

재활용을 고려한 분리시간 산정 및 분리용이성 평가 방법론

목학수^{1*} · 조종래¹ · 정용호² · 강영훈¹

¹부산대학교 산업공학과 / ²부산대학교 정밀금형 및 금형가공 연구소

Methodology for Estimation of Disassembly Time and Evaluation of Disassemblability Considering Recycling

Hak-Soo Mok¹ · Jong-Rae Cho¹ · Yoong-Ho Jung² · Young-Hun Kang¹

¹ Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Pusan, 609-735

² ERC/NSDM, Pusan National University, Pusan, 609-735

Since the pressure for recycling has been increasing, the disassembly, which is pre-process of recycling, has been becoming very important process. The goal of disassembly for recycling is to separate different materials to the greatest extent with least effort. DFD (Design for Disassembly) is a design philosophy for improving product designs for simpler or less costly disassembly operations. This paper proposes a new DFD methodology that can estimate the standard disassembly time and evaluate the disassemblability of parts. We select some determining and influencing factors related with disassembly process, and estimate the assembly time using motion analysis. By the levels of the determining and influencing factors, the disassemblability is evaluated, and finally, the tables that include the time and score of disassembly are suggested.

Keywords: DFD, disassembly time, motion analysis, disassemblability

1. 서론

최근 들어 경제성장에 비례하여 수명을 다한 제품의 폐기 문제가 심각하게 대두되고, 국제기구를 중심으로 무역과 환경을 연계시키려는 움직임이 커져 가고 있다. 특히 선진국을 중심으로 환경을 자국 산업의 경쟁력 회복과 비교우위 확보 수단으로 사용하고자 하는 움직임이 두드러짐에 따라 기업에도 재활용을 고려한 제품에 대한 관심이 증가하고 있다(Marcel, 1997). 이렇게 재활용에 대한 관심과 필요성이 커짐에 따라 재활용을 위해서 반드시 거쳐야 하는 분리에 대한 관심도 높아지고 있다. 재활용을 고려한 분리는 수명이 다한 제품을 재활용과 재사용을 위해서 재질별로 하나씩 해체하는 것을 말한다.

<그림 1>은 수명을 다한 폐가전제품의 Life cycle을 보여주고 있다. 일단 입고된 폐가전제품은 분리공정을 통하여 재질별로 해체가 된 후 목적에 따라서 재사용(Reuse) 혹은 재활용(Recycling) 된다. 그런데 이 분리와 관련된 기술이 체계화되어 있지 못하여 많은 재활용 비용과 노력이 소요되고 있다. 또, 분리 후 재사용, 재활용에 대한 분석 및 평가 방법이 체계적으로 구축되어 있지 못하여 정확한 재활용량, 매립, 소각량, 에너지 회복(Energy Recovery) 등을 예측하고 계산하기가 쉽지 않다. 따라서, 설계단계에서 분리 시간을 산정하고 분리용이성을 평가하는 새로운 방법론이 필요하게 되었다. 제품을 생산하기 전에 설계단계에서 이러한 분리시간과 분리용이성을 예측할 수 있다면 기업의 입장에서는 많은 생산비용과 시간을 절감할 수

이 논문은 청정생산기술 개발사업(가전제품의 환경친화설계기술(DFE) 및 시스템 개발: EL-00-01-1)과 2001년도 두뇌한국21사업 핵심분야 및 부산대학교 학술연구조성비에서 지원받아 수행된 연구임.

* 연락저자: 목학수 교수, 609-735 부산시 금정구 장전동 산 30 부산대학교 산업공학과, Fax: 051-512-7603, e-mail: hsmok@pnu.edu
2002년 3월 접수, 1회 수정 후 2002년 5월 게재 확정.

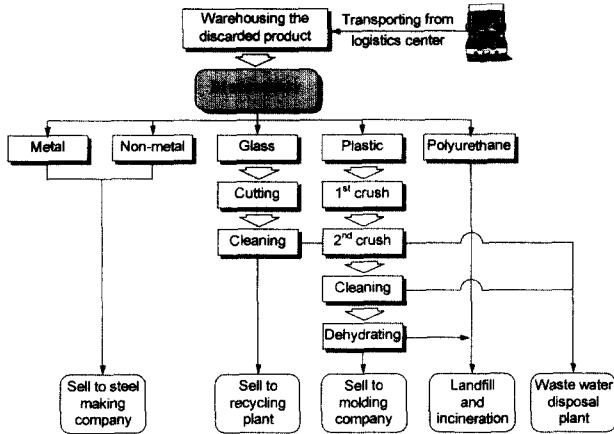


그림 1. 폐가전제품의 Life cycle에서의 분리의 위치 및 필요성.

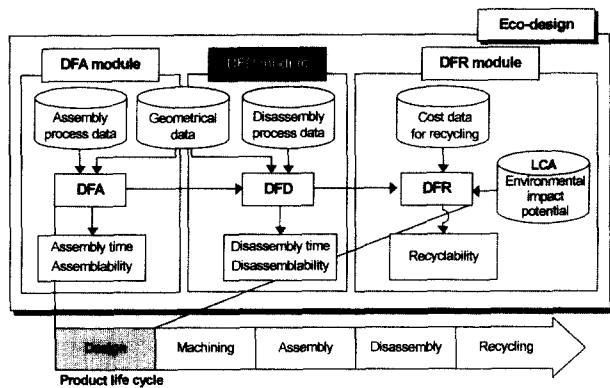


그림 2. 분리를 위한 설계 기술의 배경 및 위치.

있다.

또, 이러한 분리용이성 평가결과는 <그림 2>와 같이 제품의 전과정 평가(Life Cycle Assessment)의 결과인 제품의 환경부하(Environmental impact potential)와 비용 분석의 결과와 함께 제품의 재활용성을 평가하는데 중요한 입력정보로 사용되기 때문에 재활용성을 평가하기 위해서는 분리시간을 산정하고 분리용이성을 평가하는 것이 반드시 선행되어야 한다(Alting, 1995; Hertwich *et al.*, 1997).

<그림 2>에서 보는 바와 같이, 환경 친화적인 제품 설계(Eco-design: Environmentally Conscious Design)는 크게 분리용이성 평가의 입력정보로 사용되는 조립을 위한 설계(DFA: Design for Assembly)(Andreasen, 1988; Lotter, 1989), 분리를 위한 설계, 재활용을 위한 설계(DFR: Design for Recycling)의 세 모듈과 재활용성 평가를 위한 LCA와 비용분석을 모두 포함하는 개념이다(Yan *et al.*, 1999). 즉, 분리를 위한 설계 기술은 재활용을 위한 설계를 성취하기 위해서 반드시 필요한 기술이며 환경 친화적 제품 설계의 아주 주요한 부분이다.

국내 분리 기술에 관련되어서는 자원 재활용 촉진에 대한 법률이 1993년 6월 24일 대통령령으로 제시됨에 따라 90년대를 넘어서면서 학계나 기업, 특히 대기업을 중심으로 재활용에 대한 연구가 어느 정도 이루어지고 있다. 삼성전자의 경우

설계단계에서 제품의 조립, 분리, 재활용성을 평가하는 DFX(Design for X)를 개발하여 현재 사용중에 있으며, LG전자는 분리용이성과 재활용성을 평가하기 위해 ATROID(Assessment Tool for Recycling Oriented Design)을 개발하였으며, 현대자동차는 자동차의 분리성 평가를 위해 VRAIS(Vehicle Recyclability Assessment Information System)을 개발하여 사용하고 있으며 현재 수정중에 있다.

독일의 경우 아헨 대학의 WZL연구소와 베를린 대학의 IWF 연구소, 뮌헨 대학의 IWO 연구소에서 유연 자동 분리 셀(Cell) 구축과 자원 재활용을 위한 분리 구조 설계가 이루어지고 있다. 유럽연합은 유럽연합 전체의 폐차처리 방안을 마련하고 2000년부터 본격적 규제를 위해 각 국가별로 관련 법규 정비 등 세부사항의 준비가 진행중이다. 네덜란드는 부품분리 중심의 기계화된 폐자동차 분리 공장을 개발하여 보급단계에 있으며, 스웨덴은 ECRIS(Environmental Car Recycling In Scandinavia) 연구소를 설립하여 폐자동차 분리 및 처리 기술 개발을 진행하고 있다.

제품의 분리시간 산정과 분리용이성 평가에 대한 연구를 비롯하여 분리 순서와 분리 경로 생성에 대한 연구, 분리를 위한 모듈화 설계에 대한 연구는 현재 많이 이루어지고 있다(Kuo, 2000; Mildenberg and Khare, 2000). 또, 재활용뿐만 아니라 유지, 보수(Maintenance)를 위한 분리에 대한 연구, 소비자 서비스 측면의 업그레이드를 위한 분리에 대한 연구도 이루어지고 있다(목학수, 2001).

이러한 분리기술의 핵심은 분리 시간을 산정하고 분리용이성을 평가하는 것이다. 왜냐하면 분리를 위한 설계를 하고 설계된 제품 대안에 대하여 이러한 분리 셀을 구축하는 것은 분리시간 산정과 분리용이성 평가에 의해 분리 측면에서의 취약점 분석이 이루어진 후의 작업이기 때문이다. 그러나 현재 몇 가지 제시된 방법론은 실제 분리실험을 한 결과와 비교했을 때 그 오차가 너무 커서 현실성이 떨어지는 경우가 많다. 그 이유는 많은 연구에서 충분한 분리 영향요소를 고려하지 않았고 그 방법론이 구체적이지 못한 경우가 많기 때문이다. 분리시간을 산정하고 분리용이성을 평가하는 가장 대표적인 Boothroyd와 Dewhurst의 방법론의 경우, 분리 결정요소를 선정할 때 기준이 불명확하게 분류되어 사용자가 분리동작에서의 시간을 추정하고 분리용이성을 평가할 때 객관적이지 못하다. 또, 분리공정에 발생하는 다양한 영향요소를 반영하지 못하고 적절한 영향요소를 사용하지 못하여 올바른 시간 측정이 어렵다. 예로, '크기가 너무 작아서 부가적인 공구의 사용'과 '크기가 너무 커서 두 손을 쓰는 경우'에서 그것을 결정하는 영향요소 '크기'는 빠져 있다.

본 연구에서는 분리시간 산정과 분리용이성 평가를 위한 새로운 방법론을 제시한다. 설계단계에서 미리 생산하고자 하는 제품의 분리시간을 산정하고 분리용이성을 평가함으로써 취약점이 발생하는 부품을 개선할 수 있기 때문에 많은 시간과 비용을 절감할 수 있을 것이다.

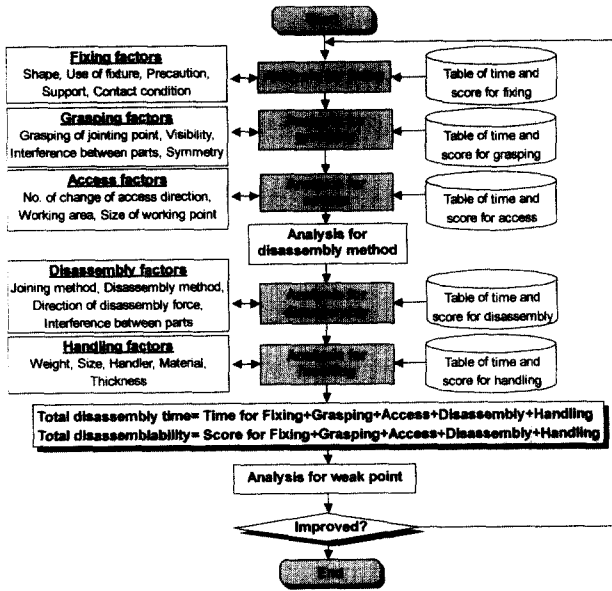


그림 3. DFD의 Flowchart.

2. 분리를 위한 설계

2.1 DFD의 Flowchart

본 연구에서는 분리 평가기준(Criteria) 혹은 결정요소(Determining factor)를 <그림 3>과 같이 고정(Fixing), 파악(Grasping), 접근(Access), 분리(Disassembly), 취급(Handling)의 다섯 가지로 나누었다. 이는 일련의 분리공정은 먼저 분리 대상물을 고정한 후 분리점을 파악하고 분리점으로 접근한 후 분리를 하고 분리된 부품을 취급하는 다섯 요소로 나누어진다는 것을 의미한다. 고정은 분리 대상물에 분리력을 전달하기 용이하도록 대상물을 작업자가 고정하는 공정이고, 파악은 분리 대상물의 체결 위치, 접근 경로, 체결방법을 작업자가 인식하는 공정으로 정의한다. 접근은 대상물을 분리하기 위해 작업자의 신체 일부나 분리도구가 체결점 또는 대상물의 특정지점으로 위치하는 것을 말하고, 분리는 실제 분리가 일어나는 것을 말한다. 마지막으로 취급은 분리대상을 고정, 파악, 접근이 용이하도록 놓인 위치를 변경하거나 분리 후의 특정위치로 이동시키는 것으로 정의한다.

다음으로 각 결정요소에 세부 영향요소(Influencing factor)를 도출한다. 결국, 총분리시간은 이러한 결정요소들의 시간의 합으로 표현되고, 총분리용이성은 각 부품의 결정요소별 용이성 정도의 합으로 계산된다. 평가결과 분리시간이 많거나 분리용이성이 낮은 부품의 취급특성을 파악하여 분리용이성 설계원칙을 적용하여 전체적인 제품의 분리용이성을 향상시킬 수 있다. 각 결정요소의 분리시간과 분리용이성은 미리 결정되어 있는 테이블을 사용하여 구한다. 결국, 이러한 고정, 파악, 접근, 분리, 취급 테이블에 의하여 시간과 용이성이 자동으로

결정된다.

분리용이성 평가방법 중 가장 널리 알려진 방법이 Boothroyd Dewhurst 방법이다(Boothroyd, 1992). 그러나 이 방법은 각 결정요소의 영향요소를 선정할 때 ‘잡기 쉽고 어려움’, ‘취급하거나 조작하기 쉽고 어려움’ 등의 기준이 불명확하게 분류되어 사용자가 실제 분리동작에서의 시간을 추정하고자 할 때 객관적으로 찾기가 힘들다. 또, 분리공정에 발생하는 다양한 영향요소를 반영하지 못하고 적절한 영향요소를 사용하지 못하여 올바른 시간 측정이 어렵다. 본 연구에서는 기준을 명확하게 설정하고 각 공정(단계)에서의 영향요소의 산출에 많은 노력과 연구를 하였으며 보다 다양하고 정확한 시간 테이블을 작성하였다. 또, 분리에 가장 영향을 미치는 분리방법을 각 분리방법에 따른 영향요소를 산출하여 모든 분리방법에 대해서 다른 시간 테이블을 작성하여 시간(점수)이 안정적이고 원래값(Original value)에 보다 가깝게 접근할 수 있게 하였다.

2.2 분리 결정요소와 영향요소의 도출

각 결정요소별 세부 영향요소를 도출하는 이유는 이러한 영향요소들에 의해서 각 부품들의 분리시간과 분리용이성을 구할 수 있는 테이블이 만들어지기 때문이다. <표 1>은 분리의 결정요소와 그에 따른 영향요소, 각 영향요소별 등급을 보여주고 있다.

결정요소들 중 분리(Disassembly)는 분리방법에 따라 영향요소와 그 등급도 다르다. 표에서는 분리방법 절단(Cutting)을 예로 나타내었다.

영향요소의 등급을 나누는 이유는 분리시간과 분리용이성이 이러한 등급에 의해서 결정되기 때문이다. 일반적으로 영향요소는 크게 정성적(Qualitative)인 요소와 정량적(Quantitative)인 요소로 나눌 수 있다. 크기(Size), 두께(Thickness), 무게(Weight) 등은 정량적인 요소이며 작업영역(Working area), 시각성(Visibility) 등은 정성적인 요소이다. 정량적인 요소의 경우에는 그 정의가 명확하며 등급도 정량적 값의 간격으로 쉽게 나눌 수 있지만, 정성적인 요소의 경우 접근 방향(Access direction) 등과 같이 명확한 요소는 쉽게 정의되지만 작업영역과 시각성 등과 같은 요소들은 그 정의와 등급을 정의해야만 한다.

작업 영역은 분리점에서 부품을 분리공구로 분리할 때 그 부품의 형상이나 다른 부품에 의해 간섭 없이 작업을 할 수 있는 영역을 나타낸다. 따라서, 작업 영역은 부품의 개방성(Open)과 공구의 공간허용정도(Space permission)에 의해서 결정된다. <그림 4>는 나사작업(Bolting)으로 조립된 부품을 분리하는 역나사(Unbolting) 작업에서의 부품 개방성과 공구의 공간허용 정도에 의해서 결정되는 작업 영역의 정의와 등급의 분류를 보여주고 있다. 작업 영역 좋음(Good)은 손과 공구를 사용할 때 작업영역이 충분하여 작업자가 결합력을 주기가 쉽거나 제약이 거의 없는 경우를 말하고, 나쁨(Bad)은 작업공간이 매우 협소하고 장애물이 있어서 특정 형태의 공구만 사용가능하거나

표 1. 분리 영향요소와 등급의 정의

Criteria	Influencing factors	Level				
		1	2	3	4	
Fixing (0.15)	State of contact(0.11)	Face contact (1)	Line contact (3)	Point contact (5)		
	Simple/Complex shape(0.30)	Simple (1)	Complex (9)			
	Use of fixture or not(0.35)	Not use (1)	Use (7)			
	Precaution(0.20)	No (1)	Yes (5)			
	Support(0.04)	No (1)	Yes (5)			
Grasping (0.12)	Disassembly method(0.32)	Simple(Joining point=1)(1)	Simple(Joining point >2)(5)	Complex (9)		
	Visibility(0.17)	Good (1)	Bad (5)			
	Interference(0.07)	No (1)	Yes (7)			
	Rehandling(0.18)	Easy (1)	Difficult (5)			
	Contrast/Boundary(0.26)	Yes (1)	No (5)			
Access (0.13)	Visibility(0.34)	Good (1)	Bad (6)			
	Assess direction(0.11)	Vertical(Gravity) (1)	Horizontal(oblique) (5)	Combined (7)		
	Working area(0.47)	Good (1)	Bad (7)			
	Symmetry(0.08)	$\beta = 0, \beta = 90$ (1)	$\beta = 180, \beta = 360$ (5)			
Disassembly (0.51)	Material(0.36)	Not steel (1)	Steel (7)			
	Fixing(0.14)	Good (1)	Bad (5)			
	No. of cutting(0.36)	One (1)	More than one (5)			
	Resistance(0.10)	Small (1)	Big (3)			
	Working area(0.09)	Good (1)	Bad (5)			
	Placement stability(0.05)	Good (1)	Bad (5)			
Handling (0.09)	Nesting/Tangling(0.16)	No (1)	Yes (7)			
	Size (0.22)	I, II	$1 < S \leq 20$ (1)	$20 < S \leq 50$ (3)	$0 < S \leq 1, S > 50$ (9)	
		III	$S \leq 100$ (1)	$S > 100$ (7)		
	Thickness (0.07)		$0 < T \leq 5$ (1)	$5 < T \leq 10$ (5)		
			$W \leq 0.3$ (1)	$0.3 < W \leq 2$ (7)		
	Weight (0.09)	I, II	$W \leq 0.3$ (1)	$0.3 < W \leq 2$ (7)		
		III	$W \leq 3$ (1)	$W > 3$ (9)		
	Symmetry (0.12)	I	$\alpha + \beta < 360$ (1)	$360 \leq \alpha + \beta < 540$ (3)	$540 \leq \alpha + \beta < 720$ (5)	$\alpha + \beta = 720$ (7)
		II	$\alpha \leq 180$ (1)	$180 < \alpha \leq 360$ (5)		
		III	$\alpha < 180$ (1)	$\alpha = 180$ (5)		
Additional difficulties (0.29)	No (1)	Yes (7)				

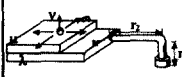
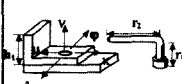


Working area	Opening	Space permission
Good Free movement of tool	Full open	 $\{v > r_1\} \& \min\{\phi, \kappa, \lambda, \mu\} > 1.5r_2 \Rightarrow$ Free movement of tool
Good Partial restriction of tool movement	Partial open	 $\{h_1 > r_1\} \& \min\{\phi, \kappa, \lambda, \mu\} = d_1 < 1.5r_2 \Rightarrow$ Partial restriction of tool $\{h_1 < r_1\} \& \min\{\phi, \kappa, \lambda, \mu\} = d_1 < 1.5r_2 \Rightarrow$ Free movement of tool
		 $\{h_1 > r_1\} \& \min\{\phi, \kappa, \lambda, \mu\} < 1.5r_2 \Rightarrow$ Partial restriction of tool $\{h_1 < r_1\} \& \min\{\phi, \kappa, \lambda, \mu\} < 1.5r_2 \Rightarrow$ Free movement of tool
Partial restriction of tool movement	Open	 $\{r_1 > r_2\} \& \min\{\phi, \kappa, \lambda, \mu\} < 1.5r_2 \Rightarrow$ Partial restriction of tool $\{r_2 < h_2 < 1.5r_2\} \Rightarrow$ Partial restriction of tool

그림 4. 작업영역과 시각성의 정의.

작업시 어려움이 많은 경우로 정의된다. 시각성은 분리하고자 하는 부품의 분리점의 보이는 정도를 나타내며 부품의 개방성(Open)과 체결점을 볼 수 있는 가시범위(Visual limits for joining point)의 관계에 의해 결정된다. 시각성의 등급은 크게 좋음

(Good)과 나쁨(Bad)으로 나누었으며, 부품의 개방이 완전개방(Full open)과 부분 개방(partial open)의 경우에 체결점의 가시범위가 넓은 경우에 시각성이 좋다고 정의한다. 그리고 비개방(No open)이면서 체결점의 가시범위가 좁은 경우에 시각성이 나쁘다고 정의한다.

또 다른 영향요소인 접촉상태(State of contact)는 분리 대상물이 지면과 접촉되어 있는 상태를 말하며 크게 점접촉(Point contact), 선접촉(Line contact), 면접촉(Face contact)의 세 가지 종류가 있다. 주의(Precaution)는 대상물을 고정할 때 질적 특성 때문에 주의가 필요한 경우를 말한다. 간섭(Interference)은 분리점을 파악할 때 해당 부품의 복잡성이나 다른 부품에 의해서 간섭이 생기는 경우이다. 재취급(Rehandling)은 분리점 파악을 위해서 다른 부품 특성을 재취급으로 제거하는 경우이다. 대칭성(Symmetry)은 크게 α -symmetry와 β -symmetry로 나눈다. α -symmetry는 축에 직각을 이루는 방향으로 회전하여 원하는 위치로까지 회전한 각을 말하며, β -symmetry는 축을 회전각으로 하여 원하는 위치로까지 회전한 각을 말한다. 결국 이러한 대칭성이 좋을수록, 즉 회전각이 작을수록 등급이 좋다. 놓임안정성(Placement stability)은 부품이 지면과 어떤 상태로 접촉하여 놓여져 있는가를 말하며 부품의 면과 지면과의 접촉면의 상태인 접촉상태에 의해 결정된다. 놓임안정성은 크게 좋음

(Good)과 나쁨(Bad)의 두 등급으로 분류되며 점접촉과 선접촉의 경우에 나쁘고 면접촉과 복합접촉의 경우 좋다. 그 이유는 부품면과 지면 사이의 접촉면적이 커질수록 그 부품의 놓임안정성도 커지기 때문이다.

<표 1>에서 각 결정요소와 영향요소의 가중치는 AHP (Analytic Hierarchy Process)를 이용하여 구하였다(Saaty, 1986). 그리고, 등급별로 어려움 점수(Difficulty score)를 다섯 단계로 부여하였다. 많은 연구에서는 이 어려움 점수를 레벨에 따라 1(Good), 3(Middle), 9(Bad) 세 단계로 부여하였지만 본 연구에서는 1부터 9까지 1(Good), 3(Nor bad), 5(Nor good), 7(Bad), 9(Absolute bad)의 다섯 구간으로 분류하였다. 그 이유는 이 스케일이 실제값과 추정치의 상관계수(Correlation coefficient)가 가장 큰 것으로 많은 실험에서 증명되었기 때문이다(Harker, 1987). 그리고, 그 값을 영향요소의 등급에 따라 그 중요도에 맞추어 부여하였다. 예를 들면 영향요소인 부품형상과 고정구 사용여부의 등급은 같지만 어려움 점수는 1,9와 1,7로 다르게 주어졌다. 이것은 부품형상의 2등급이 고정구 사용여부의 2등급보다 더 많이 분리에 영향을 미친다는 의미이다. 이러한 결정요소와 영향요소의 가중치와 점수를 구하는 이유는 이러한 값들에 의해서 뒤에 분리용이성이 계산되기 때문이다.

2.3 동작분석을 통한 분리시간 산정

표준 분리시간을 산정하기 위해서 본 연구에서는 동작분석 기법을 사용하였다. 그 세부 절차는 다음과 같다.

- Step 1. 모든 분리공정을 동작 분석함
- Step 2. 분석된 분리 동작을 각 결정요소별로 분류하고 그룹핑함
- Step 3. 기본동작을 MTM과 WF를 사용하여 정의
- Step 4. 분리시간 산정을 위해서 기존의 MTM과 WF 테이블을 확인
- Step 5. 만약 그 테이블에 해당 결정요소의 모든 영향요소가 다 포함되어 있으면 Step 6으로 가고 그렇지 못하면 Step 7로 감
- Step 6. 그 기본동작의 시간을 구하고 Step 9로 감
- Step 7. 모든 영향요소와 그 등급을 포함하는 분리 환경을 만들
- Step 8. 실제 분리실험을 한 후 Step 6으로 감
- Step 9. 만약 모든 결정요소의 기본 동작 분석이 이루어졌으면 끝내고 그렇지 못하면 Step 4로 감

위 단계의 아이디어는 먼저 MTM과 WF의 시간 테이블을 사용하여 시간을 산정함으로써 객관성을 높이고, 포함되지 않은 영향요소는 분리 환경을 만들어서 실제 분리실험을 통하여 시간을 산정하여 보정하는 것이다.

2.3.1 분리공정의 동작 분석

본 연구에서는 동작분석을 위해 PTS(Predetermined Time Standard)법 중에서 MTM(Methods Time Measurement)법과 WF (Work Factor)법을 동시에 사용하였다. MTM과 WF는 그 나름대로 여러 가지 장점이 있으나, 모든 분리공정을 묘사하기에는 부족한 부분이 존재하여 MTM을 기초로 부족한 부분을 WF를 사용하여 추가하였다. MTM은 R(Reach), M(Move), T(Turn), AP(Apply Pressure), G(Grasp), P(Position), RL(Release Load), D (Disengage), ET(Eye Travel), EF(Eye Focus), BM(Body Motion)으로 구성되어 있다. WF는 T(Transport), PP(Pre-position), A(Assemble), U(Use), D(Disassemble), MP(Mental Process) 등으로 구성된다(황학, 1992). 예를 들면, 나사작업으로 체결된 분리방법 역나사의 경우에 기본동작은 분리점을 쳐다보고(ET), 분리공구를 쳐다본 후(ET), 집중한 후(EF), 손을 뺀채서(R), 분리공구를 잡고(G), 분리점으로 이동하여(M), 손안에서 분리공구를 고쳐 잡고(PP), 처음 힘을 가한 후(AP), 분리하고(D), 돌리고(C), 놓는 동작(RL) 등으로 분석된다. 이처럼 MTM을 기초로 하여 WF의 기본동작을 보완하여 정의한다. MTM의 경우 TMU 단위이고 WF의 경우 WFU 단위이기 때문에 WF로 정의되는 경우에는 WFU를 TMU로 변환하여 단위를 통합하였다(1WFU = 0.17TMU).

이러한 기본 동작들은 그 나름대로의 영향요소(거리, 정렬 상태 등)를 포함한 시간 테이블이 존재한다. 동작분석을 통한 분리시간 산정 단계에서 언급했듯이 이러한 기존의 시간 테이블을 기초로 최종적인 시간 테이블이 작성된다.

2.3.2 표준 분리시간 및 분리용이성 산정 절차

<그림 5>는 표준 분리시간과 분리용이성 점수를 구하는 과정을 보여주고 있다.

만약 어떤 결정요소에 다섯 종류의 영향요소 1, 2, 3, 4, 5가 있고 영향요소 4는 4, 4' 두 종류의 등급이 존재하고 영향요소 5는 5, 5', 5'' 세 종류의 등급이 있다고 가정하자. 현재 다섯 종류의 영향요소의 등급이 모두 1등급인 1, 2, 3, 4, 5의 경우는 그 시간은 42TMU가 된다. 이 시간은 앞에서 설명한 동작분석 단계에 의해 결정된다. 영향요소 4의 등급이 4에서 4'로 한 등급 떨

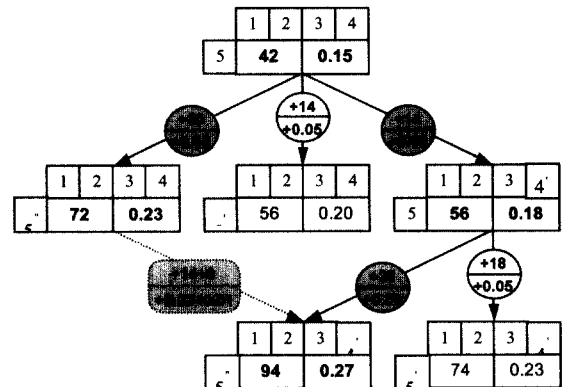


그림 5. 분리시간과 분리용이성 계산 과정.

어져서 1, 2, 3, 4', 5로 바뀌었을 때 14TMU의 페널티 시간이 추가되어서 총 시간이 56TMU가 된다. 그리고 다시 여기서 영향요소 5의 등급이 두 단계 떨어져서 5에서 5''로 된 1, 2, 3, 4', 5''의 경우에는 페널티 시간 38TMU가 추가되어서 94TMU가 되는 것이다. 이 시간은 영향요소 4와 5의 등급이 각각 한 단계와 두 단계 떨어졌을 때의 페널티 시간 14TMU과 30TMU의 합 44TMU 보다 8TMU의 시간이 더 걸린 것이다. 이것은 영향요소 4와 5가 동시에 떨어져서 1, 2, 3, 4, 5에서 1, 2, 3, 4', 5''로 바뀌었을 때, 즉 두 가지의 영향요소가 복합적으로 떨어졌을 때는 하나씩 등급이 떨어졌을 때보다 시간이 α 만큼 더 걸림을 보여준다. 이러한 관계를 식(1)에서 보여주고 있다.

$$T_{1,2,3,4',5''} = T_{1,2,3,4,5} + PT_{1,2,3,4 \rightarrow 4',5} + PT_{1,2,3,4',5 \rightarrow 5''} \\ = T_{1,2,3,4,5} + PT_{1,2,3,4 \rightarrow 4',5} + PT_{1,2,3,4,5 \rightarrow 5''} + \alpha \quad (1)$$

여기서, $T_{1,2,3,4',5''}$ 는 영향요소가 1, 2, 3, 4, 5에서 1, 2, 3, 4', 5''로 바뀌었을 때의 분리시간을 나타내고 $PT_{1,2,3,4 \rightarrow 4',5}$ 는 영향요소 4가 4'로 한 등급 떨어졌을 때의 페널티 시간을 나타낸다. α 는 등급이 동시에 떨어졌을 때 추가되는 페널티 시간을 나타내며 <그림 5>에서는 8TMU이다.

지금까지 부품의 분리용이성을 평가하는 대부분의 연구가 영향요소와 그 선호점수의 단순한 곱으로 그 용이성을 구하였다. 본 연구에서는 새로운 방법을 제시한다. 결정요소의 가중치와 그 결정요소의 각 영향요소의 가중치, 그리고 <표 1>에서 제시된 영향요소의 등급에 따른 어려움 점수의 곱으로 구해지며 각 결정요소별로 용이성 점수를 구하여 시간 테이블에 같이 기입된다. 즉, <그림 5>와 같이 영향요소들의 등급이 모두 1등급인 1, 2, 3, 4, 5의 용이성을 구한 후 등급이 떨어짐에 따라 페널티 점수를 부여하는 방법이다. 식(2)는 각 부품의 분리용이성을 구하는 식이다.

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_i w_j s_j \quad (2)$$

여기서, w_i 는 결정요소 i 의 가중치를 나타내고, w_j 는 영향요

소 j 의 가중치를 나타낸다. s_j 는 등급에 따른 영향요소 j 의 어려움 점수를 나타낸다. 이렇게 시간과 함께 테이블에 미리 결정된 용이성 점수는 사용자로 하여금 입력정보를 줄여서 쉽게 계산이 가능하도록 하며, 나중에 시스템 구축도 용이하게 한다.

식(3)은 시간을 구하는 개념과 비슷한 개념으로 영향요소의 등급이 낮아짐에 따라 용이성 점수를 구하는 개념을 보여주고 있다.

$$S_{1,2,3,4',5''} = S_{1,2,3,4,5} + PS_{1,2,3,4 \rightarrow 4',5} + PS_{1,2,3,4',5 \rightarrow 5''} \\ = S_{1,2,3,4,5} + PS_{1,2,3,4 \rightarrow 4',5} + PS_{1,2,3,4,5 \rightarrow 5''} + \beta \quad (3)$$

여기서, $S_{1,2,3,4',5''}$ 는 영향요소 1, 2, 3, 4, 5가 1, 2, 3, 4', 5''로 바뀌었을 때의 분리용이성 점수를 나타내고 $PS_{1,2,3,4 \rightarrow 4',5}$ 는 영향요소가 4에서 4'로 바뀌었을 때의 페널티 점수를 나타낸다. β 는 등급이 동시에 떨어졌을 때 추가되는 페널티 점수를 나타내며 <그림 5>에서는 0.01이다.

분리용이성을 구하는 이러한 과정은 가중치를 구할 때와 마찬가지로 기본적으로 AHP의 과정을 따른다. AHP는 여러 평가 기준을 사용하여 어떤 대안들을 평가할 때 많이 쓰이는 방법이나 본 연구에서와 같이 기준과 그 가중치와 어려움 점수를 가지고 결과를 도출하고자 할 때에도 좋은 방법이다. 그리고 다른 결정요소와는 달리 고정된 경우에는 다른 결정요소와는 다른 접근법이 필요하다. 왜냐하면 다른 결정요소는 부품에 따라서 시간과 용이성이 결정되지만 고정의 경우 모든 부품을 고정할 필요가 없기 때문이다. 즉, 어떤 부품을 분리하기 위해서 고정할 때는 그 부품을 고정하는 것이 아니라 그 부품이 포함된 조립군 혹은 기저부품(Basepart)을 고정한다. 이런 이유로 부품의 수가 고정공정의 수와 일치하지 않는 경우가 더 많다. 본 연구에서는 결정요소 고정용이성의 테이블을 그리고 부품별 고정시간과 용이성을 구하기 위해서 <그림 6>과 같이 간단한 방법을 제시한다.

먼저, 부품과 조립군 혹은 기저부품 간의 관계를 알기 위해 분리도를 그린다. 현재 n 레벨의 분리공정이 존재하며 부품 n 을 분리하기 위해서는 n 의 고정공정이 필요하다고 가정하자.

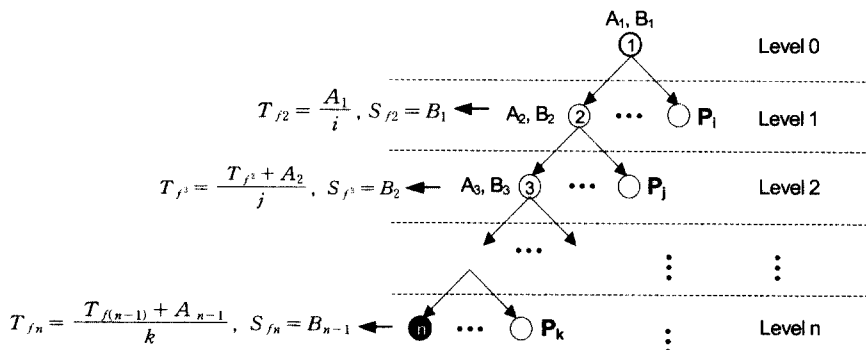


그림 6. 부품의 고정시간 및 고정용이성 산정 절차.

그림에서 P_i, P_j, P_k 는 각각 해당 레벨에서 조립군 혹은 기저부품에 포함된 부품 혹은 조립군의 수를 말한다. 예를 들면 기저 부품 2에는 k 개의 부품 혹은 조립군이 존재하여 2를 고정된 후 k 개의 부품 혹은 조립군을 분리한다. A는 고정테이블에서 기저 부품의 고정 시간을 나타내고 B는 고정 점수를 나타낸다. T_{jn} 는 부품 n 에 부여된 추정 고정 시간을 나타낸다. 부품 n 의 고정 시간은 먼저 가장 높은 레벨의 기저부품 고정 시간 $A1$ 을 부품 혹은 기저부품 개수 i 로 나눈다. 그리고, 이 값이 $A2$ 와 더해져서 다시 j 로 나누어져서 부품 3의 고정시간을 추정한다. 이러한 과정을 반복하면 n 레벨의 부품 n 의 고정시간은 T_{jn} 로 추정된다.

부품 n 의 고정용이성 점수 S_{jn} 는 상위 레벨에서 고정되는 기저 부품의 점수로 구해진다. 시간의 개념과는 달리 고정용이성 정도는 정성적인 값이기 때문에 그 값을 그대로 보존하므로 상위레벨의 용이성 점수를 나누지 않고 그 값을 그대로 물려 받는다.

2.3.3 분리시간 및 분리용이성 테이블 작성

본 연구에서는 위에서 설명했듯이, 분리의 각 결정요소별 시간 및 용이성 점수 테이블을 미리 결정하여 제시하였다. 이렇게 미리 결정된 테이블을 보면서 각 부품의 영향요소별 특성이 결정되면 그 부품의 분리시간과 분리용이성이 동시에 결

Legend φ : Codes λ : Time μ : Score		Simple shape								Complex shape							
		Fixture: Not use				Fixture: Use				Fixture: Not use				Fixture: Use			
		Precaution: No		Precaution: Yes		Precaution: No		Precaution: Yes		Precaution: No		Precaution: Yes		Precaution: No		Precaution: Yes	
		No hand support	Hand support	No hand support	Hand support	Simple fixture	Special fixture	Simple fixture	Special fixture	No hand support	Hand support	No hand support	Hand support	Simple fixture	Special fixture	Simple fixture	Special fixture
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fixing table	Contact: 0	42	56	86	98	140	230	176	192	56	72	102	118	166	254	192	220
	Face	0.15	0.18	0.30	0.33	0.52	0.56	0.67	0.72	0.40	0.43	0.56	0.59	0.77	0.82	0.92	0.97
	Contact: 1	56	74	112	116	166	276	214	224	72	94	130	148	198	296	246	268
	Face	0.20	0.23	0.36	0.39	0.57	0.62	0.73	0.77	0.46	0.49	0.61	0.64	0.83	0.87	0.98	1.02
Contact: 2	72	94	150	140	192	318	246	268	94	112	150	180	240	332	290	360	
Point	0.23	0.27	0.38	0.41	0.60	0.65	0.75	0.80	0.48	0.51	0.64	0.67	0.85	0.90	1.01	1.05	

Legend S: Size (cm) T: Thickness (cm) W: Weight (kg) α : α -symmetry (°) β : β -symmetry (°)		Material: Not steel								Material: Steel							
		Fixing: Good				Fixing: Bad				Fixing: Good				Fixing: Bad			
		No. of cutting: One		No. of cutting: > 1		No. of cutting: One		No. of cutting: > 1		No. of cutting: One		No. of cutting: > 1		No. of cutting: One		No. of cutting: > 1	
		Resistance: Small	Resistance: Big	Resistance: Small	Resistance: Big	Resistance: Small	Resistance: Big	Resistance: Small	Resistance: Big	Resistance: Small	Resistance: Big	Resistance: Small	Resistance: Big	Resistance: Small	Resistance: Big	Resistance: Small	Resistance: Big
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cutting table	Working area: Good	36	70	176	246	54	86	216	316	72	96	270	328	90	126	330	400
		0.51	0.66	1.31	1.45	0.88	1.02	1.68	1.82	1.80	1.94	2.65	2.79	2.22	2.37	3.02	3.16
	Working area: 1	64	112	268	410	90	140	320	370	130	148	328	440	154	168	426	480
	Good	0.73	0.88	1.53	1.67	1.10	1.24	1.90	2.04	2.02	2.16	2.88	3.02	2.45	2.59	3.24	3.39

Legend S: Size (cm) T: Thickness (cm) W: Weight (kg) α : α -symmetry (°) β : β -symmetry (°)		Placement stability: good and Nesting/Tangling: No										Placement stability: good or Nesting/Tangling: No						
		$S \leq 20$					$20 \leq S \leq 50$					$1 \leq S \leq 20$			$20 \leq S \leq 50$			$0 \leq S \leq 1$
		$0 < T \leq 5$		$5 \leq T \leq 10$		$0 < T \leq 5$		$5 \leq T \leq 10$		$0 < T \leq 5$		$5 \leq T \leq 10$		$0 < T \leq 5$		$5 \leq T \leq 10$		Additional
		$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	$W \leq 0.3$	difficulties
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Handling table (I)	$\alpha + \beta < 360$	35	46	42	54	42	55	50	64	54	64	60	76	64	78	72	84	100
		0.09	0.15	0.12	0.18	0.14	0.20	0.17	0.24	0.19	0.26	0.23	0.29	0.25	0.31	0.28	0.35	0.62
	$360 \leq \alpha + \beta < 540$	44	58	52	66	52	68	62	78	66	78	74	88	78	97	90	100	124
		0.11	0.18	0.15	0.21	0.17	0.23	0.20	0.27	0.22	0.29	0.26	0.32	0.28	0.34	0.31	0.37	0.66
	$540 \leq \alpha + \beta < 720$	50	66	60	72	59	78	72	86	76	88	84	98	88	110	104	112	138
		0.14	0.21	0.18	0.25	0.20	0.27	0.24	0.30	0.26	0.32	0.29	0.36	0.31	0.38	0.34	0.42	0.69
$\alpha + \beta = 720$	54	70	66	80	64	84	80	96	82	94	92	106	96	120	112	122	150	
	0.17	0.23	0.21	0.27	0.22	0.29	0.26	0.32	0.28	0.35	0.31	0.38	0.33	0.40	0.37	0.43	0.72	

그림 7. 분리를 위한 시간 및 용이성 테이블의 예.

정될 수 있다. 즉, 각 부품에 대하여 결정요소별 영향요소의 등급이 결정되면 시간과 용이성 점수가 같이 결정되기 때문에 평가시 평가시간과 노력을 절감할 수 있도록 하였다. 시간 및 용이성 테이블은 고정, 파악, 접근, 취급은 모든 분리방법에 공통으로 사용되고 각 분리방법에 따라서 테이블이 작성되어 분리방법이 결정되면 해당 테이블을 찾아서 전체적인 시간 및 용이성을 구하게 된다. 분리방법에 따라 테이블이 모두 존재해야 하는 이유는 분리방법마다 영향을 미치는 영향요소가 틀리기 때문이다.

<그림 7>에 이상의 과정을 통하여 얻은 분리시간 산정과 분리용이성 평가를 위한 테이블의 몇 가지 예를 보여주고 있다. 첫 번째 테이블은 결정요소 고정의 시간 및 용이성 테이블이다. 고정에 영향을 미치는 요소는 <표 1>에서 제시된 바와 같이 고정되는 기저부품의 형상, 고정구 사용여부, 재질적 특성으로 인한 주의 여부, 고정구를 사용하지 않는 경우에는 손으로 지지 여부, 고정구를 사용하는 경우에는 고정구의 종류, 대상의 접촉상태 등이다. 고정 테이블에서 진하게 표시된 부분은 <그림 5>의 계산 예에서 구한 값이다. 두 번째 테이블은 여러 가지 분리방법 중에서 절단(Cutting)의 시간 및 용이성 테이블이다. 영향요소로는 절단되는 대상의 재질, 절단 전에 고정 상황, 절단 횟수, 절단력과 관련된 저항, 작업영역 등이다. 취급은 <표 1>에서와 같이 세 종류의 테이블이 주어진다. 한 손으로 취급 가능한 부품의 경우(I), 부품의 취약특성(영김성 등) 때문에 두 손으로 취급하는 경우(II), 크기나 무게 때문에 두 손으로 취급하는 경우(III)가 그것이다. 그림에서는 한 손으로 취급 가능한 부품의 경우(I)를 예로 보여주고 있다.

3. 사례연구

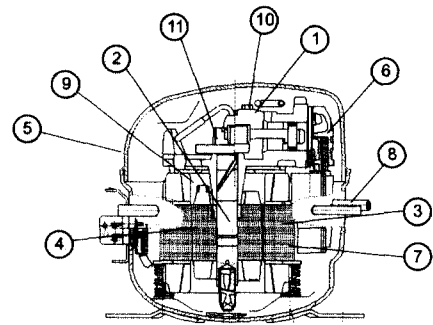
3.1 연구 대상의 선정

본 연구에서는 사례연구로 냉장고 조립군인 Compressor조립군을 선정하였다. 냉장고 조립군의 분리실험을 한 결과 Compressor 조립군이 여러 가지 조립방법으로 많은 부품이 존재하여 DFD기술을 적용하기 적합했기 때문이다. <그림 8>은 Compressor 조립군의 주요 부품(a)과 부품 정보(b)를 보여주고 있다. Compressor 조립군의 부품들 중에서 11개의 주요 부품에 대하여 연구를 수행하였다.

3.2 평가 차트

분리시간과 분리용이성의 계산과 이해의 편의를 위해서 본 연구에서는 평가 차트를 제시한다. <표 2>는 Compressor 조립군의 DFD 평가를 위한 차트이다.

1열은 부품 번호, 2열은 부품의 수를 나타내고, 3열의 작업반복수는 계속해서 반복해야 하는 작업의 수를 나타낸다. 분리



(a)

No.	Part name	Material	Weight (g)
1	Cylinder block	GC-200	1871.0
2	Crank shaft	GC-200	237.0
3	Stator	ST-STEEL	4236.3
4	Rotor assy	ST-STEEL	1524.8
5	Shell	SHP-1	3038.0
6	Ear mounting	SHP-1	328.0
7	Protector	SHP-1	58.0
8	Pipe assy	C1220T-H	46.9
9	Stopper stator	SHP-1	101.0
10	Bolt (Stator)	SCM	8.0
11	Cover silencer	HOT ROLL COIL	41.3

(b)

그림 8. Compressor 조립군의 주요부품과 부품정보.

시 2열의 부품 수만큼의 시간이 더 걸리므로 분리시간을 구할 때는 이 값을 곱한다. 그리고, 3열 작업반복수의 경우에는 해당 결정요소의 작업반복수를 나타내므로 해당되는 결정요소에만 그 수만큼 곱한다. 예를 들면, 부품 7의 경우 부품의 수가 4개이므로 고정, 파악, 접근, 분리, 취급의 모든 결정요소에 4가 곱해져서 분리시간이 구해진다. 그러나 부품 1의 경우에는 분리작업이 3번 반복되므로 결정요소 분리에만 3이 곱해진다. 4열은 분리에서 고정의 시간 및 용이성 테이블상의 코드를 나타낸다. 5열과 6열은 테이블상의 고정시간 및 용이성 점수를 나타낸다. 시간의 경우 테이블에서는 동작분석을 통한 단위(TMU)가 주어졌는데 차트에서는 이 값을 초단위로 환산(1TMU=0.036초)하여 기입하였다. 7열에서 9열까지는 파악에 대한 정보가, 10열에서 12열까지는 접근에 대한 정보가 똑같은 방법으로 기입된다. 13열은 각 분리방법의 테이블을 찾아가기 위하여 분리방법을 나타내었다. 단순분리(Sd)는 밀어내기, 들어올림 등과 같이 부품의 형태 변화 없이 간단히 부품을 분리하는 방법이다. 14열에서 16열은 결정요소 분리에 대한 정보가 기입된다. 20열은 이상의 과정으로 구한 각 부품의 총 분리시간을, 그리고 21열은 총 분리용이성을 나타낸다.

이 평가 차트에서 얻을 수 있는 정보로는 각 부품별 고정, 파악, 접근, 분리, 취급 시간 및 용이성 점수와 전체 조립군의 고정, 파악, 접근, 분리, 취급 시간 및 용이성 점수 등이다. 이러한 정보들은 현재 조립군의 분리효율을 구하는 데 아주 유용한 정보이다. 그리고, 부품별 시간과 용이성 정보를 통하여 분리취약 특성을 파악할 수 있다. 즉, 분리시간이 많이 걸리거나 분

표 2. DFD기술을 위한 평가 차트

Evaluation chart for DFD																				
Product: Compressor of refrigerator																				
Part no.	Quantity	No. of repetitions	Fixing(per part)			Grasping(per part)			Access(per part)			Disassembly method	Disassembly(per part)			Handling(per part)			Total	
			Code	Time (sec.)	Score	Code	Time (sec.)	Score	Code	Time (sec.)	Score		Code	Time (sec.)	Score	Code	Time (sec.)	Score	Time (sec.)	Score
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	3	8:2(2)	2.34	0.48	2:0	1.37	0.34	1:0	1.37	0.56	Ub	5:1	4.97(*3)	2.43	3:3(I)	2.88	0.27	22.9	4.08
2	1	1	8:0(3)	0.72	0.40	0:0	0.72	0.12	0:0	0.72	0.13	Sd	0:0	0.86	0.51	2:0(I)	1.51	0.12	4.5	1.28
3	1	1	8:0(3)	0.72	0.40	10:2	3.52	0.93	5:1	3.17	0.66	Cu	11:0	11.81	2.79	11:0(II)	4.75	0.26	25.9	3.04
4	1	1	8:0(3)	0.72	0.40	0:0	0.72	0.12	1:0	1.37	1.56	Sd	0:1	1.44	1.16	0:1(III)	2.45	0.15	6.6	2.39
5	1	1	1:1(I)	1.33	0.36	2:0	1.37	0.34	3:1	1.66	0.61	Cu	12:0	63.24	2.22	5:1(I)	2.45	0.23	10.1	3.76
6	1	1	8:2(3)	2.84	0.48	0:0	0.72	0.12	2:0	1.08	0.18	Pu	1:0	1.44	1.12	2:3(I)	2.43	0.21	25.1	4.66
		4	8:2(3)			6:1	1.58	0.40	2:0	1.08	0.18	Ub	4:0	3.46(*4)	1.80	0:3(I)	1.94	0.17		
7	4	1	8:0(3)	0.72(*4)	0.40	6:2	1.87(*4)	0.55	6:1	2.02(*4)	0.40	De	0:0	1.80(*4)	0.51	8:2(I)	2.74(*4)	0.26	36.6	2.12
8	1	1	2:1(I)	1.33	0.36	4:2	2.74	0.69	9:1	1.66	0.61	Cu	11:0	11.81	2.79	6:0(I)	1.80	0.17	19.3	4.62
9	1	1	8:0(3)	0.72	0.40	0:0	0.72	0.12	2:0	1.08	0.18	Pu	0:0	0.86	0.51	0:2(I)	1.80	0.14	5.1	1.35
10	2	1	8:2(3)	2.84(*2)	0.48	0:0	0.72(*2)	0.12	0:0	0.72(*2)	0.13	Ub	4:0	3.46(*2)	1.80	0:1(I)	1.52(*2)	0.11	18.5	2.64
11	1	1	8:0(3)	0.72	0.40	6:0	1.08	0.24	6:0	1.73	0.36	Ub	16:0	4.61	2.04	0:3(I)	1.94	0.17	16.1	3.21
Sum				20.0	4.56		23.4	4.09		24.4	4.56			78.9	19.68		38.0	2.26	104.7	33.15
Legend			Ub : Unbolting, Sd: Simple disassembly, Cu: Cutting, Pu: Pulling, De: Destroying																	

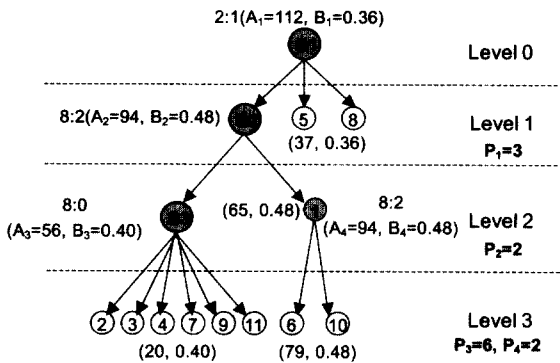


그림 9. Compressor 조립군의 각 부품별 고정시간 및 용이성 점수.

리 어려움 점수가 높은 부품을 확인하여 그 원인이 되는 영향요소를 찾아서 그 등급을 올리거나 향상시키는 방향으로 재설계가 가능하다.

<그림 9>는 <그림 6>에서 제시된 Compressor 조립군의 각 부품의 고정시간과 고정용이성 점수를 구하는 과정이다.

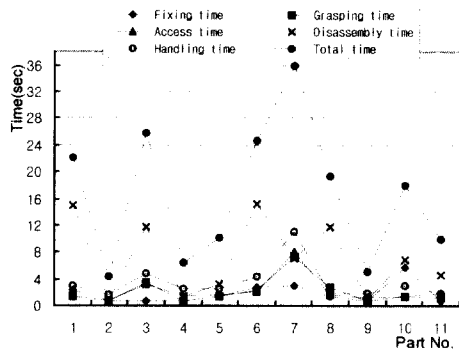
레벨 3까지 분리되며 기저부품 1, 2, 3과 부품 1이 고정되어 분리된다. 기저부품 1(B1)이 고정되어 기저부품 2(B2)와 부품 5, 8이 분리되어 총 3개가 분리되고 그 고정시간은 112를 3으로 나누어 모두 37TMU이다. 다시 기저부품 2가 고정되어 기저부품 3과 부품 1이 분리되므로 그 고정시간은 37과 94가 더해지고 분리 개수 2로 나누어져서 65가 된다. 이러한 과정으로 모든 부품의 고정시간이 추정된다. 그리고 고정용이성 점수는 상위 레벨의 용이성 점수를 그대로 물려 받아서 평가 차트에 기입된다.

3.3 취약점 분석

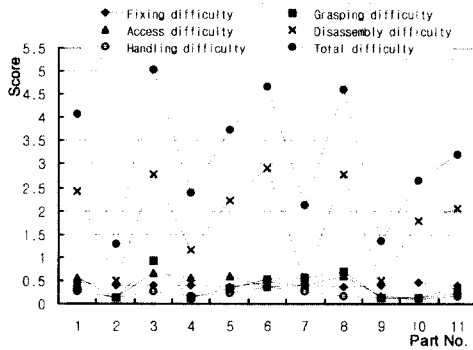
취약점 분석은 일반적으로 분리시간이 많이 걸리고 분리용이성 점수가 낮거나 분리어려움 점수가 높은 부품에 대하여 이루어진다. <그림 10>은 Compressor 조립군의 각 부품의 결정요소별 시간(a)과 분리 어려움 점수(b)를 보여주고 있다.

부품 1, 3, 6, 7, 8, 10의 경우에 상대적으로 전체 분리시간이 많이 걸렸다. 일반적으로 결정요소 분리시간이 많이 걸리는 경우가 전체 분리시간이 많이 걸렸는데 비해 부품 7의 경우에는 고정을 제외한 모든 결정요소의 시간이 골고루 높아서 전체적인 분리시간이 많이 걸린 경우이다. 이것은 분리공정에서 주기능(Main function)인 분리시간과 보조기능(Sub function)인 고정, 파악, 접근, 취급시간의 비율인 분리효율(Disassembly efficiency)이 전반적으로 높는데 비해서 부품 7의 경우에는 분리효율이 낮다는 것을 의미한다. 따라서, 부품 7의 경우에는 이러한 보조기능과 관련된 시간을 줄이는 쪽으로 재설계가 고려되어야 한다. 분리시간이 많이 걸리는 다른 부품에 대해서는 분리시간을 줄일 수 있도록 분리시간이 짧은 체결방법으로 바꾸든지 결정요소 분리와 관련된 영향요소의 등급을 올리는 방향으로 재설계가 검토될 수 있다. 그리고, 부품 6의 경우에는 분리시간이 적게 걸리는 분리방법(Sd, Ub)으로 분리되지만 분리방법이 두 개가 있기 때문에 분리시간이 많이 걸리는 경우이다. 이런 경우에는 두 분리방법을 통합할 수 있는 체결방법이 검토되어야 한다.

분리어려움 점수의 경우에는 분리 효율이 높기 때문에 결정



(a)



(b)

그림 10. Compressor 조립군의 분리시간 및 어려움 점수.

요소 분리의 어려움 점수와 총 분리시간의 점수 그래프가 유사하다. 일반적으로 분리시간이 많이 걸리는 부품의 용이성이 떨어져서 어려움 점수가 높지만 반드시 그렇지는 않다. 어떤 부품은 분리시간이 많이 걸리더라도 쉽게 분리가 되어서 분리 어려움 점수가 낮은 경우도 있고 반대의 경우도 있다. 부품 7의 경우에는 부품 수가 4개이므로 분리시간이 많이 걸리지만 분리방법이 파괴적이고 재사용을 고려하지 않기 때문에 오히려 분리 어려움 점수가 낮은 경우이다. 이 부품의 경우에는 분리시간을 줄이기 위해서 4개의 부품이 통합될 수 있는지를 먼저 검토한다. 이렇게 분리시간이 많거나 어려움 점수가 높은 부품은 그 원인이 되는 영향요소를 향상시키는 쪽으로 재설계 원칙을 적용하여 재설계할 수 있다.

이와 같이 <표 2>의 평가 차트와 <그림 10>의 그래프를 통하여 분리 취약점 분석이 가능하며 부품 수 감소 여부, 체결 요소 수 감소 여부, 분리방법 변경을 위한 체결방법 변경 여부, 분리공정 통합 여부 등이 검토될 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 동시공학적 개념에서 설계단계에서 제품의 분리용이성을 평가하기 위한 새로운 방법론을 제시하였다. 분리시간을 산정하기 위해서 동작분석 기법을 사용하였으며 영향요소의 등급에 따라서 페널티 시간을 부여하였다. 분리용이성은 AHP로 구한 결정요소와 영향요소의 가중치와 영향요소의 등급별 어려움 점수를 사용하여 구하였다. 이러한 분리시간과 분리용이성을 사용하여 생산하고자 하는 제품의 분리효율을 미리 살펴봄으로써 전반적인 분리시간 및 비용을 줄일 수 있을 것이다.

향후 분석된 분리 취약특성을 제거하기 위하여 재설계 원칙을 적용하여 재설계 대안을 생성할 것이다. 분리용이성 평가 결과를 사용하여 재활용성 평가를 위한 방법론도 개발할 것이다. 또, 사용자가 쉽게 분리용이성을 평가할 수 있도록 사용자 중심의 통합적인 시스템을 구축할 것이다.

참고문헌

Marcel, T. (1997), Designer Support for Product Structuring-Development of a DFX Tool within the Design Coordination Framework, *Computer in Industry*, 33, 155-163.

Mok, H. and Cho, J. (2001), Development of Product Design Methodology for Assemblability and Disassemblability Considering Recycling, *Journal of KSPE*, 18(7), 72-84.

Alting, L. and Legarth, J. (1995), Life cycle Engineering and Design, *Ann. CIRP*, 44, 569-580.

Hertwich, E. et al. (1997), Evaluating the Environmental Impact of Products and Production Processes: A comparison of Six Methods, *The Science of the Total Environment*, 196, 13-29.

Andreasen, M. (1988), Design for Assembly, IFS Publications, UK.

Lotter, B. (1989), Manufacturing Assembly Handbook, Butterworths.

Yan, P. et al. (1999), An Integrated Product and Process Development Methodology: Concept Formulation, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 15, 201-210.

Kuo, T. (2000), Disassembly Sequence and Cost Analysis for Electromechanical Products, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 16, 43-54.

Mildenberger, U. and Khare, A. (2000), Planning for an Environment-Friendly Car, *Techovation*, 20, 201-214.

Boothroyd, G. (1992), Assembly Automation and Product Design, Marcel Dekker, Inc.

Saaty, T. (1986), Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 32(7), 841-855.

Harker, P. (1987), The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 33(11), 1383-1402.

Hwang, H. (1992), Work Study, Young Ji, 1987.



목학수

부산대학교 기계설계공학과 학사
 KAIST 기계공학부 석사
 독일 Aachen 공대 기계공학과 박사
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수
 관심분야: 조립을 위한 설계(DFA), 환경을 위한 설계(DFE)



정유희

부산대학교 기계공학과 학사
 서울대학교 기계설계공학과 석사
 서울대학교 기계설계공학과 박사
 현재: 부산대학교 정밀금형 및 금형가공연구소 부교수
 관심분야: 형상모델링, 5축고속가공용 CAM 시스템, Virtual manufacturing, System modeling and Simulation, 조립 및 분리성 설계 방법론



조종래

부산대학교 산업공학과 학사
 부산대학교 산업공학과 석사
 현재: 부산대학교 산업공학과 박사과정
 관심분야: 재활용과 환경을 위한 설계(DFE), 조립자동화



강영훈

부산대학교 산업공학과 학사
 현재: 부산대학교 산업공학과 석사과정
 관심분야: 마이크로 제품의 조립을 위한 설계 (DFA), 분리를 위한 설계(DFD)