 | 50 |
| 2 | 57 | 72 | 80 | 38 | 31 | 56 |
| 3 | 65 | 49 | 105 | 53 | 64 | 54 |
| 4 | 57 | 105 | 59 | 39 | 92 | 62 |
| 5 | 75 | 119 | 82 | 80 | 32 | 64 |
| 6 | 67 | 88 | 54 | 33 | 25 | 54 |
| 7 | 45 | 90 | 131 | 35 | 55 | 61 |
| 8 | 52 | 67 | 92 | 18 | 31 | 54 |
| 9 | 59 | 70 | 75 | 27 | 42 | 53 |

Table 5 Work number

| Car | Korea | | | Japan | | |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Model | Square 4 clip | Circle 4 clip | Circle 4 clip | Square 4 clip | Circle 2 clip | Circle 3 clip |
| 1 | 9 | 10 | 10 | 9 | 10 | 18 |
| 2 | 11 | 12 | 11 | 11 | 10 | 19 |
| 3 | 12 | 9 | 12 | 13 | 13 | 18 |
| 4 | 10 | 13 | 10 | 11 | 15 | 20 |
| 5 | 13 | 15 | 10 | 14 | 10 | 20 |
| 6 | 12 | 13 | 10 | 10 | 9 | 18 |
| 7 | 9 | 13 | 14 | 11 | 13 | 19 |
| 8 | 10 | 12 | 14 | 9 | 10 | 18 |
| 9 | 11 | 11 | 12 | 9 | 12 | 18 |

지금까지 테이블별로 분해시간과 공수를 알아보았다. 그러나 분해성 평가를 하기 위해서 퍼지수 변환을 시켜야 하므로 각 테이블에 따른 퍼지수로 변환을 실시하여야 한다. Table 6은 클립 형태의 분해시간을 퍼지수로 변환시킨 값을 나타낸다. Table 7은 클립 형태의 공정에 따른 공수를 퍼지수로 변환시킨 값이다.

앞서 설명한 바와 같이 차량용 에어크리너를 분해를 실시한 작업자들간에 중요도를 표시하도록 하여 쌍대 비교법에 의한 가중치를 계산하였고, 이것

을 Fig.1에 나타내었다.

여기서 실험에 임한 한일 양국의 작업자들의 가중치를 비교한 결과, 제품의 형상과 분해형태에 33%와 30%의 가중치를 주었으며, 작업공간에 있어서는 20%와 15%로 한국이 33% 더 중요시하는 것으로 나타났다. 반면에 재질은 일본이 36% 더 중요시하는 것으로 조사되었다.

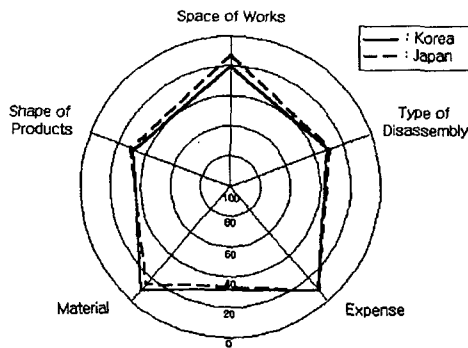


Fig.1 Comparative target of disassembly

주어진 입력값 즉, Table 6과 Table 7에 따라 출력값을 계산하는 방법으로는 프로그램을 이용하여 그 결과값을 찾으면 Table 8의 u^* 와 같다.

Fig. 2는 A사의 제품을 프로그램화시킨 결과값들을 나타내고 그 외의 결과는 지면상 Table 8과 같은 표로 나타내었다.

본 연구에서 연구자하는 각 제품간의 차량용 에어크리너의 최종 분해성 평가식인 DFDA식을 이용하여 Table 8과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 6 Fuzzy time

| Car | Korea | | | Japan | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Model | Square 4 clip | Circle 4 clip | Circle 4 clip | Square 4 clip | Circle 2 clip | Circle 3 clip |
| 1 | 0.34 | 0.44 | 0.46 | 0.20 | 0.23 | 0.38 |
| 2 | 0.44 | 0.55 | 0.61 | 0.29 | 0.24 | 0.43 |
| 3 | 0.50 | 0.37 | 0.80 | 0.40 | 0.49 | 0.41 |
| 4 | 0.44 | 0.80 | 0.45 | 0.30 | 0.70 | 0.47 |
| 5 | 0.57 | 0.91 | 0.63 | 0.61 | 0.24 | 0.49 |
| 6 | 0.51 | 0.67 | 0.41 | 0.25 | 0.19 | 0.41 |
| 7 | 0.34 | 0.69 | 1.00 | 0.27 | 0.42 | 0.47 |
| 8 | 0.40 | 0.51 | 0.70 | 0.14 | 0.24 | 0.41 |
| 9 | 0.45 | 0.53 | 0.57 | 0.21 | 0.32 | 0.40 |
| Mean | 0.44 | 0.61 | 0.63 | 0.30 | 0.34 | 0.43 |

Table 7 Fuzzy work number

| Car | Korea | | | Japan | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Model | Square 4 clip | Circle 4 clip | Circle 4 clip | Square 4 clip | Circle 2 clip | Circle 3 clip |
| 1 | 0.45 | 0.50 | 0.50 | 0.45 | 0.50 | 0.90 |
| 2 | 0.55 | 0.60 | 0.55 | 0.55 | 0.50 | 0.95 |
| 3 | 0.60 | 0.45 | 0.60 | 0.65 | 0.65 | 0.90 |
| 4 | 0.50 | 0.65 | 0.50 | 0.55 | 0.75 | 1.00 |
| 5 | 0.65 | 0.75 | 0.50 | 0.70 | 0.50 | 1.00 |
| 6 | 0.60 | 0.65 | 0.50 | 0.50 | 0.45 | 0.90 |
| 7 | 0.45 | 0.65 | 0.70 | 0.55 | 0.65 | 0.95 |
| 8 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.45 | 0.50 | 0.90 |
| 9 | 0.55 | 0.55 | 0.60 | 0.45 | 0.60 | 0.90 |
| Mean | 0.54 | 0.60 | 0.57 | 0.54 | 0.56 | 0.93 |

각 사의 제품의 분해성 평가를 기존의 방법인 RP-I 과 새로운 방법인 DFDA식으로 평가하였을 경우 기존의 방법은 A, B, C사의 경우 평가가 난해하지만 DFDA의 경우 그 비교평가가 확실함을 알 수 있다.

한일 모두 정방형 에어-크리너가 원형에 비해 분해성이 우수한 것을 알 수 있다. E와 F의 경우, E는 클립이 2개인 반면 새 제품으로 교환시 꺼내고 넣기가 불편하며, F는 가운데 부분에 고정나사가 있어 이것을 회전하여 분리한 다음 3개의 클립을 분리한다. RP-I 식은 비슷하지만 DFDA식은 현저한 차이를 보인다. 다시말해 고정나사가 들어 있는 것보다는 다소 불편해도 원형 2클립식이 더 우수한 분해성을 나타낸다.

이와 같이 한일 양국의 분해에 임한 작업자는 달라도, 평균분해시간은 짧아도 절대적인 비교가 가능하다.

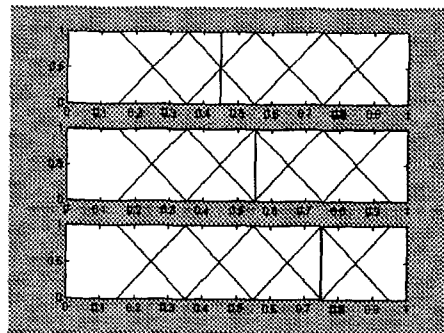


Fig. 2 Result of A car products

Table 8 Results of DFDA

| Car | Korea | | | Japan | | |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Model | Square 4 clip | Circle 2 clip | Circle 3 clip | Square 4 clip | Circle 2 clip | Circle 3 clip |
| u^* | 0.7500 | 0.4328 | 0.4866 | 0.7531 | 0.7500 | 0.3500 |
| RP- I | 95.0 | 95.0 | 95.0 | 94.2 | 91.0 | 90.0 |
| DFDA | 71.25 | 41.12 | 46.23 | 70.94 | 68.25 | 31.50 |

5. 결론

본 논문은 원리도화법과 퍼지이론을 이용하여 DFDA식을 세우고, 실제 한국과 일본에서 사용되는 차량용 에어-크리너를 제품 모델별로 분류하여 그 분해성 정도를 평가하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 한국의 작업자들이 일본의 작업자들보다 작업 공간에 있어서 33% 더 분해성에 영향을 준다고 조사되었다.
2. RP-I식으로는 식별이 안 되는 분해성을 DFDA식으로 정확하게 구별할 수 있다.
3. 6개 제품의 분해성 평가에서 한국의 A사 정방형 클립식 제품이 71.25로 우수하다.

참고문헌

1. Peter Dewhurst, "Design for Disassembly-the basis for efficient service and recycling. University of Rhode Island, Dept. of Industrial and Manufacturing Engineering, Report No.63.
2. Feoffrey Boothroyd, "Product Design for Manufacture and Assembly", CAD Vol. 26, BH Ltd.1994.7
3. W. Li, C. Zhang and Samuel Awoniyi, " Design for Disassembly Analysis for Environmentally Conscious Design and Manufacturing", Med - Vol. 2 - 2 / MH - Vol, ASME 1995.
4. Feoffrey Boothroyd, " Product Design for Manufacture and Assembly", CAD Vol. 26, BH Ltd. 1994.7.
5. 中村茂弘, "リサイクル容易化製品開発", 日本ビ

デネスレポート 株式会社, 1996

6. 嶺木傳幸, "Examples of Recycling Design for Automobile", 日本機械學會誌, Vol.101 No.954, 1998. 5.
7. F. Rhee, "Knowledge Based Fuzzy Control of System", IEEE, Vol. 35, No.2 pp.148-155 Feb. 1990.
8. L. Valverde, "On the Functional Approach to Approximate Reasoning Models", Proceedings on Fuzzy Logic & Neural Networks, July, 20-24, Iizuka, Japan, pp.743-746, 1990.
9. C. C. Lee, "Intelligent Control Based on Fuzzy Logic and Neural Net Theory", Proceedings on Fuzzy Logic & Neural Networks, July, 20-24 Iizuka, Japan, pp.759-764, 1990.