

**그룹 테크놀로지 기법을 이용한 폐제품의 리사이클링 셀 형성**  
**(Recycling Cell Formation using Group Technology for Disposal Products)**

서광규<sup>1</sup>, 김형준<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터

<sup>2</sup>서일대학 공업경영과)

Kwang-Kyu Seo<sup>1</sup>, Hyung-Jun Kim<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>CAD/CAM Research Center, Korea Institute of Science and Technology

<sup>2</sup>Department of Industrial Management, Seoil Junior College)

**ABSTRACT**

The recycling cell formation problem means that disposal products are classified into recycling part families using group technology in their end of life phase. Disposal products have the uncertainties of product status by usage influences. Recycling cells are formed considering design, process and usage attributes. In this paper, a novel approach to the design of cellular recycling system is proposed, which deals with the recycling cell formation and assignment of identical products concurrently. Fuzzy clustering algorithm and Fuzzy-ART neural network are applied to describe the states of disposal product with the membership functions and to make recycling cell formation. This approach leads to recycling and reuse of the materials, components, and subassemblies and can evaluate the value at each cell of disposal products. Application examples are illustrated by disposal refrigerators, compared fuzzy clustering with Fuzzy-ART neural network performance in cell formation.

**Key Words**

Group Technology, Fuzzy c-Mean Algorithm, Fuzzy ART Neural Network, Recycling Cell

**1. 서 론**

폐기되는 제품과 관련된 환경 규약들(environmental regulations)이 점점 더 엄격해지고, 증가함에 따라, 제품의 마지막 수명단계(end of life phase)의 분해(disassembly) 및 폐기계획(disposal planning)이 제품 제조업자들에게 더욱 더 중요시되고 있다. 리사이클링이란 제품의 수명동안에 제품이나 부품을 재이용(reuse), 재가공(reprocessing), 그리고 재활용(recycling)하는 것을 의미하고, 리사이클링 과정은 제품의 분해 및 파쇄

(shredding)를 포함한다. 분해는 순수한 재료의 파편들의 재생뿐만 아니라 위험 물질들(hazardous materials)의 분리 그리고 재처리 가능한 부품들의 분리를 가능하게 한다.

분해기반 리사이클링 시스템은 제품의 분해 및 분해된 파편들의 후처리를 준비하기 위해 필요한 재료, 노동력, 비용 그리고 지식 등을 모을 수 있다. 리사이클링은 제품들의 리사이클링을 위한 설계만을 다루지 않고, 특별한 타입만을 제한하지 않기 때문에, 리사이클링은 더 큰 효율성과 유연성을 필요로 한다. 이를 위해, 적절한 시스템의 타입을 고려해 보면, 셀형 리사이클링 시스템(cellular recycling system)이 선택된다. 제안된 셀형 리사이클링 시스템은 리사이클링 비용을 감소시키고, 폐제품들의 분류를 통해 생산성과 유연성을 증가시키고, 리사이클링 비용을 감소시킨다.

리사이클링 셀 형성 문제는 폐제품들이 마지막 수명 단계에서 그룹 테크놀로지 기법을 이용하여 리사이클링 부품군으로 분류되는 것을 의미한다. 폐제품들은 다양한 사용 영향들(usage influences)에서 기인하는 불확실성(uncertainty)을 가진다. 리사이클링은 사용 영향에 의한 공정 특성 및 다양한 제품군에 대한 불완전하고 오차 있는 정보들을 가진 불확실한 제품들을 정당화하는 것이다. 그러므로, 디자인(design), 공정(process) 그리고 사용 속성들(usage attributes)을 동시에 고려하여 리사이클링 셀들이 형성된다.

본 논문에서는 새로운 접근 방법인 셀형 리사이클링 시스템이 제안되며, 동시에 리사이클링 셀 형성과 동일한 제품의 할당을 다룬다. 퍼지 클러스터링 알고리즘과 Fuzzy-ART 신경망이 소속 함수를 가진 폐제품의 상태를 묘사하여, 리사이클링 셀 형성에 적용된다.

## 2. 리사이클링 공정의 특성

리사이클링은 어떤 한 제조업자로부터 생산된 제품들만이 아니라, 다양한 생산업자, 생산된 햇수 등으로부터 기인하는 매우 넓은 다양성을 다룬다. 불확실성은 제품의 다양한 기대수명(expected life)에서 기인되고, 제품을 폐기하는 시간의 분산에 의해 일반화된다. 제품의 각 타입의 도달 수준들과 제품의 혼합은 비결정적(undeterministic) 성질을 보인다. 제품들은 다양한 장소에 분산되어 있고, 그것들의 손상정도 또한 다르다. 제품 속성들은 사용 함수에만 영향을 받는 것이 아니라, 시간과 매체라는 두 개의 다른 요인들로서 제품의 원래 상태로부터 손상 원인을 설명해 줄 수 있다. 마모, 재료 피로 등과 같은 손상은 예측될 수 있고, 원제품과 다른 목적으로 사용되는 제품의 남용으로 인한 손상은 예측할 수 없다. 이것은 리사이클링에서 불확실성의 첨가적 레벨을 만들고 제조시스템에서는 알 수 없는데, 이 값을 예측하기 위한 새로운 방법의 도입이 필요하다.

제품의 대체 리사이클링 계획들은 원제품의 디자인이나 AND/OR 그래프 분석에 의해 예측할 수 있다. 분해계획은 제품의 분해 선택들의 모든 열거를 의미한다. 디자인 속성이 알려져 있다고 가정하고, 정보가 완전하다면 기본계획은 제품/서브어셈블리 그리고 부품상태에 따른 마모 단계에 의해서 비효과적인 일이 된다. 이런 모든 측면을 고려해서 리사이클링 셀이 형성된다.

### 3. 그룹핑 방법

이 섹션에서는 주어진 폐제품들의 그룹핑 방법을 설명하는데, 디자인, 공정 그리고 사용 속성들을 고려하여, 사용특성에 의한 불확실성을 다룰 수 있는 Fuzzy c-Mean 알고리즘과 Fuzzy-ART 신경망을 이용하여 리사이클링 셀을 형성한다.

#### 3.1 그룹핑 속성

그룹핑은 디자인 속성과 동일 제품의 알려진 속성에 의해 수행된다. 이 디자인 속성은 리사이클링 과정에서 중요한데, 원재료의 생산국(재료 변수들), 생산년도, 크기와 무게, 제품 타입, 재료의 혼합, 부품들, 서브어셈블리, 집합 기법들, 위험/독성 물질들 등이 그 예이다.

디자인 속성들만을 고려한 그룹핑은 사용 특성에서 기인하는 넓은 범위의 다양성을 표현하는데 불충분하다. 따라서, 디자인, 공정 그리고 사용 속성들이 리사이클링 그룹핑 속성들로 고려된다. 공정과 사용 속성들은 제품의 마모 상태들을 반영하는데 부식으로 인한 풀리지 않는 집합, 손실/추가 부품들, 변형, 부품들의 파손 등을 예로 들 수 있다.

#### 3.2 퍼지 클러스터링 방법

셀 형성문제에서 일반적 방법들의 공통적 취약점은 파트 패밀리들이 상호적, 집합적으로 배타적이라고 가정하는 것이다. 사실, 어떤 제품들은 어떤 파트 패밀리에 명확히 소속되나, 그 소속정도가 명확하지 않은 것도 존재한다. 따라서, 퍼지 클러스터링 기법은 일반적 클러스터링 기법에 비해 특별한 장점을 준다. 그것은 제품이 속하는 특별한 파트 패밀리를 밝혀줄 뿐만 아니라, 각 제품군이 속한 정도(degree)를 제공한다.

$n$ 개의 제품과  $p$ 대의 기계 그리고  $c$ 개의 제품군과 리사이클링 셀을 형성한다고 가정하자. 일반적 클러스터링 방법들은 데이터 집합 내에 분리된(disjoint) 파트 패밀리가 존재한다고 가정한다. 분류된 결과들은 이진행렬로 표현될 수 있다. 많은 경우에, 파트 패밀리들은 완전히 분리(disjoint)되지 않는다. 즉, 파트 패밀리의 분리는 퍼지하다. 결과적으로, 퍼지 개념은 일반적 방법에 비해 장점을 주고, 부품의 각 파트 패밀리에 속한 소속정도를 표현해 준다. 퍼지 클러스터링에서 분류 결과는 다음과 같은 행렬로 표현된다.

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

제약조건

$$0 \leq u_{ik} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, c; \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^c u_{ik} \leq n, \quad i = 1, 2, \dots, c \quad (4)$$

### 3.2.1. Fuzzy c-Mean(FCM) 알고리즘

퍼지 클러스터링의 문제는 많은 관심을 받아왔고, 문제 해결을 위한 몇 개의 알고리즘이 제안되었다[5]. 본 논문에서는, 일반화된 FCM 알고리즘을 리사이클링 셀 형성에 적용한다. 제약조건 (2)에서 (4)까지 만족하는 가능한  $U$  행렬들은 무한하기 때문에, 해를 최적화할 수 있는 목적 함수가 필요하다. 제곱오차함수의 합을 최소화하는 목적 함수인데 다음과 같다.

$$J_m(U, v) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m (d_{ik})^2 \quad (5)$$

식 (5)에서,

$$(d_{ik})^2 = |x_k - v_i| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{kj} - v_{ij})^2} \text{ 는 원하는 소속함수;}$$

$x_k \in X$ , where  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  은 데이터  $n$  파트들의 집합;

$v = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$  은 클러스터  $u_i$ 의 중심, 즉,  $i$  번째 파트 패밀리 내의 파트들의 평균 벡터;

$U = [u_{ik}]$  는  $X$ 의 퍼지  $c$ -분할된 행렬 ;

$$\{u_{ik}\}^m = \{u_{ik}(x_k)\}^m ;$$

### 3.3. Fuzzy ART 신경망

Fuzzy ART 신경망은 자율학습과 패턴인식 네트워크이다. Fuzzy ART 신경망은 퍼지 집합 이론을 신경망 이론인 ART(Adaptive Resonance Theory)에 통합하여 이루어졌다 [6], [7]. Fuzzy ART 신경망은 아날로그나 이진입력 패턴을 빠르고 안정성 있게 클러스터링 할 수 있다. 이 네트워크는 입력층인 F1과 출력층인 F2 두 층으로 구성되어 있고, 가능한 카테고리의 수는 임의대로 선택할 수 있다. 첫 번째 단계에서 초기에 각 카테고리는 비수용되었다고 한다. 첫 번째 입력에 의해서 카테고리가 부호화되면, 수용된다. 각 입력  $I$  는  $I = (I_1, I_2, \dots, I_M)$  로 표현되고, 각 구성요소  $I_i$  는 구간  $[0, 1]$  의 값을 갖는다. 연결강도 벡터  $W_j = (W_{j1}, W_{j2}, \dots, W_{jM})$  는 출력 카테고리  $j$  를 묘사한다. 초기에 연결강도는 모든  $j$ 에 대하여  $W_{j1} = W_{j2} = \dots = W_{jM} = 1$  로 설정한다.

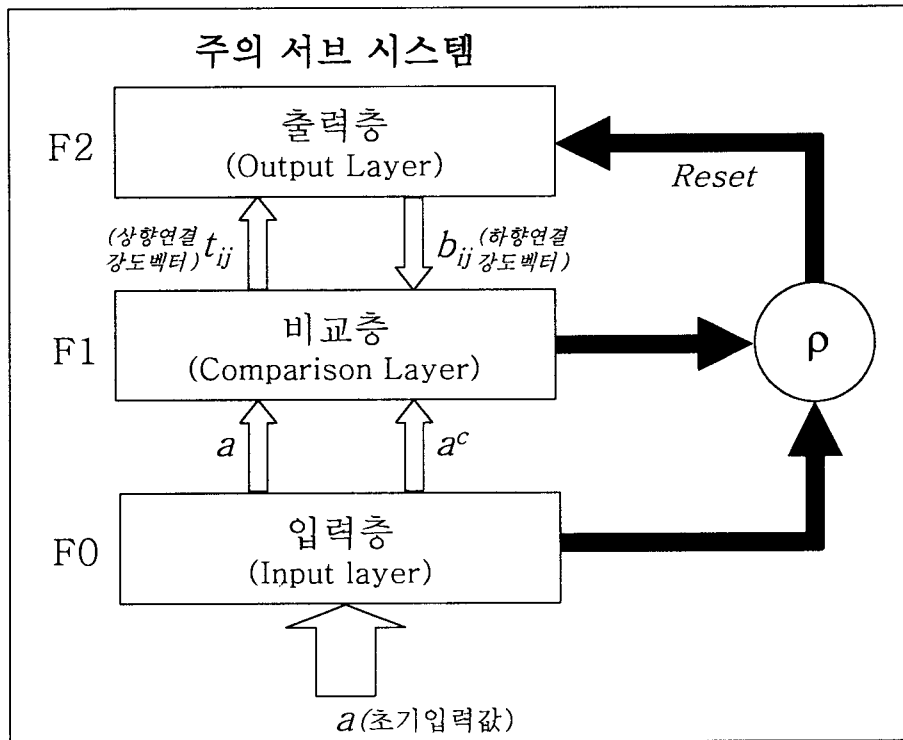


Figure 1. The basic Structure of Fuzzy ART Neural Network

입력 패턴들을 분류하기 위하여, 출력 노드들은 선택함수  $T_j$  에 의해서 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$T_j(I) = \frac{|I \wedge v_j|}{\alpha + |v_j|} \text{ 이고,}$$

선택변수와 퍼지 연산자는

$$(X \wedge Y)_i = \min(x_i, y_i), \quad |X| = \sum_{i=1}^M |x_i| \text{ 로 정의된다.}$$

최종적인 카테고리의 선택은

$T_j(I) = \max\{T_j; j=1, 2, \dots, N\}$ 에 의해 이루어지고, 선택된  $T_j$  중에서 두 개 이상이 같을 경우,  $j$  값이 작은 순서대로 선택한다.

적응공명(resonance)은 선택된 카테고리 노드에 대해 다음 경계값이 만족되면 발생한다.

$$\frac{|I \wedge v_j|}{|I|} \geq \rho$$

선택된 카테고리가 경계값 검사를 만족하면 적응공명 상태가 되어 다음 단계인 학습으로 넘어가는데 학습은 다음과 같다.

$$v_j^{(new)} = \beta(I \wedge v_j^{(old)}) + (1 - \beta)(I \wedge v_j^{(old)})$$

Fuzzy ART 신경망에서는 세 개의 매개변수가 존재하는데, 그 값의 초기화는 다음과 같다. 1) 선택 매개변수(choice parameter)  $\alpha > 0$ , 2) 학습률 매개변수(learning rate parameter),  $\beta \in [0, 1]$ , 3) 경계값 매개변수(vigilance parameter),  $\rho \in [0, 1]$ .

### 3.3.1. Modified Fuzzy ART 신경망

Modified Fuzzy ART 신경망은 선택적 클러스터링의 계층을 일반화하기 위하여 Fuzzy ART 신경망을 이용하는 방법이다. 이 방법에서, 입력값들은 원하는 셀들의 수에 도달하거나, 최소의 셀들이 형성될 때까지, 점진적으로 합쳐지는데, 알고리즘은 다음과 같다.

- (단계 1)  $k = 0$ 으로 고정하고,
- (단계 2) 경계값(vigilance :  $\rho_k$ )과 학습률(learning :  $\beta_k$ )을 Fuzzy ART 신경망에 의해 정한다. 그룹 결과 수( $n_k$ )와 그룹의 원소( $i \cdot \{e_{ji}\}$ )를 호출한다.
- (단계 3) 단계 2에서 얻어진 각 클러스터는 1개 이상의 멤버를 갖는다. 각 클러스터의 수들을 더한 계수에 의해, 새로운 입력 패턴들 ( $E_I, I=1, 2, \dots, n_k$ )  $n_k$ 를 형성한다( $E_I = e_{ij}$  합인 벡터). 입력값들을 계수화한다.
- (단계 4) 만약  $n_k \leq N^*$  혹은  $n_k = 1$  이면 멈추고, 그렇지 않으면,  $k = k + 1$ 로 고정하고,  $\rho_k \leq \rho_{k-1}$  인 경계값을 선택하고 단계 2로 간다. 만약 단계 2로 가면, 연결강도  $W_{j1}(0) = W_{j2}(0) = \dots = W_{jM}(0) = 1$ 인 새로운 Fuzzy ART 네트워크를 사용한다. 단,  $N^*$ 는 원하는 클러스터의 수이다.

Fuzzy ART 신경망에서, 클러스터의 수는 사용자가 선택하는 매개변수  $\alpha, \beta$  와  $\rho$  그리고 입력 행렬에 의해서 결정된다. 그리고 Modified Fuzzy ART 신경망은 Fuzzy ART 신경망을 반복하여 사용한다.

## 4. 사례 연구

폐냉장고를 대상으로 하여 리사이클링 셀을 형성하고, FCM 알고리즘과 Fuzzy-ART 신경망의 성능(performance)을 비교한다. 냉장고는 8개의 모듈(Cabinet, Base compressor, Motor, Louver, Box controller, Freeze door, Refresh door, others)과 약 100개의 부품들로 구성되어 있다.

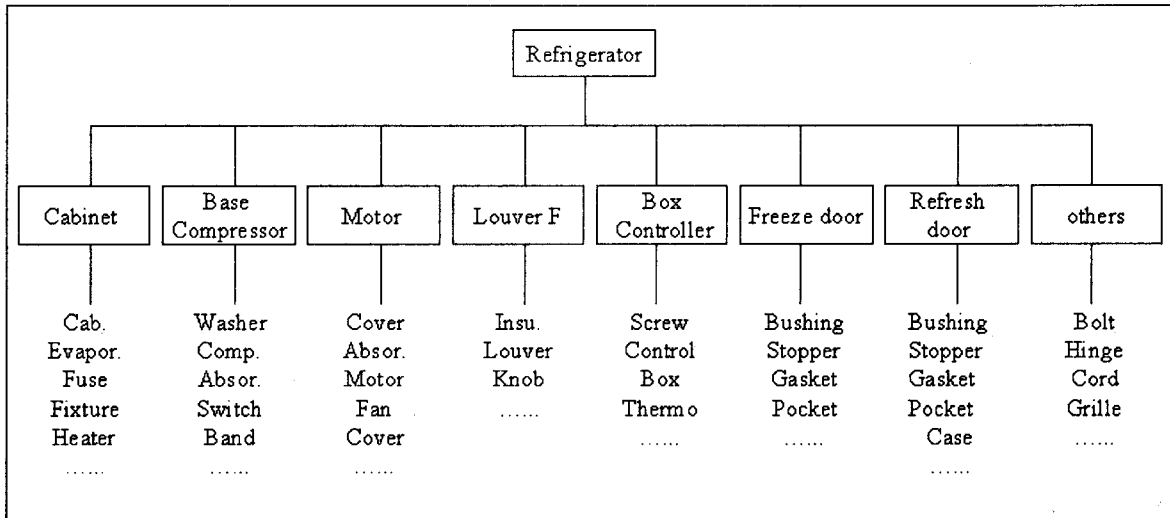


Figure 2. The Structure of Refrigerator

외부로부터의 열을 차단하기 위해, 냉장고에는 냉매인 CFC가 주입된다. 대부분의 국가에서는 오존층 파괴의 주원인인 CFC의 사용을 규제하고 있다. 또한, 냉장고를 구성하고 있는 일부 물질(PCB)은 토양과 지하수를 오염시키므로, 위험/독성 재료들은 냉장고를 제작할 때 그 사용을 피해야 한다. 새로운 규약들은 가전제품들의 매립에서의 폐기를 금지시키고, "Take-back" 개념을 채택하고 있다. 만약 가전 제품들이 폐기된다면, 특별한 매립이나 높은 폐기 비용 혹은 폐기 금지를 감당해야 한다. 결과적으로, 이러한 규약들은 회사들이 환경영향을 최소화하는 제품에 새로운 환경친화설계(Design for Environment) 및 리사이클링을 고려한 설계(Design for Recycling)를 수행하도록 하고 있다.

#### 4.1 리사이클링 선택

리사이클링의 목표는 완전한 분해가 아니라, 최적의 분해방법을 찾는 것이다. 폐냉장고들은 가정에서 리사이클링 센터로 회수된다. 리사이클링 센터에서 폐냉장고의 리사이클링과 분해를 위한 절차는 다음과 같은 단계에 걸쳐서 이루어진다.

- 초기 검사, 품목의 조사
- 재사용 가능한 단위들의 분리, 검사, 세척 및 수리 그리고 리사이클링 센터를 통한 재분배 등
- 임시 저장 및 가전 제품의 일괄 분해
- CFC 분리
- 여분의 부품들로서 재사용 가능한 선택된 부품들의 분해
- 확실히 리사이클링할 수 있는 재질로 만들어진 부품들의 분류 및 분해
- 위험, 독성 요소들이나 물질들의 분류나 분해

- 플라스틱 구조물이나 스틸류의 분쇄
- 냉장고의 처리와 저장 그리고 파편들 분해
- 리사이클링 회사, 위험 폐기물 처리 공장, 매립지로의 운송.

폐냉장고를 리사이클링하는 데에는 다음과 같은 다섯 범주로 나눌 수 있다. 첫째, 부품들의 재이용. 컴퓨터, 콘트롤러, 모터 등과 같은 고가치의 부품들은 가능하면 많이 재이용하도록 한다. 이 과정에서 신뢰성(MTTF, MTTR), 통계학(statistics) 및 대기이론(queueing theory) 등을 이용한 신뢰성 평가가 필요하다. 두 번째, 종속부품이나 부품들의 재가공 및 수리. 셋째, 부품이나 재료들의 리사이클링. 넷째, 냉매인 CFC의 액체 상태로 회수 및 처리, 다섯째, 폐기물 처리(매립이나 소각)이다.

#### 4.2. 리사이클링 속성들

폐냉장고의 사용 영향들 때문에, 제품의 상태는 다양하고, 많은 불확실성을 갖는다. 본 논문에서는, 다양한 리사이클링 속성들을 고려한다. 예를 들면, CFC의 누수 여부는 매우 중요하다. CFC의 존재유무에 따라 퍼지 특성의 소속함수 값은 0이나 1 값을 갖는다. 또 다른 리사이클링 속성을 살펴보면, 스틸로 만들어진 냉장고 외부 케이스의 상태이다. 이는 습기나 공기가 침투하여 녹이 쓰는 것을 방지하기 위하여 천연고무로 봉합되어 있다. 외부 케이스의 봉합 상태가 녹슨 정도나 혹은 청결 정도의 소속 함수를 결정한다. 봉합 상태가 완전하면 1에 가까운 값이 되고, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는다. 언급한 것 이외에 12가지의 다른 속성들이 퍼지 특성(fuzzy characteristic)을 가진  $[0, 1]$ 의 값으로 표현된다.

#### 4.3. 적용 사례

FCM 알고리즘과 Fuzzy-ART 신경망을 이용한 그룹핑 절차를 위한 실례로써, 데이터들은 문헌상의 정보, 실험을 통한 폐냉장고의 분해와 재활용 센터의 정보를 모두 고려하여 수집되었다. 본 논문의 적용 예에서는 가전 2사의 21대의 폐냉장고를 대상으로 하였다. 이 데이터들을 주의 깊게 검토하고, 전문가의 경험을 기초로 하여 21개의 리사이클링 속성이 선택되었다(Table 1).



Attribute Products	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
1	0.6	0.7	1	0.3	0.8	1	1	0.2	0.8	0.7	0.8	1	1	0.8	0.7	1	0.7	1	1	0	0.8
2	0.7	0.8	0	0.2	0.3	0	1	0.5	0.0	0.5	0.7	1	1	0.0	0.6	1	0.0	1	1	1	0.6
3	0.5	0.6	0	0.6	0.7	0	0	0.3	0.5	0.7	0.6	0	0	0.4	0.5	0	0.8	0	0	0	0.2
4	0.8	0.7	0	0.5	0.6	1	1	0.5	0.8	0.8	0.3	1	1	0.7	0.6	0	0.7	0	1	1	0.9
5	0.7	0.5	1	0.4	0.5	0	1	0.2	0.0	0.7	0.5	0	0	0.8	0.7	1	0.8	1	0	1	0.8
6	1.0	0.8	0	0.5	0.7	1	1	0.5	0.8	0.8	0.7	1	1	0.6	0.5	1	0.7	0	1	1	0.7
7	0.9	0.7	1	0.5	0.8	1	0	0.4	0.7	0.7	0.8	1	1	0.7	0.3	1	0.7	1	1	1	0.9
8	0.6	0.5	0	0.6	0.7	0	1	0.1	0.8	0.0	0.5	0	0	0.0	0.2	0	0.0	0	0	0	0.3
9	0.7	0.6	0	0.3	0.8	1	1	0.2	0.7	0.7	0.7	1	0	0.7	0.3	1	0.7	1	1	1	1.0
10	0.8	0.5	0	0.5	0.6	0	0	0.2	0.8	0.8	0.3	1	0	0.3	0.8	1	0.8	0	1	0	0.8
11	0.7	0.7	0	0.4	0.5	1	0	0.4	0.9	0.7	0.5	0	0	0.0	0.2	0	0.0	1	1	1	1.0
12	0.9	0.8	1	0.6	0.7	1	1	0.5	0.7	0.7	0.8	1	1	0.8	0.7	1	0.8	0	0	0	0.2
13	0.9	0.4	0	0.4	0.5	0	0	0.2	0.8	0.9	0.4	0	0	0.5	0.1	0	0.5	0	1	1	0.8
14	0.7	0.5	0	0.5	0.6	1	1	0.3	0.0	0.7	0.0	1	0	0.6	0.5	1	0.6	1	1	0	0.9
15	0.8	0.6	1	0.4	0.5	0	1	0.2	0.7	0.0	0.5	1	1	0.8	0.7	1	0.7	1	0	1	0.6
16	0.7	0.7	0	0.5	0.4	0	1	0.0	0.8	0.6	0.3	0	0	0.0	0.3	0	0.0	0	0	0	0.1
17	0.8	0.6	0	0.3	0.4	1	1	0.1	0.0	0.6	0.5	0	1	0.5	0.4	1	0.7	1	1	1	1.0
18	0.7	0.5	1	0.2	0.3	1	0	0.0	0.6	0.0	0.5	1	1	0.8	0.8	1	0.8	1	1	1	0.9
19	0.6	0.6	0	0.3	0.4	0	0	0.2	0.5	0.9	0.4	0	0	0.0	0.1	0	0.0	0	0	0	0.2
20	1.0	0.8	0	0.4	0.7	1	1	0.1	0.9	0.7	0.5	1	1	0.9	0.8	1	0.7	1	1	1	1.0

- (1) length of life cycle(expected duration, year),
- (2) take back(total cost and distance),
- (3) type,
- (4) size(volume),
- (5) total weight,
- (6) company,
- (7) the existence of CFC,
- (8) the degree of rust or cleanness of outer,
- (9) the condition of motor(cover, tapping, screw),
- (10) the condition of compressor(cover, tapping)
- (11) the condition of box controller(the condition of seal, housing joining, rubber cap),
- (12) the condition of gasket and rubber of freezing door, (13) the condition of gasket and rubber of refreshing door
- (14) the condition of thermostat, (15) the condition of screw tapping of each joining parts
- (16) the condition of heater defrost, (17) the condition of evaporator
- (18) the condition of seal of heater defrost part(glass tube and silicon rubber)
- (19) the condition of fixture fuse part(leak test)
- (20) the condition of cabinet(leakage of rubber silicon, catalyst, refrigerant, water)
- (21)the condition of welding between parts

Table 1. Numerical Data for the Application Example

#### 4.4. 적용 사례의 결과

##### 4.4.1. Fuzzy c-mean 알고리즘

Fuzzy c-mean 알고리즘은  $U_{20 \times 21}$ 에  $c=3, m=2, |\cdot| =$  유클리디안 거리 (Euclidean distance) 그리고  $\xi=0.01$  로 정하여 리사이클링 셀 형성을 수행하였다.

$U^{(0)}$ 는 구체화된 휴리스틱에 의해 얻어졌다. 이 실험에서 마지막 분류 행렬은 4번의 반복 후에 얻어졌다. 표 2가 Fuzzy c-mean 알고리즘의 수행 결과로 얻은 클러스터링 결과이다. 마지막 결과를 이용해서, 리사이클링의 소속정도를 계산할 수 있고, 이는 각 파트 패밀리와 연관된 각 속성들의 소속 정도를 의미한다. 그 값이 크면 클수록, 더 높은 연관정도를 갖는다.

Recycling Cells	Products
Recycling Cells #1	1, 4, 6, 7, 9, 12, 20
Recycling Cells #2	2, 5, 11, 14, 15, 17, 18
Recycling Cells #3	3, 8, 10, 13, 16, 19

Table 2. Clustered Result of Numerical Example using FCM Algorithm

이 사례를 통해서 Fuzzy c-Mean 알고리즘이 어떻게 리사이클링 셀 시스템을 설계하는데 도움을 주는지 알 수 있다. 또한 마지막 결과는 리사이클링 작업 부하 밸런스와 재로운용비용을 동시에 고려할 수 있게 해준다. 또한, 클러스터링된 결과를 이용하여 경제적 유용성도 평가할 수 있다.

##### 4.4.2. Fuzzy ART 신경망

Fuzzy ART 신경망은 몇 가지의 단점을 가지고 있는데, 첫째는 카테고리 확산현상을 일으킬 수 있고, 둘째는 실제의 셀 형성 문제에서 유연성과 스케일링 문제에 직면할 수 있다. 이런 점을 극복하기 위해, 수정된 Fuzzy ART 신경망을 사용하였고, 또한 경계변수( $\rho$ )와 학습률 변수( $\beta$ )를 적당히 선택해야 한다.

단계 1에서,  $\beta=0.5, \rho=0.5$  로 정하고 학습을 진행시킨 결과 7개의 리사이클링 셀이 형성되었다. 단계 2에서는 리사이클링 셀의 수가 5 개로 줄었는데,  $\beta=0.5, \rho=0.3$  로 정하였다. 단계 3에서는 리사이클링 셀의 수가 3 개로 줄었고,  $\beta=0.5, \rho=0.2$  로 정하였다. Fuzzy ART 신경망을 적용한 실험은 여기서 멈추는데, 실험의 목적이 FCM 알고리즘과 동일한 결과를 얻는 것으로 하였기 때문이다.

<b>The First step(<math>\beta=0.5, \rho=0.5</math>)</b>	
<b>Recycling Cells</b>	<b>Products</b>
Recycling Cells #1	1, 4
Recycling Cells #2	14, 16, 19
Recycling Cells #3	3, 10
Recycling Cells #4	5, 9, 18
Recycling Cells #5	8, 15, 7
Recycling Cells #6	12, 13, 20
Recycling Cells #7	6, 7, 14
Recycling Cells #8	2, 11

Table 3. Members of Recycling Cell after First Step

<b>The Second Step(<math>\beta=0.5, \rho=0.3</math>)</b>	
<b>Recycling Cells</b>	<b>Products</b>
Recycling Cells #1	1, 4, 9, 12, 20
Recycling Cells #2	6, 7, 14, 18
Recycling Cells #3	2, 5, 15, 17
Recycling Cells #4	3, 19, 11, 13
Recycling Cells #5	8, 16, 19

Table 4. Members of Recycling Cell after Second Step

<b>The Third(Final) Step(<math>\beta=0.5, \rho=0.2</math>)</b>	
<b>Recycling Cells</b>	<b>Products</b>
Recycling Cells #1	1, 4, 6, 7, 9, 12, 20
Recycling Cells #2	2, 5, 11, 14, 15, 17, 18
Recycling Cells #3	3, 8, 10, 13, 16, 19

Table 4. The Final Solution using Fuzzy-ART Neural Network

이 결과들을 분석해 보면, 사용자가 명확히  $N^*$  개의 클러스터를 정하여 알고리즘을 수행할 수 있다. 그리고 만약 단계 3에서 알고리즘의 수행을 멈추었다면, 사용자는 각 단계에서 클러스터링 된 결과 중에서 최적의 해를 선택할 수도 있다.

## 5. 평가(Evaluation)

FCM 알고리즘과 Fuzzy ART 신경망의 성능을 비교하면, Fuzzy ART 신경망의 성능이 FCM보다 저장 능력, 진행 시간 등 기타의 성능 측도면에서 뛰어나다. 또한, fuzzy ART 신경망을 통해 얻어진 각 단계의 클러스터링 결과 중에서 최적의 해를 선택할 수 있다. 실험 결과를 분석해보면, 셀형 리사이클링 시스템은 단일 분해 라인 혹은 분해라인 기계 셀의 파트 패밀리를 형성하는데 유용하고, 각 셀내 폐제품들의 가치를 평가할 수 있다. 폐제품을 평가하는 목적은 리사이클링을 통해 경제적 이익을 최대화하고, 환경영향을 최소화하기 위해서이다. 이러한 목적들을 만족시키기 위해, 두 가지의 리사이클링 셀 평가방법을 제안한다.

첫번째는 ABC 평가 방법이다. 이 방법은 재고관리에서의 ABC분석과 유사한 방법이다. 폐냉장고들은 FCM알고리즘과 Fuzzy ART 신경망에 의해 3개의 리사이클링 셀로 그룹핑되었다. 이 결과로부터, 셀과 제품 그리고 속성들간의 관계를 알 수 있다. 따라서, 각 셀내 제품 속성들의 가치를 고려하여 리사이클링 셀을 평가할 수 있게 된다. ABC 평가 방법의 주요 내용은 각 클러스터링된 셀을 대략적으로 가치를 평가하는 것이다.

다른 방법은 폐제품의 데이터베이스 기반의 평가 시스템을 만드는 것이다. 리사이클링 작업에서 가장 시간이 많이 들고 어려운 작업은 물질 피로, 손상, 오염 정도 등으로 기인하는 리사이클링 변수들을 결정하고, 이를 토대로 부품 등의 재이용이나 재생산 비용을 결정하는 일이다. 평가 시스템의 기반이 되는 데이터베이스는 제품에 대한 물질들, 종속제약 조건 등의 변수들의 정보를 포함하고 있다. 시스템 내에서 데이터베이스에 기반을 둔 각 요소는 평가될 수 있고, 결국, 이 시스템은 리사이클링 셀의 가치를 평가하여 리사이클링의 수익성을 결정지어준다. 결국, 이러한 정보들은 리사이클링을 위한 최적 의사결정에 이용된다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 폐제품에 대한 셀형 리사이클링 시스템의 설계에 대한 새로운 방법이 제시되었다.

폐제품의 불확실성을 고려하여, 파트 패밀리가 디자인, 공정 그리고 사용 속성들에 모두 고려하여 형성되었다. 폐제품들의 속성인 불확실성을 다루기 위해,  $[0, 1]$  사이의 값으로 불확실성을 표현할 수 있는 퍼지이론을 도입하였다. 그룹핑은 특별한 그룹이 어떤 패밀리에 어느 정도 속해 있는지를 표현해주는 소속함수로 표현할 수 있는 FCM과 Fuzzy-ART 신경망에 의해 수행되었다. 적용 사례는 폐냉장고를 대상으로 수행되었고, 셀 형성에 퍼지 클러스터링 알고리즘과 Fuzzy-ART 신경망의 성능이 비교되었

다. 두 알고리즘의 성능은 Fuzzy-ART 신경망의 성능이 퍼지 클러스터링의 성능보다 좋음을 보였다.

리사이클링 셀을 평가하기 위한 두 가지의 평가방법이 제안되었는데, 대략적인 평가를 위한 ABC 평가방법과 각 리사이클링 셀의 가치를 평가하고 리사이클링의 수익성을 결정할 수 있는 데이터베이스 기반의 평가 시스템이 제안되었다.

본 논문에서 제안한 셀형 리사이클링 시스템은 폐제품들의 리사이클링을 극대화하고, 환경에 미치는 영향을 최소로 할 수 있을 뿐 만 아니라, 리사이클링을 위한 최적의 의사결정을 내리는데 도움을 준다. 또한 제안한 방법은 폐제품의 분해라인의 유용성 및 생산성의 향상과 향후 폐제품 분해를 위한 자동화 라인을 설계에도 도움을 줄 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Leo Alting and Jens Brobech Legarth, 1995, "Life Cycle and Design", Annals of CIRP, vol 44, pp1-11
- [2] Zusman, E., Kriwet, A., Seliger, G., 1994, "Disassembly -Oriented Assessment Methodology to Support Design for Recycling", Annals of the CIRP, vol. 43, No.1
- [3] Kusiak, A., 1985, "The generalized group technology concept". International Journal of Production Research, 25, pp. 561-569
- [4] Xu, H., and Wang, H.-P., 1989, "Part family formation for GT applications based on fuzzy mathematics", International Journal of Production Research, 27, pp. 1637-1651
- [5] Chao-Hsien and Jack C. Hayya, 1991, "A Fuzzy clustering approach to manufacturing cell formation", International Journal of Production Research, 29, pp. 1475-1487
- [6] Carpenter, G.A., Grossberg, S. and Rosen, D.B. (1991b), "Fuzzy ART: Fast stable learning and categorization of analog patterns by an adaptive resonance system", Neural Networks 4, pp.759-771
- [7] Huang, J., Georgiopoulos, M. and Heileman, G.L. (1995), "Fuzzy ART properties", Neural Networks 8, pp203-213.