한국정밀공학회지 제17권 제2호 (2000년 2월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17, No. 2, February 2000.

페트리네트를 이용한 분해경로 생성에 관한 연구

이화조*, 주해호*, 경기현**

A Study on Disassembly Path Generation Using Petri Net

Hwa-Cho Yi*, Hae-Ho Joo*, and Ki-Hyun Kyung**

ABSTRACT

Possible representation methods for the product structure have been compared and analyzed to determine optimal disassembly path of a product. Petri net is selected as the most optimal method to represent disassembly path of the product. In this method, a reachability tree for the product is generated and disassembly time for each path is calculated. A path with the smallest disassembly time is selected as the optimal path. A software for DPN(Disassembly Petri Net) has been developed and applied to search the optimal disassembly path for a ballpoint pen disassembly process as an example.

Key Words : Structure Diagram(구조도), Disassembly Path(분해 경로), Petri Net(페트리 네트), Disassembly Petri Net(분해 페트리 네트), Reachability Tree(발화계열도)

1. 서론

대부분의 공산품들은 여러 가지의 재질로 구성된 부품들이 복합적으로 조립되어 있어 분해 공정을 거치지 않고 부품의 재사용 혹은 원료로의 재활용은 불가능하다.(1)

특히 합성 수지 부품들은 점점 사용량이 증가하고 있는 추세이며 이들은 재활용이 되는 것도 있고 안 되는 것도 있다. 재활용이 되는 종류들일지라도 서로 섞이면 물성이 바뀌기 때문에 재활용이 불가능해지는 것도 있다.(2) 따라서 폐제품의 효과적이고 경제적인 리사이클링(recycling)을 위해서는 제품의 분해공정을 설계시 반영하여야 한다.(3)

제품의 설계가 개선되어 생산될 제품들은 생산 후 폐기까지 약 7~10년 정도가 소요되고, 현재 폐기되는 제품들은 대부분 분해공정이 충분히 고려되지 않았기 때문에 분해가 상당히 곤란하고 경우에 따라서는 불가능한 경우도 있다.(4) 재활용을 고려하지 않고 설계된 제품의 재활용은 비경제적인 경우가 많으며, 중요한 요인 중의 하나로 비효율적인 분해 공정을 들 수 있다. 경제적인 분해를 위해서는 제품의 분해 구조도를 분석하여 최적의 분해 순서를 찾고, 이 분해 순서를 기본으로 제품의 최적 분해공정을 구성하여야 한다.

제품의 분해성을 평가하기 위하여 제품의 구조를 분석하고 모든 가능한 분해경로를 찾은 후 분해 시간을 계산해서 최적의 분해 경로를 구해야 한다.

본 논문에서는 최적의 분해 경로를 구하는 방법으로 트리(tree)와 AND/OR그래프 그리고 페트리 네트(petri net)를 비교 분석하여, 분해 공정 분석에 이

* 영남대학교 기계공학부
** 영남대학교 대학원

용될 최적의 방법으로 페트리 네트를 선정했다. 페트리 네트를 분해경로의 생성에 적합한 분해 페트리 네트(disassembly petri net)로 변환하고 발화계열도(reachability tree)를 작성하여 최적의 경로를 계산할 수 있게 하였다. 분해 페트리 네트와 발화계열도는 그림이 복잡하여 수작업으로 그릴 때 오류를 범하기 쉬우므로 이 오류를 방지하기 위해서 전산 프로그램(PETRI DRAW)을 개발하였다.

2. 연구현황

Spath[5]는 재활용을 위한 제품의 분해성 평가에 제품구조를 고려하였다. 구조평가는 연결구조를 그래프로 나타내서 분석하는 것으로 구조분석 및 분해분석으로 구성되었다. 구조분석은 제품의 구조에 관련된 부품들의 연결정도(degree of networking) 혹은 복잡성을 나타낸다. 분해분석에서는 부품들의 배열순서와 분해공정의 순서를 평가한다. 부품들에 대한 분해 공정 경로(DP: Disassembly Path)와 구조계수(SF: Structural Factor)에서 분해계수를 계산했다. Zussman, Kriwet, Seliger[6] 등은 조립에서 사용하는 AND/OR 그래프를 이용하여 회수그래프를 개발하였다. AND/OR 그래프는 제품의 모든 가능성 있는 분해순서를 간결하고 완전한 표현을 가능하게 하였다. AND/OR 그래프를 기초로 한 회수 그래프는 모든 구성요소에 대한 재활용 옵션에 의해서 만들어졌다. Geiger[7] 등은 AND/OR 그래프를 이용한 회수(回收)그래프와 베이지안 네트워크(Bayesian network)를 결합하였다. 베이지안 네트워크는 확률추론 메커니즘이기 때문에 분해의 성공 여부를 확인할 수 있다. 그런 다음 AND/OR 그래프를 이용하여 분해 경비 및 기대되는 이익을 고려하여 분해깊이를 결정하였다.

이러한 AND/OR 그래프를 이용하는 방법에서는 제품 분해경로의 선행관계는 잘 나타낼 수가 있으나 대수적인 성질과 그래프 구조상의 성질이 모호한 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 독일의 Scholz-Reiter와 Scharke[8]는 페트리 네트와 베이지안 네트워크를 결합하여 분해 자동화를 위한 소프트웨어를 개발했다. 그리고 Moore 등[9]과 Zussmann 등[10]은 페트리 네트를 분해공정계획에 이용할 수 있는 가능성을 보여주었다.

3. 분해계획생성을 위한 제품 구조도

일반적으로 조립공정은 정의된 위치와 방향에서 주어진 모든 제품 요소들에 의해서 제품의 기능성을 안전하게 해야한다. 그렇기 때문에, 조립공정은 최대한의 정밀도와 함께 완전히 수행되어져야 하지만, 분해공정은 반드시 마지막 나사까지 실행해야 할 필요는 없으며 조립과 같은 정확성을 요구하지 않는다.[3] 이런 이유에서 어떤 제품을 분해작업할 때에 분해 순서는 여러 가지가 될 수 있다. 그렇기 때문에 분해 구조도에는 그 제품의 구조와 모든 가능성 있는 분해 순서가 하나의 그림으로 표현되어야 한다. 또한 작업 상태와 작업 내용 등이 기록될 수 있어야 한다.

Table 1 Advantages and Disadvantages of the Structural Diagrams

	트리	AND/OR 그래프	페트리 네트
제품구조 표현성	◑	◉	◉
분해경로 표현성	○	◉	◉
작업상태 표현성	◉	◉	◉
작업내용 표현성	○	◑	◉
작업의 간단성	◉	◑	○

◉: good ◑: normal ○: bad

분해계획생성을 위한 적합성의 평가 항목으로는 제품구조 표현성, 분해경로 표현성, 작업상태 및 작업내용 표현성으로 분류하였다. Table 1에서 보듯이 AND/OR 그래프와 페트리 네트는 모두 상위 작업과 하위 작업간의 기하학적인 위상과 연결구조를 나타내는 제품구조 표현성이 좋다. 그러나 트리의 경우에는 기하학적인 위상은 쉽게 알 수 있으나 두 마디사이에 꼭 하나만의 경로가 있기 때문에 제품의 연결 구조를 쉽게 알 수 없고[11] 그 이유 때문에 분해경로의 개수도 한가지만 나타낼 수 있다. 따라서 트리의 제품구조 표현성은 보통이고 분해경로 표현성은 나쁘다. 그러나 AND/OR 그래프와 페트리 네트는 가능성 있는 분해경로를 모두 표시할 수 있기에 분해경로 표현성이 좋다. 작업상태

는 모두 쉽게 파악이 되지만 페트리 네트의 경우에는 작업경비나 시간과 같은 작업내용을 저장할 수 있는 천이가 있어서 단지 작업상태만 표현되는 트리나 작업의 AND 관계와 OR 관계까지 알 수 있는 AND/OR 그래프보다는 작업내용 표현성이 더 좋다. 구조도를 그리는 작업의 간단성 측면으로 보면 페트리 네트는 하나의 그래프에 제품이 가지는 거의 모든 것을 보여주기 때문에 부품 수가 너무 많아지면 그리는 것이 대단히 어려워진다. 그러나 이 문제는 페트리 네트를 쉽게 그릴 수 있는 소프트웨어만 있으면 간단히 해결된다.

Table 1을 보면 페트리 네트 방법이 트리나 AND/OR 그래프보다는 제품의 분해구조를 표현하기에 적합한 것임을 알 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 페트리 네트를 분해구조표현에 적합한 구조도로 선정하였으며, 다음 장에서 페트리 네트를 분해 페트리 네트(DPN)로 표현하는 방법과 DPN의 정의에 대해서 설명한다.

4. 분해 페트리 네트(DPN)

4.1 표현방법

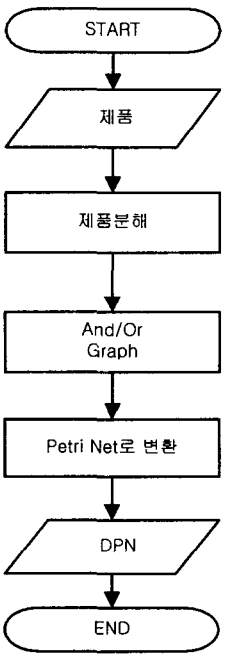


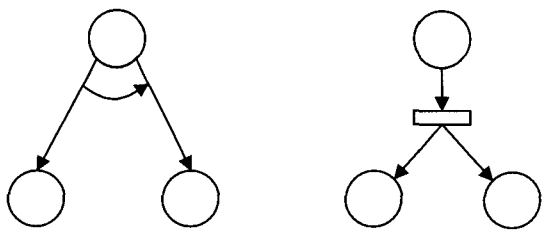
Fig. 1 Flow Chart of the Generating DPN

분해순서를 모델링하기 위해서는 제품의 형태, 연결 관계, 그리고 선행 관계를 고려해야 한다. Sanderson[12]등에 의해서 공식화된 AND/OR 그래프는 조립과 분해 계획시 제품의 형태와 선행 관계를 나타내는데 매우 유용하고 가능성 있는 작업순서를 모두 표현할 수 있다. 그러나 AND/OR 그래프의 대수학적인 성질과 그래프 구조상의 성질은 다소 모호하기 때문에 Suzuki[13]등은 AND/OR 그래프의 이러한 모호성을 명확히 하기 위해서 페트리 네트로 변형 시켰다. 페트리 네트는 상태방정식과 대수방정식 그리고 시스템의 동작을 제어하는 다른 수학적인 모델들을 제공할 수 있기 때문이다.[14] 그리고, Brussel[15]등도 AND나 OR로 나뉘어지는 마디를 페트리 네트로 변형하는 것을 보여 주었다.

본 연구에서도 AND/OR 그래프를 페트리 네트로 변환시키고 이것이 분해 페트리 네트가 된다. DPN은 모든 작업순서가 하나의 그림으로 표현되고, 작업상태와 작업내용이 전부 기록될 수 있다.(Fig. 1)

4.1.1 AND/OR 그래프로부터 DPN으로의 변환

AND/OR 그래프에서의 각각의 마디와 하이퍼아크가 DPN에서 각각의 장소와 천이로 맵핑되는 것에 의해서 AND/OR 그래프에서 DPN으로 변환된다. Fig. 2, 3과 같이 AND/OR 그래프에서의 AND와 OR 관계는 페트리 네트에서 동시성(concurrence)과 혼잡성(conflict)에 각각 상응한다.[15]

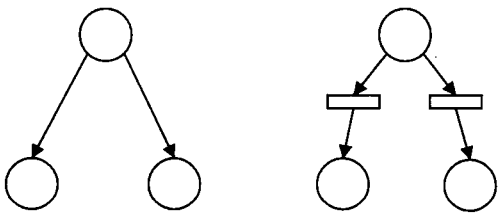


AND 모델 페트리 네트 모델

Fig. 2 An AND-Split Node and its Petri Net Model

AND/OR 그래프에서 마디는 제품, 조립군 또는 부품 등이 된다. 만약 제품이나 조립군을 나타내는 마디 x가 있다면 그것은 OR 관계에 따라서 k(≥1)개의 분해방법을 가질 것이다. 그리고 어떤 방법이

마디 x를 조립군 AND/OR 부품들을 나타내는 마디 j(≥2)로 분해시킨다면, j 개의 호는 마디 x로부터 j 개의 마디까지 AND 관계를 가지고 연결된다. DPN에서 장소는 제품, 조립군 또는 부품 등을 나타내기 위해서 사용되고, 천이는 분해 방법을 나타내기 위해서 사용된다. 만약 장소 p로 표현되는 조립군이 있다면 그것은 k(≥1) 개의 방법으로 분해될 것이다. 그리고 p는 k 개의 호에 의해서 k 개의 다른 천이에 연결된다. 그리고 어떤 방법이 p를 j (≥2) 개의 조립군 AND/OR 부품으로 분해시킨다면, j 개의 호는 j 개의 조립군 또는 부품 등을 나타내기 위한 j 개의 장소까지 서로 대응하는 천이를 연결한다.



OR 모델 페트리 네트 모델

Fig. 3 An OR-Split Node and its Petri Net Model

4.1.2 DPN의 정의와 성질

(1)정의

분해 페트리 네트는 다음과 같이 정의되는 순환하지 않는 방향성 그래프이다. (Fig. 4)

$$DPN=(P, T, D, M) \quad (1)$$

P={p0, p1,⋯ ⋯ , pn}:제품, 조립군, 부품들의 집합이다.

T={t0, t1, ⋯ ⋯ ⋯ , tm}:분해 작업들의 집합이다.

D⊆{P× T}∪{T× P}는 방향성 호들의 집합으로, 네트의 구조는 D=[dnm]로 간단히 나타낼 수 있다. 여기에서,

$$D=[\ d1 \cdots di \cdots dr\ ]T:r\times s \quad (2)$$

r: 부조립(sub-assembly)군의 수

s: 작업의 수

$$di=[\ di1 \cdots dij \cdots dis\ ]T:s\times 1 \quad (3)$$

$$d_{nm}=\left\{\begin{array}{ll} -1, & p_n\text{으로부터}t_m\text{까지가는호} \\ 1, & t_m\text{으로부터}p_n\text{까지가는호} \\ 0, & \text{그밖의경우들} \end{array}\right\}$$

M은 제품의 상태를 표시한다.

여기서, n은 소조립군 또는 부품들의 번호이고, m은 분해 작업의 번호이며, 분해 작업이기 때문에 (M0)1=1, (M0)i=O, ∀i≠ 1, 여기에서 (M0)i는 M0의 i번째 요소를 표시한다. 그리고 DPN의 상태방정식은 식 (4)에 주어지는 것과 같이 D 매트릭스와 천이에서의 발화 벡터 사이의 관계를 보여준다.

$$Dx=Mf - M0 \quad x\geq 0\ x:s\times 1 \quad (4)$$

여기서 Mf는 분해되는 제품의 마지막 표시이고, M0은 초기 표시이다. 그리고 x는 천이에서의 발화 벡터이다.

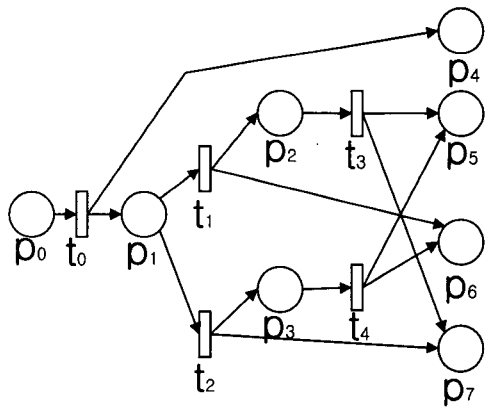


Fig. 4 Disassembly Petri Net (DPN)

(2)기본성질

1) DPN은 비순환(a-cyclic) 그래프로 시작마디(Rooted Node)인 p0은 제품에 해당하고, p1,⋯ ,pn은 조립군 또는 부품들에 해당한다.

2) 각각의 천이들은 적어도 하나의 입력과 두 개의 출력 호를 가진다.

3) 천이에서의 두 개의 출력은 똑 같은 장소에 이르지 못한다.

4) DPN은 토큰의 수가 하나밖에 존재하지 않으므로, 즉 한가지의 작업이 실행되면 다른 작업은 실행될 수 없으므로 페트리네트의 안전성은 있지만, 분해의 경우 최종적으로 실행 가능한 천이가

없는 상태(분해완료)에 도달하게 되므로 생동성과 가역성은 없다. 생동성은 항상 실행 가능한 천이가 존재하는 것을 의미하며 일반 페트리 네트의 특징에 속한다.

4.2 볼펜 분해 실험

분해 구조도를 그리기 위한 대상물은 구조도가 너무 복잡해지는 것을 피하기 위해서 부품 수가 적고 손으로 쉽게 분해될 수 있는 볼펜을 선택했다. 볼펜은 앞마개, 뒷마개, 뚜껑, 본체, 심대로 이루어져 있다.

Fig. 5 Elements of a Ballpoint Pen

Table 2 Test Result for the Ballpoint Pen Disassembly

작업전제품 상태	작업할제품 상태	작업 내용	작업시간(초)	작업후제품상태
(A,B,C,D,E)	(A,B,C,D,E)	E 분리	0.2	(A,B,C,D),E
		A 분리	1.5	(B,C,D,E),A
(B,C,D,E),A	(B,C,D,E)	B 분리	3.3	(C,D,E),A,B
		E 분리	0.2	(B,C,D),A,E
(A,B,C,D),E	(A,B,C,D)	(A,C)와(B,D) 분리	2.5	(A,C),(B,D),E
		A 분리	1.5	(B,C,D),A,E
(C,D,E),A,B	(C,D,E)	E 분리	0.2	(C,D),E,A,B
(B,C,D),A,E	(B,C,D)	B 분리	3.3	(C,D),B,A,E
		C 분리	2.7	(B,D),C,A,E
(A,C),(B,D), E	(A,C)	A와 C 분리	1.5	(B,D),C,A,E
	(B,D)	B와 D 분리	1.1	(A,C),B,D,E
(A,C),B,D,E	(A,C)	A와 C 분리	1.5	A,B,C,D,E
(C,D),E,A,B	(C,D)	C와 D 분리	2.7	A,B,C,D,E
(B,D),C,A,E	(B,D)	B와 D 분리	1.1	A,B,C,D,E
작업끝				

Fig. 5에서 뒷마개는 A, 심대는 B, 본체는 C, 앞마개는 D, 뚜껑은 E로 표기한다. 분해 실험 결과는 Table 2와 같고, 이 Table에서 괄호로 묶인 부품은 부조립군이다.

예를 들어 두 번째 열은 처음 상태로 제품은 부품 A..E를 모두 포함하고 있는 상태"(A, B, C, D, E)"이며 작업은 두 가지가 가능하다. 한가지는 E(뚜껑)를 분리하는 경우이며 작업 후에는 "E"를 제외한 나머지 부분"(A, B, C, D)"과 분해된 부품"E"가 생성된다. 이 경우 Table 2의 4번째 열이 다음 상태가 되며 이때 "(A, B, C, D)"를 "(A, B)","(C, D)"로 분해하거나, "A"와 "(B, C, D)"로 분해하는 것이 가능하다. 이와 같은 작업은 모든 부품이 모두 분리될 때까지 계속된다.

4.2.1 DPN작성

Fig. 6은 볼펜의 AND/OR 그래프이다. AND/OR 그래프에서 시작 마디는 제품이고 각각의 후계 마디들은 소조립군 또는 부품이 된다. 즉, 마디1은 A, B, C, D, E로 이루어져 있는 볼펜이다. 이것은 두 개로 나누어지는 호(2-connector)를 두 개 가지고 있다.

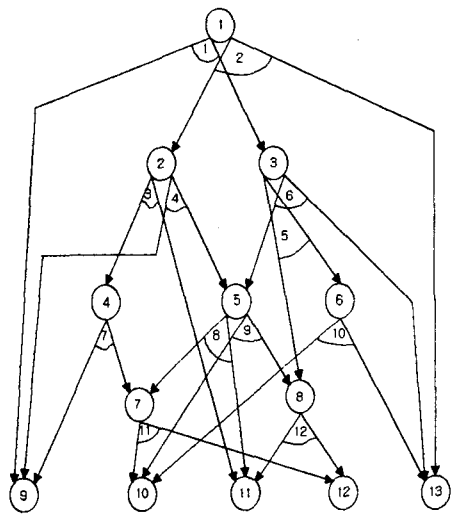


Fig. 6 An AND/OR Graph for the Ballpoint Pen

즉, 마디 {3, 9} 또는 마디 {2, 13}으로 분리된다. 마찬가지로 마디 2는 마디 1에서 부품 A가 분리되고 남은 B, C, D, E의 소조립군이다. 그리고 마디 2는 마디 {4, 11} 또는 마디 {5, 9}로 분리된다.

이와 같은 방법으로 계속 분해 작업을 하면 이 제품의 부품들인 마디 {9, 10, 11, 12, 13}까지 분해 작업이 진행된다. Table 3은 마디와 마디의 상태(제품 상태)를 표시한 것이다.

Table 3 State between the Joint Node of the Ballpoint Pen

마디	마디 상태(제품 상태)	마디	마디 상태(제품 상태)
1	A, B, C, D, E	8	B, D
2	B, C, D, E	9	E
3	A, B, C, D	10	C
4	C, D, E	11	B
5	B, C, D	12	D
6	A, C	13	A
7	C, D		

볼펜의 AND/OR 그래프가 작성되면 Fig. 2와 Fig. 3의 방법을 이용해서 AND/OR 그래프를 DPN으로 변형시킬 수 있다.

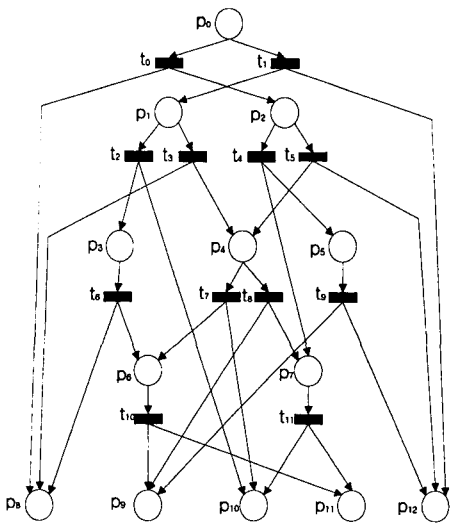


Fig. 7 DPN for Disassembly of the Ballpoint Pen

Fig. 7은 볼펜의 DPN이다. 장소 마디들은 작업에 따른 제품 상태를 표시하고 천이 마디들은 작업 내용을 나타낸다. 장소 0은 천이 0에 의해서 장소 {2, 8}이나 천이 1에 의해서 장소 {1, 12}로 분리된다. 또한 장소 1은 천이 2에 의해서 장소 {3, 10}이나 천이 3에 의해서 장소 {4, 8}로 분리된다. 마찬가지로 계속 분해 작업을 하면 이 제품의 부품들인 장소 {8, 9, 10, 11, 12}까지 분해 작업이 진행된다. Table 4는 장소와 장소상태 그리고 천이와 천이내용(작업 내용)을 보여준다.

Table 4 Places and Transitions of the Ballpoint Pen

장소	장소상태(제품상태)	천이	천이내용(작업내용)
0	A, B, C, D, E	t0	장소 0에서 E를 분리.
1	B, C, D, E	t1	장소 0에서 A를 분리.
2	A, B, C, D	t2	장소 1에서 B를 분리.
3	C, D, E	t3	장소 1에서 E를 분리.
4	B, C, D	t4	장소2를 장소5와 장소 7로 분리.
5	A, C	t5	장소 2에서 A를 분리.
6	C, D	t6	장소 3에서 E를 분리.
7	B, D	t7	장소 4에서 B를 분리.
8	E	t8	장소 4에서 C를 분리.
9	C	t9	장소 5를 A와 C로 분리.
10	B	t10	장소 6을 C와 D로 분리.
11	D	t11	장소 7을 B와 D로 분리.
12	A		

4.2.2 분해 경로 생성

Fig. 7의 DPN을 발화하면 Fig. 8과 같은 발화 계열도를 얻을 수 있다. 여기서 $M_i\{ r_1 \cdots r_{12}\}$은 제품의 상태를 나타내며 $r_1 \cdots r_{12}$은 Table 4의 장소에 해당하는 제품 상태를 나타낸다. 각각의 상태는 0과 1로 나타나며 1로 표현되는 제품의 상태는 존재하며 0인 상태는 존재하지 않는다. 이때 존재하는 상태의 합은 항상 A, B, C, D, E가 각각 하나씩만 존재한다.

이 발화 계열도에 의해서 Fig. 5의 볼펜을 분해하는 방법(발화 순서)들을 모두 구할 수 있다. 분해하는 총 가지 수는 7가지가 나온다. 여기에서 {t0, t4, t9, t11}과 {t0, t4, t11, t9}는 t9 작업과 t11 작업이 서로 연관성이 없기 때문에 하나의 작업으로 간주할 수 있다. 그러므로 실질적인 분해작업의 개수는{t0, t4, t9, t11}, {t0, t5, t7, t10}, {t0, t5, t8, t11}, {t1, t2, t6, t10}, {t1, t3, t7, t10}, {t1, t3, t8, t11} 과 같이 6가지가 된다. 여기에 각각 4개의 시간에 Table 2의 결과로서 얻어진 분해 시간을 모든 경로에 적용하면 각각의 분해 작업에 대하여 Table 5와 같은 볼펜의 분해 시간을 산출할 수 있다. 예를 들

어 첫 번째의 경우 t0는 {A, B, C, D, E}에서 E를 분리하는 작업으로 0.2초, t4는 {A, B, C, D}에서 {A, C} 와 {B, D}를 분리하는 작업으로 2.5초, t9는 {A, C}에서 A와 C를 분리하는 작업으로 1.5초이며 t11은 {B, D}에서 B와 D를 분리하는 작업으로 1.1초가 소요된다. 따라서 t0 + t4 + t9 + t11 = 0.2 + 2.5 + 1.5 + 1.1 = 5.3초가 소요되며, 경로 {t0, t4, t9, t11}로 분해하는 것이 분해 시간을 가장 단축하는 최적의 방법임을 확인할 수 있다.

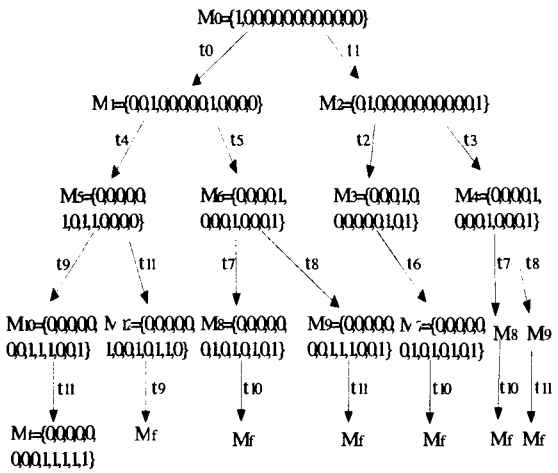


Fig. 8 Reachability Tree of the Ballpoint Pen

Table 5 Disassembly Time of the Ballpoint Pen

분해 경로	총 분해 시간 (초)
t0, t4, t9, t11	5.3
t0, t5, t7, t10	7.7
t0, t5, t8, t11	5.5
t1, t2, t6, t10	7.7
t1, t3, t7, t10	7.7
t1, t3, t8, t11	5.5

5. 분해경로 생성 소프트웨어 (PETRI DRAW)

5.1 전체 프로그램 논리 흐름도

본 논문에서는 분해도 생성 및 모든 분해 경로 그리고 분해 비용과 시간에 따르는 최단시간 분해 경로를 계산해 주는 프로그램의 작성을 위하여 Fig. 9와 같은 논리 흐름도를 설계하였다.

시뮬레이션 프로그램은 먼저, 프로그램에서 사용된 함수를 지원하는 헤드파일과 변수, 그리고 각 모듈의 데이터를 저장하는 배열을 정의하고 초기화 시켰으며, 본 프로그램을 실행하면 화면에 사용자와 대화 형식으로 분해되는 부품자료들을 입력하게 된다. 만약 사용자의 입력이 잘못되었을 경우에는 다시 프로그램의 초기 형태부터 입력 할 수 있게 되어 있으며, 사용자가 입력을 올바르게 했다면 사용자는 제품의 모든 분해 경로 및 최단시간 경로를 얻을 수 있도록 프로그램 되어 있다. 시뮬레이션을 마치면 입력된 자료 및 결과 자료를 저장하게 되며, 사용자가 새로운 분해 작업을 하기를 원한다면 다시 프로그램의 초기 형태를 선택하는 처음으로 돌아가게 된다. 그렇지 않으면 프로그램을 종료하면 된다.

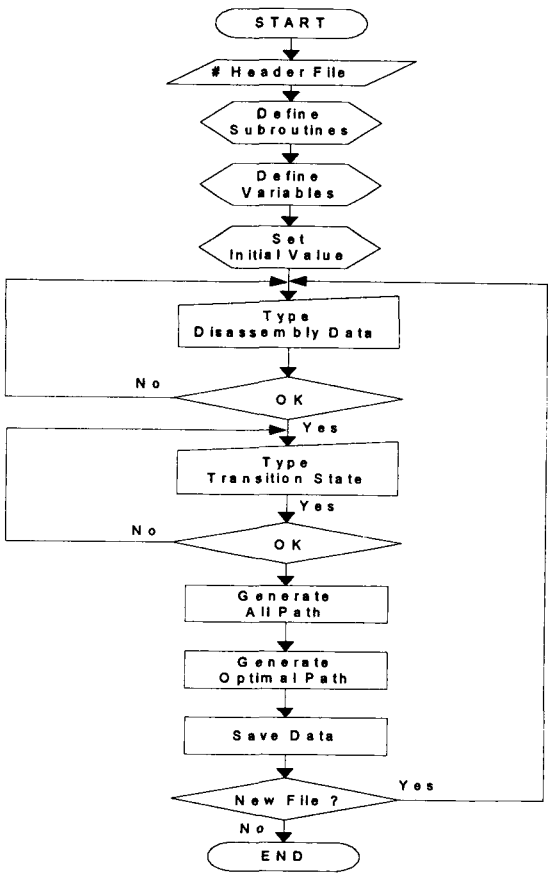


Fig. 9 Flow Chart of PETRI DRAW

위와 같은 논리 흐름을 흐름도로 표시하면 Fig. 9와 같으며, 분해도 생성 소프트웨어인 PETRI DRAW를 Visual C++ 5.0으로 개발하였다.

5.2 시뮬레이션

분해도 생성 프로그램인 PETRI DRAW를 이용하여 Fig. 5의 볼펜에 대한 분해 구조도와 모든 분해 경로 및 시간에 따른 최단시간의 분해 경로를 구할 수 있다. 시뮬레이션에 사용된 입력 데이터는 Table 2와 같다.

분해할 대상인 볼펜의 부품과 작업을 입력하면 Fig. 10의 분해 구조도가 생성된다. 자료 입력을 다 마치면 제품의 모든 경로가 Fig. 11과 같이 {t0, t4, t9, t11}, {t0, t5, t7, t10}, {t0, t5, t8, t11}, {t1, t2, t6, t10}, {t1, t3, t7, t10}, {t1, t3, t8, t11}로 구해졌다. 마찬가지로 최적화버튼을 누르면 Table 2에 따르는 시간에 대한 최단시간 경로가 Fig. 12처럼 총 분해 시간이 5.3초인 {t0, t4, t9, t11}로 계산되었다.

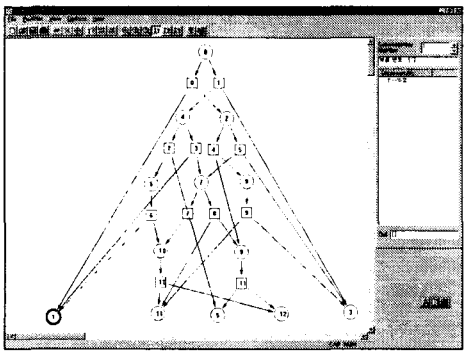


Fig. 10 Disassembly Structure after Data Input

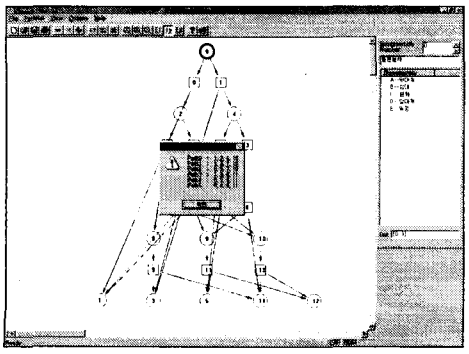


Fig. 11 Generation of All Possible Path

PETRI DRAW를 사용해서 Fig. 5의 볼펜 분해를 시뮬레이션한 결과 볼펜의 분해 구조도가 Fig. 10과 같이 정확히 그려졌으며, 볼펜의 모든 분해 경로가 계산되었고 시간에 따르는 최단시간 경로는 총 분해 시간이 5.3초가 걸린 뚜껑을 먼저 분리한 후 뒷마개와 본체로 구성된 소조립군과 심대와 앞마개로 구성된 소조립군으로 분리한 뒤 다시 뒷마개와 본체 그리고 심대와 앞마개로 분리한 분해 공정 {t0, t4, t9, t11}로 계산되었다.

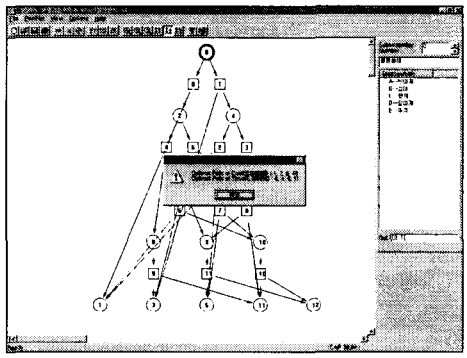


Fig. 12 Searching of the Optimal Path

이 결과는 Fig. 11과 Fig. 12처럼 화면상에 표시되며, 그 값은 Fig. 8의 발화계열도에 의해서 얻어진 결과와 같았고 또한 시간에 따르는 최단시간 경로도 총 분해 시간이 5.3초인 {t0, t4, t9, t11}과 같았다.

6. 결론

분해는 제품의 재활용을 위하여 필수 불가결한 공정이다. 그러나 공정의 순서에 따라서는 작업의 효율성과 비용의 차가 많이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 분해를 고려하여 제품의 구조를 나타낼 수 있는 방법을 연구하였다.

제품의 구조를 나타낼 수 있는 방법들을(트리와 AND/OR 그래프 그리고 페트리 네트) 비교 분석하였다. 트리의 경우 작업이 간단하나 분해경로의 표현이나 작업내용의 표현성이 떨어진다. 페트리네트는 AND/OR 그래프보다 작업 내용의 표현성에 있어서 장점을 보이고 있으나 수작업의 경우 복잡한 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 페트리 네트를 제품의 분해 구조도로 표시되는 가장 적합한 방법으로 선정하고 페트리 네트를 분해 페트리 네트로

변환하였다. 전체의 총 경로에 대하여 발화계열도를 작성하였고 각 경로별로 작업시간을 계산해서 그 중 가장 시간이 작은 경로를 최적의 경로로 선정하였다.

선정된 방법은 Visual C++ 5.0을 이용하여 소프트웨어(PETRI DRAW)로 개발하였고 볼펜의 경우를 예로 들어서 시뮬레이션 했다. 시뮬레이션한 결과 뚜껑을 먼저 분리한 후 뒷마개와 본체로 구성된 소조립군과 심대와 앞마개로 구성된 소조립군으로 분리한 뒤 다시 뒷마개와 본체 그리고 심대와 앞마개의 순서로 분해한 공정 {t0, t4, t9, t11}의 총 분해시간이 5.3초 걸렸고, 이 경우가 최단시간의 분해경로로 나타났다. 그리고 시뮬레이션의 결과로 나온 최단시간 경로 {t0, t4, t9, t11}은 발화계열도를 수작업으로 작성하여 계산된 결과와 일치되었다.

본 논문에서 개발된 소프트웨어는 제품의 분해시 최단시간의 경로를 찾아내는데 효과적으로 이용될 수 있으며, 또한 비용에 관한 항목들을 추가하게 된다면 많은 폐기물의 재활용에 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 이화조: "자동차 Recycling을 위한 분해기술," 대한기계학회지, 제36권 제2호, pp. 120-136, 1996.
2. N. Roth: "Disassembly and recycling of electrotech -nical and electronic products," Technical Report, Siemens AG, Munich, Germany, 1992.
3. C. Hentschel: "The greening of products and pro -duction: A new challenge for engineers," IFIP Transactions B-13 on Advances in Production Management Systems, pp. 39-46, 1993.
4. 조광익, 이화조, 주해호, 이기동, "환경을 고려한 분해용이성 평가," 대한자동차공학회, 춘계학술대회논문집, Vol. 1, pp. 585-591, 1997.
5. D. Spath: "The Utilization of Hypermedia - Based Information Systems for Developing Recyclable Products and for Disassembly Planning," Annals of the CIRP, Vol 43/1, pp. 153-156, 1994.
6. E. Zussman; A. Kriwet; G. Seliger: "Disassembly oriented Assessment Methodology to support Design for Recycling," Annals of the CIRP, Vol. 43/1, pp. 9-14, 1994.
7. D. Geiger; E. Zussmann: "Probabilistic Reactive Disassembly Planning," Annals of the CIRP Vol. 45/1, pp. 49-52, 1996.
8. B. Scholz-Reiter; H. Scharke: "Implementation and Testing of a Reactive Disassembly Planner," 4th International Seminar on Life Cycle Engineering, 26/27 June, Berlin, pp. 135-144, 1997.
9. Kendra E. Moore; Askiner Gungor; Surendra M. Gupta: "Disassembly Process Planning Using Petri Nets," Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, pp. 88-93, 1998.
10. Eyal Zussman; MengChu Zhou; Reggie Caudil: "Disassembly Petri Net Approach to Modeling and Planning Disassembly Processes of Electronic Products," Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, pp. 331-336, 1998.
11. 김철언: "그래프론과 알고리듬," Hong Reung Sci Pub. Co., 1997.
12. Luiz S. Homem de Mello; Arthur C. Sanderson: "A Correct and Complete Algorithm for the Generation of Mechanical," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 7, No. 2, pp. 228-240, 1991.
13. T. Suzuki; T. Kanehara; A. Inaba; S. Okuma: "On Algebraic and Graph Structural Properties of Assembly Petri Net," IEEE Proc. Inter. Conf. on Robo. and Auto. Vol. 2, pp. 507-514, 1993.
14. T. Murata: "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications," Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 4, pp. 541-579, 1989.
15. H. Van Brussel; Y. Peng; P. Valckenaers: "Modelling Flexble Manufacturing Systems Based on Petri Nets," Annals of the CIRP, Vol. 42. No. 1, pp. 479-484, 1993.