

DfD를 위한 부품의 해체순서 결정 소프트웨어 개발

유병철*(국민대학교자동차공학전문대학원 박사과정), 이건상(국민대학교 기계자동차공학부)

The Development of Disassembly Sequence Generator of Parts for DfD

B. C. Yoo(Automotive. Eng. Dept., KMU), K. S. Lee(Automotive. Eng. Dept., KMU)

ABSTRACT

Today recycling has been one of the most important issues in industry as it is required to save the limited amount of natural resources and to keep the environment green. In spite of many efforts to increase recycling rate in industry, however, the practical solutions are very limited. The difficulties are caused by the existence of many parts made of diverse materials and their inevitably complicated assembly structures to satisfy different needs. This paper represents a study on the disassembly sequence generator system for parts recycling. With disassembly costs and revenues, the optimum disassembly sequence can be found with a linear programming.

Key Words : Design for Disassembly(해체를 고려한 설계), Disassembly(해체), Recycling(리사이클링)

1. 서론

자원 재활용과 해체 기술에 관한 연구는 유럽연합과 미국을 중심으로 이루어져 오고 있다. 유럽연합은 독일, 프랑스를 중심으로 80년대 후반부터 폐자동차의 환경친화적 처리를 위해 학계와 기업 연구소에서 많은 연구를 실시해 오고 있다. 지금까지의 해체를 위한 설계 기술에 관한 연구는 현재 제품에 대한 해체용이성 혹은 재활용성을 평가하여 취약점을 분석하는데 많이 치중되어 왔다. 하지만 실제적으로 제품의 해체용이성과 재활용성을 향상시키기 위해서는 평가 및 취약점 분석 다음 단계인 취약부품이나 조립군에 대한 재설계 대안이 생성되어야 한다. 미국의 Boothroyd는 DfS(Design for Service), DfE(Design for Environment)와 관련하여 평가시스템을 개발하여 상용화하였으나 평가 및 취약점 분석 시스템으로서의 특성이 강하고 간략한 설계 가이드라인만을 제시하고 있다.

본 연구에서는 제품의 조립도, CAD/CAM 파일, 그리고 BOM (Bill of Materials) 등의 실제적인 데이터를 이용하여 해체공정의 model에 사용될 수 있는 공식적 표현을 만들어낸다. 이 model은 해체경로

생성 및 최적화에서 시작점에 해당한다. 각 부품의 해체순서를 결정하는 데는 각 부품에 대한 해체 비용과 해체된 부품의 시장 가격의 두 가지의 조건으로 최적 해체 순서가 결정된다.

2. 개발 시스템의 개념

2.1 용어의 정의

본 연구에 사용된 용어로는 부품들 사이의 직접적 접촉관계를 나타내는 연결매트릭스(Connection Matrix), 어느 부품의 해체를 위해, 이 해체작업을 직접적으로 방해하는 부품들에 대한 우선적 해체순서를 표현한 선행작업관계(Precedence relation), 직접적인 접촉관계에 있는 부품들로 구성된 부품군을 나타낸 인접부품 부품군(Coherent subassembly), 해체 후 제조를 허용하지 않는 조건에서의 분리 가능한 부품군을 나타낸 해체가능 부품군 (Detachable subassembly), 실제로 한 덩어리로 해체할 수 있는 실현가능한 부품군으로 인접부품 부품군과 해체가능 부품군의 교집합 부분을 나타낸 실현가능 부품군(Feasible subassembly), 실현가능한 하나의 parent 부품군과 실현가능한 두 개의 child 부품군 사이의

변환을 가능하게 하는 해체작업을 나타낸 실현가능 해체작업(Feasible action), 실현가능 부품군과 실현가능 해체작업 사이의 관계를 나타낸 전환매트릭스(Transition matrix), 각 부품군의 부가가치 또는 이익을 나타낸 부품군 가치(Subassembly revenue), 각 부품군을 해체하는데 소요되는 해체비용을 나타낸 해체비용(Disassembly action cost), 실현가능한 모든 부품군과 해체작업을 조합하여 가장 많은 이익을 창출하는 해체경로의 탐색을 나타낸 해체경로 최적화(Optimum Disassembly Sequence Generation)가 있다.

2.2 개발 소프트웨어의 개념

본 연구에서 각 부품의 해체순서를 결정하는 데는 어떤 부품에 대한 해체할 때 드는 비용과 해체된 부품에 대한 시장 가격의 두 가지의 조건으로 최적 해체 순서가 결정되며, 아래의 순서대로 최종 해체 순서가 결정된다.

- 1). 조립도로부터 부품 사이의 연결관계를 추출하여 연결다이아그램을 만든다.
- 2). 각각의 부품의 분리를 직접적으로 방해하는 부품들의 조합을 찾아 선행작업관계(precedence relation)를 작성한다.
- 3). 인접한(coherent) 부품으로 구성된 subassembly의 목록을 작성한다.
- 4). 분리 가능한(detachable) subassembly의 목록을 작성한다.
- 5). 인접한 subassembly와 분리 가능한 subassembly의 교집합을 구하여, 실현 가능한(feasible) subassembly의 목록을 작성한다.
- 6). 실현 가능한 하나의 parent subassembly와 실현 가능한 두 개의 child subassembly 사이의 변환을 만들어내는 실현 가능한(feasible) action의 목록을 작성한다.
- 7). 실현 가능한 subassembly와 action을 사용하여, 해체 그래프(disassembly graph)와 변환 매트릭스(transition matrix)를 작성한다.
- 8). 각 subassembly에 해당하는 수익(revenue) 목록을 작성한다.
- 9). 각 해체작업에 해당하는 해체비용(action cost) 목록을 작성한다.
- 10). 최적 해체순서를 결정한다.

Fig. 1은 개발 소프트웨어에 대한 개념도를 나타낸 것이다.



Fig. 1 Overall Structure of S/W

2.3 개발 소프트웨어의 구성

Fig. 2는 개발 프로그램의 메인 화면으로 크게 8개의 그룹으로 형성되어 있다. ①은 각 부품의 어셈블리 형태의 파일 이름을 나타낸 것이며, ②는 ①의 어셈블리에 포함되어 있는 각각의 부품 이름을 재정렬한 것으로, 이렇게 재 정렬하는 이유는 ④의 각 부품의 연결관계를 표현하는데 있어 부품의 이름을 화면에 표현하면, 많은 공간이 필요하므로 화면 구성상 재 정의한 것이다. ③은 최적 해체순서를 결정하는데 사용되거나 또는 부가적인 정보를 확인할 수 있는 탭으로 여기에는 각 부품의 연결관계를 확인할 수 있는 테이블, 인접부품 부품군을 확인할 수 있는 테이블, 해체가능 부품군을 확인할 수 있는 테이블, 실현가능 부품군을 확인할 수 있는 테이블, 실현가능 해체작업 순서를 나타낸 그래프, 각 부품의 해체단계를 확인할 수 있는 정보창으로 구성되어 있다. ④는 각 부품의 연결관계를 나타낸 것이며, ⑤는 해체작업을 직접적으로 방해하는 부품들에 대한 우선적 해체 순서를 표현한 선행작업관계를 정의하는 창이며, ⑥은 각 부품의 해체순서를 결정하는 데 각 부품에 대한 해체 비용과 해체된 부품의 시장 가격의 두 가지의 값을 입력하는 창으로 현재는 특정값을 입력하여 부가작위 랜덤값을 취하는 형태이며, 이렇게 랜덤 값을 취하는 이유는 현재로서는 각 부품의 정확한 해체 비용과 각 부품에 대한 부가가치를 알 수 없기 때문이다. ⑦은 ⑥에서의 발생된 각 부품의 랜덤값을 확인 또는 정확한 각 부품의 해체비용과 각 부품의 부가가치를 알 수 을 때 사용된다. ⑧은 최대 이익을 창출 할 때의 각 부품의 해체순서를 나타낸다.

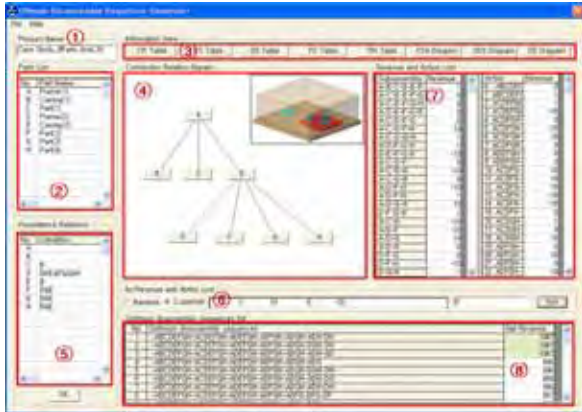


Fig. 2 Main View of S/W

2.4 Case Study (8 Parts)

본 연구에서 개발한 소프트웨어의 최적 해체순서 결정 과정을, 각 단계별로 8개의 부품군으로 구성된 샘플로 설명하면, 우선, Fig. 2의 8개의 부품으로 구성된 어셈블리 제품이 있다고 가정하면, Fig. 3은 8개의 부품으로 구성된 부품의 각 부품별 연결관계를 1(연결), 0(연결 안 됨)으로 나타낸 각 부품별 연결관계를 나타낸 테이블이며, 아래의 그림은 각 부품의 연결관계가 고려된 인접한 부품군을 나타낸 것이다.

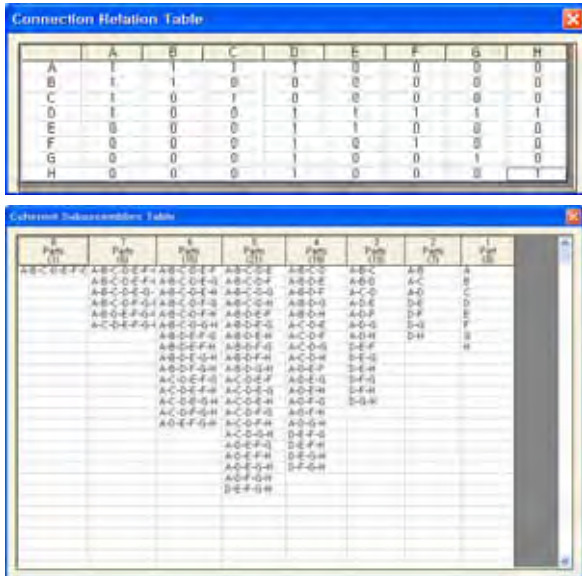


Fig. 3 Connection relation and Coherent subassemblies Table Viewer

Fig. 4는 분리 가능한 부품군을 의미하는 것으로, 여기서는 해체 후 다시 조립하는 것을 허용하지 않으며, 분리할 수 없는 부품군이 존재할 수 있다. 이 단계를 진행하기 위해서는 우선 선행작업관계를 설정 하여야 하며, 선행작업이란 어떤 부품을 해체하기 위해서는 어떠한 부품을 우선 해체해야 되는지

를 정의하는 것을 말한다. Fig.4에서 녹색으로 표시한 부품군이 분리 가능하지 않은 부품군을 의미한다.

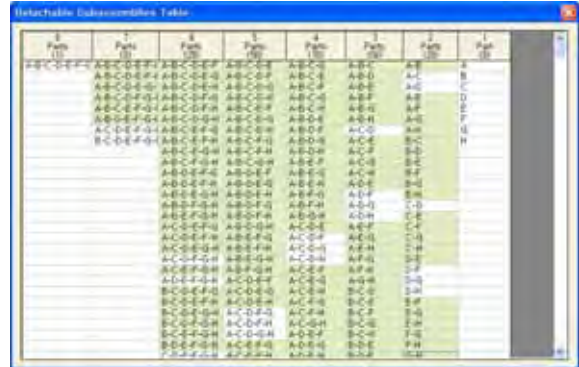


Fig. 4 Detachable subassembly of 8 parts

Fig. 5는 8개의 부품군에 대한 실현 가능한 부품군을 나타낸 것으로, 인접한 부품군과 분리 가능한 부품군의 교집합 부분의 부품군을 나타낸 것이다. Fig. 6은 실현 가능한 부품군의 해체순서를 나타낸 것으로, 실현가능한 하나의 parent subassembly와 실현가능한 두 개의 child subassembly 사이의 변환을 가능하게 하는 해체작업으로 이해할 수 있다.

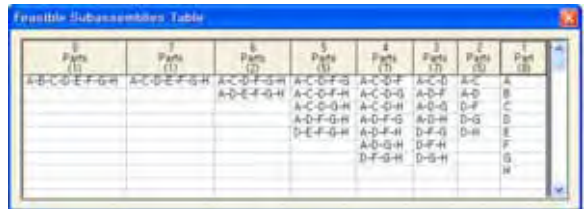


Fig. 5 Feasible subassemblies of 8 parts

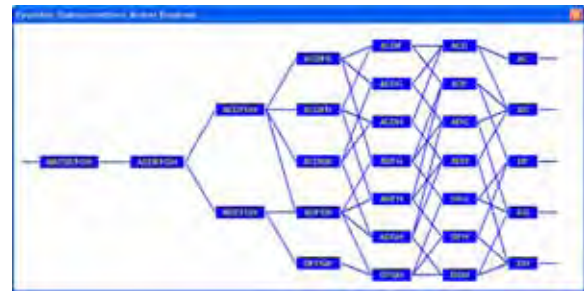


Fig. 6 Feasible actions of 8 parts

3. 해체 순서의 최적화 및 결정

3.1 해체순서의 최적화 과정

본 연구에서는 최적 해체순서를 결정하는데 리니어 프로그래밍을 이용하였으며, 리니어 프로그래밍 목표는 적절한 실현가능 해체순서를 따라 전체 이익

을 최대화할 수 있는 경로의 조합을 찾아낼 수 있는 프로그램을 작성하는 것이며, 실현가능한 모든 부품군과 해체작업을 조합하여 가장 많은 이익을 남길 수 있는 해체경로를 찾는 것이다. 이를 위해 각각의 부품군에는 부가가치(또는 이익)가 지정되고, 각각의 해체작업에는 해체비용이 지정된다. 아래 공식은 리니어 프로그래밍에 사용된 공식을 나타낸 것이다.

최적화 문제의 정식화(formulation):	
Maximize the net revenue: x_j 를 구하는 문제!!!	
$\sum_i \sum_j (T_{ij}r_i - c_j)x_j$	Equation (a)
Subject to	
$\sum_j T_{ij}x_j \geq 0$	Equation (b)
With the initial condition:	
$x_0 = 1$	Equation (c)
여기서,	
x_j : 특정 해체작업이 수행되는가를 점검하는 변수	
= 1 해체작업 j가 수행될 경우	
= 0 해체작업 j가 수행되지 않을 경우	
T_{ij} : 전환매트릭스	
r_i : 부품군 부가가치 벡터	
c_j : 해체비용 벡터	

Fig. 7 Formulation of Optimization

위의 프로그램을 실행한 최적화 결과는 Fig. 8의 빨간색상의 순서로 결정 되었으며, 값은 1, 나머지는 0으로 결정되었다. 즉 아래의 해체작업을 따르는 해체경로가 최적인 것으로(즉 최대 순수익을 발생시키는 것으로) 결정되었다는 것을 의미한다. 이때 해체를 통한 순이익의 최대값 1402로 결정되었다. 즉 모든 다른 경로를 따르는 경우에는 이 값(1402)보다 작은 순이익이 발생함을 의미한다. 그 값들은 [-10, 0, 1, 10]을 변환 매트릭스로 균등하게 임의로 분배(random number generation)하는 방법을 사용하여 생성하였다. 여기서, 한 가지 주의할 점은 부품군의 부가가치 r과 해체비용 c는 현재 그 값을 찾기가 매우 어려우므로 연구자가 임의의 값을 사용하였다. 따라서 최적화의 결과는 실제상황이 아님을 유의해야 한다.

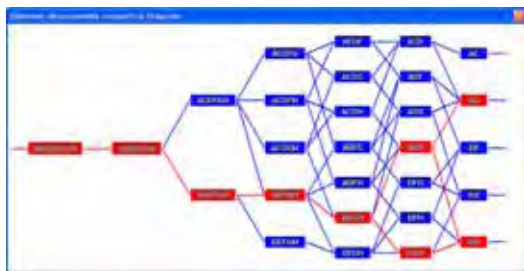


Fig. 8 Optimum Disassembly Sequence of 8 parts

4. 결론

본 연구에서는 각 부품군이 갖는 (부가)가치와 각 해체작업에 소용되는 비용을 기초로 가장 많은 순수익을 얻을 수 있는 경로의 조합을 찾는 방법에 대하여 연구하였으며, 이를 이용하여 해체경로의 최적화 탐색을 위한 소프트웨어를 개발하였다. 이 최적화는 표면적으로는 순수익의 최대화를 목표로 하는데, 이것은 내부적으로는 해체시간과 해체거리에 대한 고려가 통합되어 있는 것이다. 해체작업에 소요되는 비용은 결국 해체시간과 해체거리를 함께 고려하여 결정되는 값이다. 따라서 해체시간에 대한 최적화와 해체거리에 대한 최적화를 따로 따로 고려하는 것은 해체경로에 따른 순이익을 최대화하는 최적화에 이미 포함되어 있는 것이므로, 본 연구에서는 순이익의 최대화만을 고려하였다.

최적 해체경로 생성에는 부품군의 가치와 해체비용에 대한 정보가 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 값을 연구자 임의로 설정하여 프로그램 논리와 소프트웨어 개발 상태를 점검하는데 사용하였다. 그런데 현재로서는 높은 신뢰성을 갖는 이러한 값을 입수하는 것은 매우 어려운 실정으로 보인다. 추후 가장 시급히 보완되어야 할 부분으로 이러한 정보의 수집방법에 대한 연구를 들 수 있다.

참고문헌

1. Lambert, A. J. D., Determining optimum disassembly sequences in electronic equipment. Computers and Industrial Engineering, 2002, 43, 553-575.
2. The MathWorks, Optimization Toolbox for Use with MATLAB®, User's Guide, Version 2.
3. Arora, J., Introduction to Optimum Design, Second Edition, 2004, Elsevier Academic Press.
4. Whitney, D. E., Mechanical Assemblies, 2004, Oxford University Press, Inc.