

퍼지이론을 이용한 차량용 에어크리너의 DFDA

Disassembily Assessment of Air-cleaner in Passenger-vehicle by Fuzzy

진 정 선,* 김 하 수,* 강 희 용,* 양 성 모,* 용 부 중,**
Jungsun Jin, Hasu Kim, Heeyong Kang, Sungmo Yang, Boojoong Yong

Abstract

A disassembily 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 disassembily assessment(DFDA) is practical to introduce the fuzzy number as the conversion of quantitative element from qualitative. It is applied to air-cleaner of passenger-vehicle for the usefulness.

주요기술용어 : Disassembily(분해성), Symbolic chart method(원리도화법), DFDA(Design for disassembily assessment : 분해성 평가), Fuzzy number(퍼지수), Air-cleaner (에어크리너)

Nomenclature

S_i : score
 M_i : number of work
 P_i : process
 EP : expertness

1. 서 론

최근의 경제발전과 소비자의 생활수준 향상에 따라 제품이 점차 대형화, 고기능화를 목표로 생산되고 있다. 이와 더불어 폐기물의 배출량이 매년 증가하고 있으며, 이들의

처리가 사회문제로 대두됨에 따라 폐기물의 감량화와 재자원화가 긴급한 현안문제로 되고 있다. 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 여러 가지의 재료를 가공, 조립한 것이기 때문에 폐 자동차를 인공적으로 분해 혹은 해체하지 않고 자원으로 분리하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 효율적인 재사용과 재활용을 위해서는 폐차시 분해되어

* 회원, 전북대학교 기계공학부
자동차신기술연구소

* 회원, 경일대학교 기계공학부

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 연결부위의 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 차량용 에어크리너의 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 형으로 표시하고 요점을 정리한 것이다.

원리도화법을 사용한 평가 법에서는 우측 상부의 기호가 조립품의 분해성을 나타낸다는 것을 의미하고 있다. 표의 수치는 조립품

을 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 점수로서 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 식과 RP-II 식이 있는데 이는 선진국에서 쓰이는 평가식과 약간의 차이가 있지만 식이 뜻하는 의미는 원칙적으로 같다.



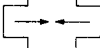
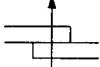
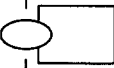
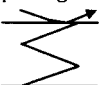
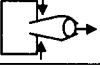



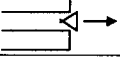

식(1)은 각 부위의 위치를 기본으로 평균점을 계산하는 식이다. 이 목적은 전체대상이 리사이클 용이성에 적합하고 있는가를 알아보는 것이고, 동시에 실점이 많은 부분의 개선여부를 나타낸다. 동시에 평균값을 높이는 대상을 선정하여 개선대상으로 정한 목적에 사용한다. 식(2)은 제품의 전 분해정도를 나타내는 것으로 숙련도에 따라 달라진다. 그러므로 이식을 통하여 각 개인 숙련도의 정도를 파악하고 되도록 작업수를 줄이기 위한 방법을 모색한다.

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

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

$$RP - II = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \quad (2)$$

Table 1 The symbolic chart method

RP No.		Element of base						Addition works
		A	B	C	D	E	F	
		basic negative point	conveyance, movement	need of rotating motion	settling the axle	need of 0.9kg by the hands	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	

2.3 퍼지이론⁷⁻¹⁰⁾

퍼지 제어에서는 퍼지변수로서 정규화 한 것을 이용하여 전체집합도 정규화하는 경우가 많다. 대개 이산화된 전체집합의 영역을 $[-U, +U]$ 내에서 구역별로 크기변환 시키는 데, 이 경우 크기변환은 선형적으로 할 수도 있고 비선형적으로 이루어질 수도 있는데, 그 결정은 실제 측정 환경을 고려해서 정해 주게 된다. Fig. 1은 연속 퍼지 함수값을 삼각형으로 이산화시켰을 경우를 나타낸 것이다.

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

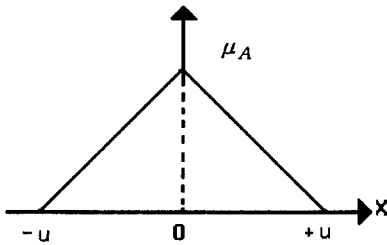


Fig. 1 Shape of function

$\int_{x \in X} \frac{(x, \mu_A(A))}{x}$ 로 표현되므로 퍼지집합 A의 이산화는 대집합 X와 $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 의 이산화를 필요로 한다.

입출력공간의 퍼지분할(Primary fuzzy subset)은 입출력변수들의 언어값을 결정하는 것으로 퍼지규칙의 작성과 밀접한 관계가 있다. Fig. 2는 입출력변수들의 언어값 작성표를 나타낸 것이다. 여기서 VG는 Very Good, G는 Good, N은 Normal B는 Bad, VB는 Very Bad를 나타낸다. Fig. 3은 Fig. 2를 통해 얻어낸 결과를 도식화한 것이다.

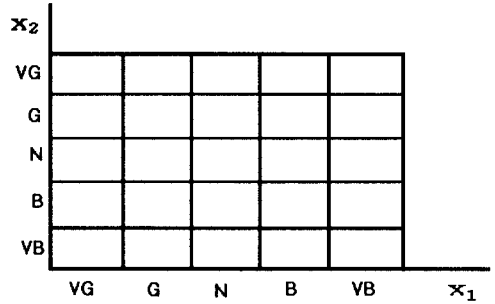


Fig. 2 Input value set

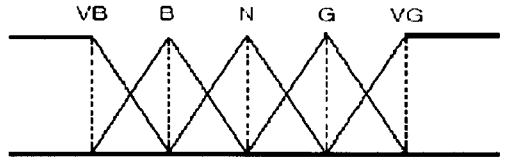


Fig. 3 Output value

입력은 보통의 수치값이어야 하므로 근사 추론 퍼지값을 보통의 수치값 u 로 변환할 필요가 있다. 퍼지값을 비퍼지값으로 변환하는 것을 비퍼지화라한다. 퍼지제어규칙이 N개이고 주어진 수치적인 입력값에 대하여 i 번째 규칙의 적합도가 $w, i=1, 2, \dots, N$ 이며, i 번째 규칙만에 의한 추론결과가 $A_i', i=1, 2, \dots, N$ 이라 하면, 전체규칙에 의한 추론결과 u 의 퍼지값이고 $\mu_{A'}(u)$ 가 Fig. 1과 같은 경우에 무게중심법과 같은 방법이 많이 사용된다. 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.

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

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

2.4 쌍대비교를 통한 세부요소들의 가중치결정

복잡도에 세부요소들이 미치는 영향은 각각의 세부요소들에 가중치를 주어서 계산을 한다. 이러한 가중치를 주는 방법은 여러 가지 있지만 대부분은 주관적인 방법으로 두 가지의 대안을 놓고 서로 상대적인 중요성을 비교하는 쌍대 비교법이 있다.

이러한 쌍대 비교를 실시하기 위해서는 분해 및 조립 수행체에 사용목적과 작업장의 상황 등을 종합적으로 고려하여 쌍대 비교를 실시해야한다. Table 2는 종축에는 숙련자들이 가장 중요하다고 생각되는 분해성 요소를 횡축에는 제품의 분해에 참여한 인원들을 정리한 것이다.

Table 2 Comparative of both parties

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Weight
Shape of products	1				1				1	3	3/10=0.3333
Type of disassembly		1	1	1						3	3/10=0.3333
Space of works						1			1	2	2/10=0.2
Material							1			1	1/10=0.1111
Expense								1		1	1/10=0.1111
Total										10	1.0

이 표는 숙련자들간에 제품의 분해성 여부에서 가장 중요하다고 생각되는 곳에 1을 기입함으로써 전체 합산을 통해 주관적 요소인 가중치란에 종축의 항목의 계를 전체 계로 나누어줌으로써 가중치를 정한다. 중요도는 실험에 참여한 실험자의 경험으로 이루어지기 때문에 제품에 따라 변동요인이 될 수 있으며 필요에 따라 종축 항목

은 언제든지 추가 또는 수정이 가능하다.

3. DFDA식

쌍대비교를 실시 후 각각에 대한 가중치의 정도를 CW라하고 실험을 실제 실시 후 각 제품의 전체 평균 분해정도를 전체 평균분해 시간으로 나눈 정도 즉, 숙련도를 EP라고 하면 다음 식을 세울 수 있다.

이를 Qi라 하자.

$$Q_i = \sum_j EP \times CW \quad (5)$$

여기에서 EP : Expertness

CW : Each of weight

또한 RP-I 식과 RP-II 식을 합성하면 제품의 분해공정과 공수에 따른 숙련여부 및 평균적인 분해성 정도를 평가할 수가 있다. 식(1)과 식(5) 식(2)와 식(4)를 합성하고 최종적으로 이를 합하면 최종 결론식인 분해성 평가식을 얻을 수 있다. 이는 식(6)과 같다.

$$DFDA = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \times \sum_j EP \times CW + \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \times \left(\frac{\sum_{i=1}^N u_i^* w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \right) \quad (6)$$

이식을 DFDA(design for disassembly assessment)식이라 하고 최종 본 연구의 결론식이라 볼 수 있다.

이식을 통하여 제품간의 분해성 정도, 숙련도에 따른 개인차, 제품의 형상 및 평가와 제품의 분해성 정도를 조정할 수가 있다. 지금까지는 산업공학적으로 해석한 분해성 평가정도로 가중치나 실험계획법에 따른 개인차정도만을 줄이기 위한 방법만 있었다. 실제 기계공학과 접목하여 제품간의 정량적인 평가를 내린다는 것은 거의 불가능하였다. 그러나 본 연구식에 의한 방법은 재 설계시도 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. 고 찰

본 장에서는 분해성 평가식인 DFDA식을 이용하여 차량용 에어크리너의 분해성을 평가하였다. 차량용 에어크리너는 각 사의 같은 규격의 모델별로 하였으며 실험에 참여한 실험자는 모두 숙련자로서 차량을 분해 및 조립한 경험이 많으며 제품의 특징들을 숙지한 사람에 한하였다.

실험 방법은 각 사의 모델 형태에 따라 먼저 나누고 모델이 비슷한 것끼리 분류하였다. 먼저 개인별로 각 제품사의 모델을 선정하고 실험자와 측정자를 각각 배치하여 측정하였고 오차를 줄이기 위해 한 사람에 하나의 모델만을 분해하도록 하였다.

Table 3은 클립과 스크류 형태의 제품을 각 모델의 종류로 분류하여 실험을 한 경우의 분해 및 조립 시간을 나타낸다. Table 4는 클립과 스크류 형태의 제품을 각 모델의 종류로 분류하여 실험을 한 경우의 공정에 따른 공수를 나타낸다.

이는 직접 실험자가 분해 동작을 실시함으로써 얻어진 실험값이다.

Table 3 Disassembly time

Clip type				Screw type	
A	B	C	D	E	F
125s	45s	58s	60s	181s	212s
150s	57s	72s	80s	215s	162s
80s	65s	49s	105s	170s	157s
152s	57s	105s	59s	185s	209s
185s	75s	119s	82s	245s	188s
115s	67s	88s	54s	147s	197s
192s	45s	90s	131s	190s	238s
153s	52s	67s	92s	163s	215s
130s	59s	70s	75s	178s	132s

Table 4 Work number

Clip type				Screw type	
A	B	C	D	E	F
16	9	10	10	25	26
17	11	12	11	27	20
14	12	9	12	23	22
18	10	13	10	26	25
20	13	15	10	28	24
15	12	13	10	19	25
20	9	13	14	22	27
18	10	12	14	19	24
17	11	11	12	21	22

지금까지 테이블별로 분해시간과 공수를 알아왔다. 그러나 분해성 평가를 하기 위해서 퍼지수 변환을 시켜야 하므로 각 테이블에 따른 퍼지수로 변환을 실시하여야 한다.

Table 5 Fuzzy time

Clip type				Screw type	
A	B	C	D	E	F
0.65	0.23	0.38	0.31	0.89	0.93
0.78	0.30	0.38	0.42	0.96	0.71
0.42	0.34	0.26	0.55	0.82	0.79
0.79	0.30	0.55	0.31	0.93	0.89
0.92	0.40	0.62	0.43	1	0.86
0.60	0.35	0.46	0.28	0.68	0.89
1	0.23	0.47	0.68	0.79	0.96
0.77	0.27	0.35	0.48	0.68	0.86
0.68	0.31	0.36	0.39	0.75	0.79
Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
0.73	0.30	0.42	0.42	0.83	0.85

Table 5는 클립과 스크류 형태의 분해시간을 퍼지수로 변환시킨 값을 나타낸다. Table 6은 클립과 스크류 형태의 공정에 따른 공수를 퍼지수로 변환시킨 값이다.

앞서 설명한 바와 같이 차량용 에어크리너를 분해를 실시한 숙련자들간에 중요도를 표시하도록 하여 쌍대 비교법에 의한 가중치를 계산하였고, 이는 Table 2과 같이 나왔다.

주어진 입력값에 따라 출력값을 계산하는 방법으로는 프로그램을 이용하여 그 결과값을 찾는다.

Table 6 Fuzzy work number

Clip type				Screw type	
A	B	C	D	E	F
0.8	0.45	0.5	0.5	0.74	0.87
0.85	0.55	0.6	0.55	0.88	0.66
0.7	0.6	0.45	0.6	0.69	0.64
0.9	0.5	0.65	0.5	0.76	0.85
1	0.65	0.75	0.5	1	0.77
0.75	0.6	0.65	0.5	0.6	0.80
1	0.45	0.65	0.7	0.78	0.97
0.9	0.5	0.6	0.7	0.67	0.88
0.85	0.55	0.55	0.6	0.73	0.54
Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
0.86	0.54	0.60	0.57	0.76	0.78

Fig. 4는 A사의 제품을 프로그램화시킨 결과값들을 나타내고 그 외의 결과는 지면상 Table 7과 같은 표로 나타내었다.

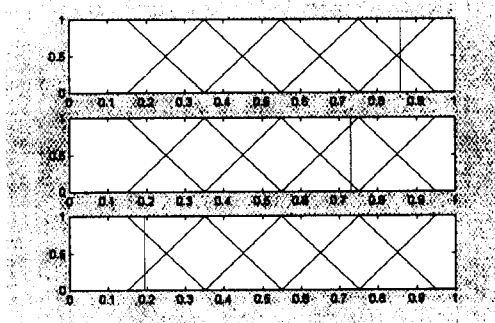


Fig. 4 Result of A products table

Table 7 u^* value of products

Group	Type		Model	u^*
	Clip type	Panel	A	0.1948
B			0.7565	
Round		C	0.6169	
		D	0.6788	
Screw type		E	0.1636	
		F	0.1655	

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

Table 8 Result of DFDA

Group	Type		Model	DFDA
	Clip type	Panel	A	23.03
B			73.36	
Round		C	60.94	
		D	66.72	
Screw type		E	19.51	
		F	19.94	

Table 9는 Table 8에서 나온 결과와 기존의 방법을 비교한 것이다. 각 사의 제품의 분해성 평가를 기존의 방법인 RP- I 과 새로운 방법인 DFDA식으로 평가하였을 경우 기존의 방법은 B, C, D사의 경우 평가가 난해하지만 DFDA의 경우 그 비교평가가 확실함을 알 수 있다.

Table 9 Comparative of results

	DFDA	RP- I
A	23.03	93.33
B	73.36	95
C	60.94	95
D	66.72	95
E	19.51	73
F	19.94	89

5. 결론

본 논문은 원리도화법과 퍼지이론을 통하여 DFDA식을 세웠고 실제 차량용 에어크리너를 제품 모델별로 분류하여 그 분해성 정도를 평가하였다. 본 논문에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 정성적인 방법을 정량적인 값으로 표현하기 위한 평가로 숙련자의 경험적 지식과 산업현장 기술을 적용시킨 분해성 평가식인 DFDA식을 세웠다.
- 2) 차량용 에어크리너를 DFDA식을 이용하여 평가하였다.
 - ① 각 사의 제품 중에서 분해성이 가장 나쁜 것은 클립 타입의 경우 A사 제

품인 것으로 나타났다. 이는 분해성 정도가 가장 좋은 제품인 B사의 경우보다 약 68.61%나 되었다.

- ② 스크류 타입에서는 분해성이 가장 좋지 않은 것은 E사 제품으로 F사에 비해 2.16%정도의 차이를 보였다.

참 고 문 헌

- 1) P. 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) H.-H. Joo, H.-C. Yi, and K.-L. Cho, "Disassemblability Evaluation for the Products Using an Ease-of-Disassembly Design Method", KSPE, Vol. 16, No. 8, 1999. 8.
- 3) W. Li, C. Zhang and S. Awoniyi, "Design for Disassembly Analysis for Environmentally Conscious Design and Manufacturing", Med - Vol. 2 - 2 / MH - Vol, ASME 1995.
- 4) F. 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發", 日本ビジネスレポート 株式會社, 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) D. Dubois, "Processing Fuzzy Temporal Knowledge", IEEE, Vol.19 No.4 pp.87-90, 1989.
- 8) F. Rhee, "Knowledge Based Fuzzy Control of System", IEEE, Vol. 35, No.2 pp.148-155 Feb. 1990.
- 9) 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.
- 10) 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.