

## 제품의 분해시간 산출방법에 관한 연구

이화조#, 주해호\*, 박영찬\*\*

### A Study on the Method of Disassembly Time Evaluation of a Product

Hwa-Cho Yi<sup>#</sup>, Hea-Ho Joo<sup>\*</sup> and Young-Chan Park<sup>\*\*</sup>

#### ABSTRACT

In this paper, a method of disassembly time evaluation for a product has been proposed. The product designer can predict the ability of disassembly for a given product in terms of time by considering a type, size, weight, connection parts, and the movement distance of the product. The equation for calculating disassembly time were derived by applying the basis motion status of worker and some informations of connection parts, various tools, and many different type of assembly structures. The developed method of evaluating disassembly time has been applied to disassemble the product by manual labor. The proposed method has shown that the actual disassembly time was well predicted.

**Key Words** : Disassemblibility (분해성), Dissassembly Time (분해시간), Product Recycling (제품 리사이클링), Workfactor Method (WF)

#### 1. 서론

고갈되어 가는 지구의 자원과 매립장의 부족 문제를 해결하기 위해서는 가급적이면 폐기물의 양을 줄여야 한다. 이에 대한 방안의 하나로써 국내에서는 쓰레기 분리수거를 수행하고 있으나 이것은 단일재질로 만들어진 제품일 경우에만 가능하다. 현재 대부분의 공산품들은 복합재질의 많은 부품들로 구성되어 있기 때문에 상당히 제한적으로 리사이클링(Recycling)되고 있다.<sup>1</sup>

이러한 공산품들의 리사이클링률을 높이기 위

해서는 재질별로 모두 분해하는 것이 중요하다. 하지만 한 제품의 부품들을 모두 재질별로 분해하는 것이 불가능한 경우도 있으며, 경우에 따라서는 분해가 가능하지만 경비가 지나치게 높아 현실성이 없는 경우도 많이 있다.

따라서 효과적이고 경제적인 해체를 가능하게 하기 위해서는 제품을 개발하고 설계할 때 분해를 고려하여야 한다. 설계자가 자기가 개발한 제품을 분해를 고려하였다고 하더라도 얼마나 분해가 용이할지를 객관적으로 판단할 수 있는 도구가 필요하다.<sup>1,2</sup>

국내에서는 조립시간의 산정에 관한 연구가 수행되었고,<sup>3</sup> 선진국들에서는 제품의 조립뿐만 아니

2002년 10월 8일 접수  
# 교신저자, 영남대학교 기계공학부  
Email hcyi@yu.ac.kr Tel. (053) 810-2579  
\* 영남대학교 기계공학부  
\*\* 충남대학교 기계공학과 대학원

라 이미 분해용이설계에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다. 독일 Aachen 대학의 WZL 연구소에서는 조립을 위한 설계 기술, 조립을 위한 설계 기술과 공정 설계의 연결, 분해 평가 방법, 리사이클링을 위한 설계 등에 대해 연구하였거나 진행 중에 있고,<sup>4</sup> Stuttgart 대학의 IPA 연구소에서는 조립 설계를 위한 기술, 분해용이설계를 위한 기술 등을 연구하였다.<sup>5</sup> 한편 미국의 Rhode Island 대학에서는 조립을 위한 설계기술, 조립비용, 조립자동화를 위한 제품설계, 분해를 위한 설계기술등에 대해서 연구하였다.<sup>6</sup> 스웨덴의 Akermark는 제품의 구조를 정의하고 분해시간, 인식성, 공구의 관점에서 분해모델을 제시하고 평가하는 방법에 관한 연구를 수행하였다.<sup>7</sup> 미국의 Tomas는 분해작업의 형식을 15개, 사용공구를 5개군 29개로 분류하였다. 그리고 분해성 평가항목을 접근성, 위치, 분해력, 순수 분해시간, 표준화의 여부로 분류하고, 난이도를 1(용이)에서 10(난이)으로 하여 제품의 분해성을 평가하였다.<sup>8</sup> 크라이슬러사의 Gerald Winslow는 제품을 재질 분리등급과 재활용성 등급으로 분류하였다.<sup>9</sup> 일본 능률협회의 中村은 재활용의 개념과 제품 분해성 평가에 대한 연구로 분리방향 및 분리방법과 조건에 따라 별점을 부여하는 방법을 수행하였다.<sup>10</sup> 이들 연구에서는 결과가 대부분 점수 혹은 등급으로 나타나게 된다. 이러한 경우 구체적인 분해비용의 산출에 필요한 자료를 얻는 것은 상당히 제한적이다.

본 연구에서는 직접 제품을 분해하지 않고, 제품의 체결요소 정보와 작업환경에 대한 정보를 제공함으로써 유도된 계산식에 의해서 분해 대상제품에 대한 개략적인 분해시간을 구하는데 그 목적을 두고 있다. 이렇게 분해시간이 구해지면, 이는 제품의 리사이클링 특성을 평가하는데 중요한 지표중의 하나로 사용될 수 있을 것이다.

## 2. 분해시간에 관련된 영향요소 분석

대부분의 제품들은 크기와 형상이 서로 다른 부품들이 체결요소에 의해 하나의 제품으로 구성되어 있다. 이러한 부품들을 개별 부품으로 분해하는데 있어서 분해시간에 영향을 미치는 영향요소들을 찾기가 쉽지가 않다.

본 연구에서는 먼저 분해와 여러 가지 측면에서

유사한 특성을 가지고 있는 조립시간과 관련 영향요소들을 살펴보기로 한다. 조립과 분해의 특성을 비교하고 영향을 미칠 수 있는 요소들을 비교 분석한다. 결과에 따라 분해시간의 예측에 영향을 미치는 영향요소들과 선정한다. 그리고 분해시간을 계산하기 위하여 선정된 영향요소들과 분해 작업단위별로 Work Factor 방법<sup>11</sup>을 이용하여 표준시간을 계산한다.

### 2.1 조립과 분해에 관련된 영향요소 비교

조립과 분해의 비교분석을 통하여 분해측면에서 고려될 수 있는 영향요소들을 살펴보면 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of Influence factors for Assembly and Disassembly

조립 측면		분해 측면	
조립방법	체결 부품 형태	분해방법	분해방향
	체결 공구		분해공구
	체결 방향		공구의 접근성
	체결 부품수		
조립공정	대칭성	분해공정	시각성
	시각성		분해력
	영킹성		
	접근성		분류의 용이성
	접근방향		
	접촉상태		
조립군	접근방향 변경수	부품관련	분해 및 절단 지점
	작업 공간의 크기		
	형상		
	소재의 종류		마모정도
	부품의 수		조립정도

기본적인 영향요소로서 형상, 크기, 무게, 체결요소, 취급성, 유해성, 체결점 등이 있다. 분해방법에 따라 분해방향, 분해공구, 공구의 접근성 등이 있고, 분해공정에 따라 시각성, 작업의 강도(분해력), 분류의 용이성, 분해/절단 지점 등이 있다. 또한 분해된 부품에 따라 부품의 수, 부품의 마모정도, 썸 용이성 등이 있다. 그밖에 노화, 청결도, 분해성, 소재의 종류, 코팅 및 페인팅 여부 등이 있다.

분해시간과 관련된 영향요소들은 아래에 자세히 설명한다

## 2.2 분해시간과 관련된 영향요소 선정과 정의

제품의 분해시간은 분해와 관련된 영향요소들의 합으로 계산된다. 하지만 이들 영향요소들은 시간적 차원의 물리량이 아니다. 이를 시간의 값으로 측정하기 위해서는 새로운 계산 시스템 도입이 필요하다. 그래서 본 연구에서는 시간측정이 가능하도록 분해시간과 관련된 영향요소들을 세부적으로 분류하여 선정하였다. 첫 번째로, 체결요소 파악시간( $T_{pb}$ )으로 체결요소의 종류에 따른 적절한 작업 공구를 선택하기 위해 일련의 동작에 따라 소요되는 시간이다. 두 번째로, 공구 탐색 및 인식시간( $T_{ps}$ )으로 여러 종류의 공구가 모여 있어 선택을 요하는 경우 공구를 탐색하고, 인식하는데 소요되는 시간이다. 세 번째로, 공구를 잡는 시간( $T_{pg}$ )으로 체결요소에 적당한 공구를 작업자가 잡는데 소요되는 시간을 말한다. 네 번째로, 체결요소개소간 거리를 이동시간( $T_{md}$ )으로 분해할 체결요소 사이를 이동하는데 소요되는 시간이다. 다섯 번째로, 체결요소들이 있는 면으로의 방향 전환 시간( $T_{mr}$ )으로 회전이 가능한 부품일 경우 체결요소가 있는 면을 작업자가 작업하기 용이한 방향으로 전환하는데 소요되는 시간이다. 여섯 번째로, 체결요소의 기본 분리지수( $T_{db}$ )로 체결요소분해에 가장 적합한 분해 공구를 사용하여 체결요소를 분해하였을 때 소요되는 시간적인 물리량으로 체결요소와 분해공구의 쌍으로 체결요소의 분리지수가 결정된다. 일곱 번째로, 작업강도로 분해되는 제품은 사용자(user)의 사용과 환경변화에 따라 부식과 마모가 발생하여 분해시간을 결정하는 변수로 작용한다. 여덟 번째로, 공구와 체결요소간 정렬시간( $T_{dal}$ )으로 체결요소를 분해하기 위하여 공구를 체결요소에 정렬시키는데 소요되는 시간이다. 아홉 번째로, 공구의 작업 영역( $T_{da}$ )으로 공구가 체결요소로 접근하여 체결요소를 분해 할 때 필요한 작업공간 영역의 정도를 나타내는 영향요소이다. 열 번째로, 분해된 부품의 무게 또는 크기에 의한 처리시간( $T_{prsw}$ )으로 분해되어 나온 부품에 대해 무게(weight) 또는 크기(size)에 따라 후처리하는데 소요되는 시간이다. 열 한 번째로 분해된 부품의 거리이동에 대한 시간( $T_{prdt}$ )으로 분해된 부품을 후처리할 장소까지 이동하는데 소

요되는 시간이다. 마지막으로, 위험요소( $T_{prd}$ )에 대한 시간으로 분해된 부품이 위험요소를 내재한 경우로 만일 위험성이 있을 경우 주의를 기울여 위험성에 대한 벌점(Penalty)을 주기 위한 시간이다.

## 2.3 선정된 영향요소를 이용한 표준시간 마련

본 연구에서 분해와 관련되어 도출된 영향요소들을 분해작업의 분해순서에 따라 4가지 표준시간으로 분류하였다. 여기서 분해순서는 분해자가 분해대상제품에 대해 분해작업을 수행하는 일련의 순서로서 공구를 준비하는데 소요되는 준비시간, 체결요소사이를 이동하는데 소요되는 이동시간, 공구를 사용하여 체결요소를 분해하는데 소요되는 작업시간, 분리된 부품을 적당한 위치로 옮기는데 소요되는 후처리시간으로 분류하였다. Table 1은 분해와 관련되어 선정된 영향요소들을 표준시간에 대하여 분류한 표이다.

## 3. 계산식 유도

분류된 영향요소들을 시간의 값으로 정량화하기 위하여 동작분석 시스템 중에 하나인 WF(Work Factor)시스템을 이용하였다. 그리고 4가지 표준시간에 의하여 분해시간 계산식을 유도하였다.

### 3.1 Work Factor Method를 이용한 시간 계산법

WF를 이용한 시간 계산법은 사람이 수행하는 작업을 기본동작으로 분석하고 각 기본동작의 성질과 조건에 따라 미리 정해진 시간 값을 적용하여 작업시간을 구하는 방법을 말한다<sup>11, 12</sup>. 일반적으로 WF에서는 다음의 4가지 요인에 의하여 동작시간이 좌우된다(Table 2).

먼저, 동작신체부위는 작업자의 동작을 행할 때 사용하는 신체부위를 말하며, 동작거리는 동작의 움직인 거리로써 시점과 종점의 직선거리를 인치로 표시한다. 그리고 중량 또는 저항은 대부분 파운드 로 측정된 후 이를 Work Factor로 변화하여 표시한다. 마지막으로, 인위적 조절은 4가지 경우로 발생하며 Work Factor로 발생 유무 표시한다. 따라서 Work Factor는 상기 네 가지 요인 중 중량(저항)요인과 인위적 조절요인이 동작시간에 미치는 영향을 표시하는데 사용되는 지표(Index)이다.

Table 2 Influence factors on standard time

기준 시간	영향 요소 시간
준비시간 (Tp)	체결요소 파악시간(Tpb)
	공구탐색 및 인식시간(Tps)
	공구 잡는시간(Tpg)
이동시간 (Tm)	체결요소개소간 거리 이동시간(Tmd)
	체결요소들이 있는 면으로의 방향 전환시간(Tmr)
작업시간 (Td)	공구와 체결요소간 정렬시간(Tdal)
	공구의 작업영역(Tda)
	체결요소의 기본분리 지수시간(Tdb)
	작업 강도(Iw)
후처리시간 (Tpr)	분해된 부품의 무게 또는 크기에 의한 처리 시간(Tprsw)
	분해된 부품의 거리이동에 대한 시간(Tprdt)
	위험요소(Tprd)

Fig. 1은 WF 시스템의 구조를 그림으로 도시하여 표현하였다.

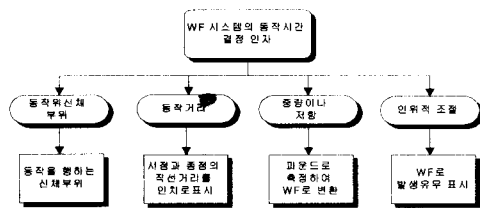


Fig. 1 Structure of WF system

WF법에서의 동작시간 값은 Work Factor가 증량에 의해 발생하거나 혹은 인위적 조절요인에 의해 발생하건 간에 구분을 하지 않고 그 수(WF)에 의해 결정된다. 동작분석결과는 동작 신체부위, 동작거리, 중량이나 인위적인 조절 등의 값들을 동시에 고려하여 WF 시스템 표를 이용하여 값을 구한다.

### 3.2 시간계산을 위한 특성분석과 사용식 도출

본 절에서는 제품의 분해시간을 구하기 위해서 분해작업 순서에 따라 크게 4가지 표준시간(준비, 이동, 작업, 후처리 시간)으로 분류하였다. 첫째, 준비시간으로 체결요소를 제거하기 위하여 적당한 공

구를 준비하여 초기 위치로 접근하기까지의 시간을 말한다. 둘째, 이동시간은 임의의 한 체결요소에서 다른 임의의 체결요소로 이동하는데 걸리는 시간과 작업자가 작업하기 용이하도록 제품을 방향전환 시키는데 소요되는 시간으로 결정된다. 셋째, 작업시간은 체결요소와 작업공구의 조합으로 이루어진 최적의 분해시간에 작업강도를 고려하여 계산된다. 마지막으로 후처리 시간은 제품으로부터 분리된 부품을 제거하는데 소요되는 시간을 말한다.

다음은 위에 언급한 4가지기준을 분류하여 정의하고, 각각의 영향요소들의 시간값을 WF 시스템을 이용하여 계산하면 아래의 결과 같다.

#### 3.2.1 WF를 이용한 준비시간 계산(Tp)

이를 위하여 본 연구에서는 3가지의 공구 준비 관련 영향요소들로 분류하였다. 시간계산은 3가지 영향요소들의 시간값을 더함으로써 계산된다.

다음은 준비시간에 영향을 미치는 요소들에 대한 정의들이다.

첫 번째로 체결요소 파악시간(Tpb)으로 체결요소의 종류에 따라 적당한 작업공구를 결정하기 위해 소요되는 시간을 의미한다. 이때 기존의 자세에서 바로 파악이 가능한 경우(Tpb1)와 어느정도의 몸통이동이 필요한 경우(Tpb2) 그리고 자세한 주의와 관찰이 필요한 경우(Tpb3)는 WF에 의해 계산된 서로 다른 동작시간값을 적용하게 된다. 이때 Tpb1의 경우 연쇄두뇌작업만 적용되며, WF에 의해서 시간값을 소수점 한자리까지 반올림하여 구하면 0.4초가 된다. Tpb2의 경우 추가적으로 10인치까지의 몸통동작(T10DS=113WFU)이 0.7초 소요되어 총 1.1초가 된다(Table 3).

WF에 의한 상세한 계산의 나머지 요소들에 대하여도 같은 방법으로 계산한다. 두 번째로 공구를 탐색하거나 인식시간(Tps)으로 공구를 탐색하거나 인식하는 문제는 공구의 크기와 형상에 관계 있다.

Table 3 WF-Value for Tpb2

신체부위	WF 표현식	WF(WFU)	시간(Sec)
연쇄두뇌작업	초점,검사,반응		0.4
몸통동작	T10DS	113	0.7
Tpb2			1.1

일반적으로 작업자는 공구의 형상을 이미 알고

있다. 그러므로 공구를 찾거나 이것을 인지하는데는 공구의 크기로부터 많은 영향을 받는다. 하지만, 이 부분도 공구가 손가락 크기보다도 작아서 인식시 문제가 발생(빨리 공구를 알아보지 못함)할 수 있는 공구(Tps3)는 일반적인 공구에는 없다. 따라서 일반 수동공구나 전동공구 등은 표준시간(Tps2) 적용이 가능하다. 반면, 손인 경우 별도로 공구를 탐색하거나 인식할 필요가 없으므로(Tps1) 시간은 0초로 결정하였다. 세 번째로 공구를 잡는시간(Tpg)으로 체결요소 분해에 적절한 공구를 작업자가 손으로 잡는데 소요되는 시간이다. 물론 공구는 한 손으로 잡는 경우(Tpg1)와 양손으로 잡아야 할 경우(Tpg2)는 소요되는 시간에 차이가 있다. 만일 작업자가 머리를 40도 각도에서 90도 정도로 공구가 있는 방향으로 회전하여 몸통을 10인치 정도 굽힌 후, 체결요소 분해에 필요한 공구를 탐색하여 공구를 인식하기까지의 동작시간을 위의 방법에 의해 계산해 보면 Table 4와 같다.

Table 4 Times of influence factors of preparation time (TP)

준비시간(Tp)		
영향요소	세부 영향 요소	WF에 의한 동작시간값(sec)
체결요소 파악시간(Tpb)	Tpb1	0.4
	Tpb2	1.1
	Tpb3	1.4
공구탐색 및 인식시간(Tps)	Tps1	0
	Tps2	2.1
	Tps3	2.9
공구 잡는시간(Tpg)	Tpg1	1.5
	Tpg2	2.1

준비시간은 이들 8개의 해당되는 세부항목들에 대한 합으로 계산되는데 이때 사용되는 영향요소들에 대한 동작 시간값은 위 Table 2에 의해 결정된다. 다음은 준비시간의 계산식이다.

$$T_{pij} = \sum (T_{pb}[T_{pb1}, T_{pb2}, T_{pb3}] + T_{ps}[T_{ps1}, T_{ps2}, T_{ps3}]) + T_{pg}[T_{pg1}, T_{pg2}] \quad (1)$$

( Pij : i번째 부품의 j개의 체결요소 )

### 3.2.2 이동시간 (Tm)

체결요소간의 이동시간의 계산은 3가지 영향요

소들의 시간값을 더함으로써 계산된다.

본 연구에서 체결요소간의 이동시간을 계산하는데 있어서 2개의 항목들을 5개의 세부항목으로 소분류 하였다. 즉, 이동시간은 이들 5개의 해당되는 세부항목들의 합으로 계산되는데 이때 사용되는 영향요소들에 대한 동작 시간값은 Table 5에 의해 결정된다. 다음은 이동시간의 계산식이다.

$$T_{mij} = \sum (T_{md}[T_{md1}, T_{md2}, T_{md3}] + T_{mr}[T_{mr1}, T_{mr2}]) \times (m_{ij} - 1) \quad (2)$$

( mij : i번째 부품의 j개의 체결요소 )

Table 5 Times of influence factors of moving time (Tm)

이동시간(Tm)		
영향요소	세부 영향요소	WF에 의한 동작시간값(sec)
체결요소간 거리 이동시간(Tmd)	Tmd1	0.9
	Tmd2	2.5
	Tmd3	3.2
체결요소가 있는 면으로의 방향 전환시간(Tmr)	Tmr1	2.5
	Tmr2	2.8

### 3.2.3 작업시간(Td)

Table 6 Times of influence factors of working time (Td)

작업시간(Td)		
영향요소	세부 영향요소	WF에 의한 동작시간값(sec)
체결요소의 표준분리시간(Tdb)	공구와 체결요소의 상관관계도표로써 결정 (Table 7)	
작업강도(Iw)	Iw1	1(factor)
	Iw2	1.2(factor)
	Iw3	1.5(factor)
공구와 체결요소간 정렬시간(Tdal)	Tdal1	1.3
	Tdal2	2.3
공구의 작업 영역(Tda)	Tda1	0
	Tda2	1.5

이 시간을 계산하기 위하여 먼저 분해하고자 하는 체결요소의 최적 공구로 분해 작업한 체결요소-

공구 기준 작업시간 테이블이 필요하다. 이 기준 테이블을 이용하여 체결요소의 상태와 작업환경에 따라 작업시간을 계산하게 된다. 이와 관련된 영향 요소는 4가지로 분류하였으며, 작업시간의 계산은 4가지 영향요소들의 시간값을 더함으로써 계산된다.

Table 7 Time index of connecting elements

결합형태	기호	순서 / 표준분리시간 / 사용공구										
Bolt	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		2	2,45,150	2	2	2	2	2	2	2	2	16
		전I	전I,라스	전I	전I	전I	전I	전I	전I	전I	전I	육
Clip	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		2	5	1	1	2	1	2	2	1	1	1
		D	D	D	D	CP	CP	CP	CP	D	통	D
Fastener	F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		10	4,13	4	1	10	7,35	4	10			
		D,C	D,C	D,C	손	D,C	D,C	D,C	D,C			
Grommet	GR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1	1	1	1	2	1	1	1	3	2	2
		D	D	통	손	손	손	D	손	D	손	통
Screw	SC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
		전D	전D	전D	전D	전D	전D	전D	전D	전D	전D	
Sewing	SE	1	2	3	4	5						
		10	13	30	10	5						
		칼	칼	칼	칼	칼						
Snap Fit	SN	1	2	3	6	2	5	1	5	4	31	5
		D	D	D	D	D	D	손	D	손	D	D
		1	2	3	4	5	6					
Wire Harness	WH	1	2	5	1	3	2	2	1	2	7	
		손	손	손	d,손	d,손	통	통	손	통	통,d	

\* 사용공구명  
 전:전동Impact, 라:라체트, 스:스페너, 육:육각렌치,  
 유:유리공구, 손:손, 칼:칼, 망:망치, 통:로우즈,  
 D(d):수동 Driver, 전D:전동 Driver, CP(C):Cutting  
 Plier, X:없음, 不:분해불가

본 연구에서 작업시간을 계산하는데 있어서 4개의 항목들을 7개의 세부항목으로 소분류 하였다. 작업강도는 일반적인 경우와 약간 심한 경우 그리고 아주 심한 경우로 분류하였으며 정렬시간은 쉽게 정렬할 수 있는 경우와 세밀한 주의가 필요한 경우로 나누었다. 공구를 가지고 작업할 수 있는 충분한 작업공간이 확보되지 못할 경우 이를 고려할 수 있게 하였다. 사용되는 영향요소들에 대한 동작 시간값은 Table 6에 의해 결정된다.

체결요소와 사용공구에 따라 결정되는 시간은 실험에 의하여 결정하였으며 Table 7에 나타나 있다. 예를 들어 5번 형태의 크립을 푸는데는 Cutting Plier를 사용하며 소요되는 표준분리시간은 2초이다. 작업시간은 체결요소의 분리에 필요한 표준분리시간(Tdb)을 작업강도에 따른 요소(Iw)를 감안하고 체결요소간에 필요한 정렬시간(Tdal)과 공구의 작업영역이 협소할 경우 추가적인 시간(Tda)을 감안하여 계산되며, 계산식은 다음과 같다.

$$T_{dij} = \sum \{ (T_{dal}[T_{dal1}, T_{dal2}] + T_{da}[T_{da1}, T_{da2}]) + (T_{db}) \times Iw \} \quad (3)$$

( dij : i번째 부품의 j개의 체결요소 )

### 3.2.4 후처리 시간 (Tpr)

후처리 시간이란 분리된 부품이나 체결요소들을 수거함까지 분리수거 하는데 걸리는 시간을 말한다. 후처리 시간에 영향을 끼치는 영향요소들은 분리 대상물의 무게, 크기, 형상 등이 있다.

체결요소의 분해로 분리된 부품을 서로 분리하여 적절한 장소로 옮기는데 소요되는 시간으로 주로 부품의 크기와 무게 등에 따라 시간 값이 좌우된다.

본 연구에서 후처리시간을 계산하는데 있어서 3개의 항목들을 7개의 세부항목으로 소분류 하였다. 즉, 이동시간은 이들 7개의 해당되는 세부항목들에 대한 합으로 계산되는데 이때 사용되는 영향요소들에 대한 동작 시간값은 Table 8에 의해 결정된다.

다음은 후처리 시간의 계산식이다.

$$T_{pr} = \sum (T_{prsw}[T_{prsw1}, T_{prsw2}, T_{prsw3}] + T_{prdt}[T_{prdt1}, T_{prdt2}] + T_{prd}[T_{prd1}, T_{prd2}]) \quad (4)$$

( prij : i번째 부품의 j개의 체결요소)

### 3.2.5 제품에 대한 계산식 산출

계산식을 산출하기 위해서 먼저 각각의 영향요소들에 대한 변수를 설정해야 하는데, 이를 위하여 변수는 영향요소들을 서로 구별할 수 있는 문자를 사용하였다.

제품의 분해는 부품분해와 조립군 분해로 구분되는데, 조립군 분해는 하나 이상의 부품으로 구성되어 있는 부품들의 조합체이다.

따라서, 제품의 분해시간은 개별 부품들의 분해

시간 값들의 합으로써 계산되어 진다. 이러한 것들에 대해 계산식을 유도 하기 위해서 부품인 경우를 P라는 문자를 사용하였으며, 조립군에 대해서는 A라는 문자를 사용하여 서로 구분하였다. 그리고, 첨자를 이들 문자 다음에 i, j 순서로 붙인다. 먼저 i는 몇 번째 부품인가를 나타내며, j는 부품의 체결요소의 개수를 나타낸다. 물론 조립군도 부품의 경우와 같다. 이때 각 부품별 분해시간은 앞에 설명한 준비시간, 이동시간, 작업시간 및 후처리시간의 합이며, 다음 식에 의해서 계산된다.

$$P_i = (T_{pb} + T_{ps} + T_{pg}) + (T_{md} + T_{mr}) \times (P_{ij} - 1) + (T_{dal} + T_{da}) + (T_{db}) \times I_w + (T_{prsw} + T_{prdt} + T_{prd}) \quad (5)$$

조립군별 분해시간의 총합(조립군 분해시간)은 다음식에 의해서 계산된다.

$$A_i = \sum P_i = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (6)$$

$P_i$  : i 번째 부품  
 $P_{ij}$  : i 번째 부품의 j개의 체결요소 개수  
 $A_i$  : i 번째 조립군

Table 8 Times of influence factors of postprocessing time (Tpr)

후처리 시간(Tpr)		
영향요소	세부 영향요소	WF에 의한 동작시간값(Sec)
분해된 부품의 무게 또는 크기에 의한 처리시간(Tprw)	Tprsw1	1.7
	Tprsw2	2.2
	Tprsw3	3.2
분해된 부품 이동에 대한 처리시간(Tdt)	Tdt1	1.0
	Tdt2	1.5
위험요소(Tprd)	Tprd1	0
	Tprd2	3

### 3.3 계산식 검증을 위한 분해실험

#### 3.3.1 분해 작업

Fig. 2의 분해작업 순서도는 제품을 분해하는 작업 순서도를 나타낸 것이다. 제품을 분해작업 할 때 작업자가 분해할 제품을 선택하면, 먼저 그 제품 중에서 분해할 부품을 선택한 다음, 그 부품이

다른 부품과 어떤 체결형태를 이루고 있는지에 대한 파악이 필요하다. 이러한 정보를 바탕으로 필요한 공구를 준비하여 분해대상물의 체결점으로 접근한다. 접근 후에 체결요소를 분해하기 위하여 공구를 체결요소와 적당히 정렬 시킨 후, 공구에 적당한 힘을 가하여 체결요소를 부품으로부터 분리해 낸다.

만일 또 다른 체결요소가 있을 경우 위의 일련의 동작들을 반복적으로 수행한다. 그러나 같은 타입의 체결요소를 분리해 낼 경우, 공구의 교체 없이 다음 체결요소로의 이동동작만 수행하면 된다. 그리고 필요에 따라서 체결요소가 있는 면으로의 방향 전환 동작만 취해주면 된다.

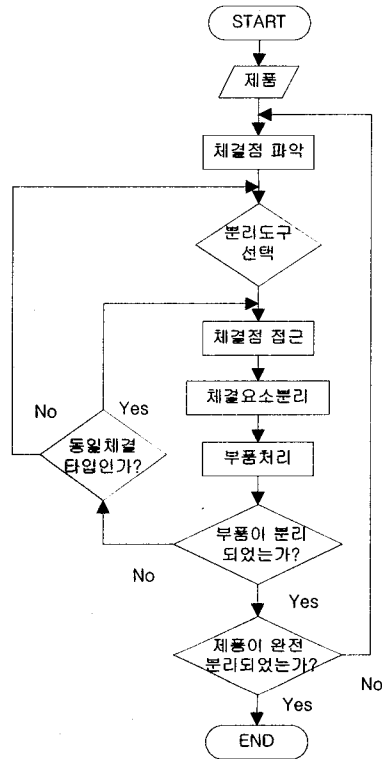


Fig. 2 Flow chart of disassembly

이렇게 하여 대상부품의 체결요소가 모두 제거 되면, 부품은 제품으로부터 분리가 되는데, 이 분리된 부품을 적당한 장소로 후처리 동작을 수행함으로써 하나의 부품에 대한 분해작업이 완료된다.

결과적으로 위와 같은 일련의 부품분해의 모든 동작이 전체 제품의 분해시간으로 계산된다.

### 3.3.2 컴퓨터 케이스의 분해실험

첫 번째 실험대상으로는 작업이 간단하여 식의 점검이 용이한 컴퓨터 외장 케이스로 결정하였다. 이 경우 작업이 나사의 분해작업만이 포함되어 있기 때문에 준비·이동·작업·후처리 시간을 각각 측정하여 보았다. 측정은 한 명이 분해를 하고 다른 한 명이 초시계를 이용하여 측정하였으며 실험은 전동공구와 수동공구로 각각 10번씩 수행하였다. 본 실험은 필요한 동작들을 WF 시간 테이블을 이용하여 계산한 이론치와 실제 분해실험을 통한 실험치의 상호 시간차이를 비교하여 보았다. Table 9은 외장형 케이스를 전동공구와 수동공구를 이용하여 수행한 분해작업으로 얻은 실험결과이다.

Table 9 Working time of tools for disassembly experiment

공구	시간	평균(sec)				총 분해시간
		준비 시간	이동 시간	작업 시간	후처리 시간	
전동공구		4.1	9.7	11.2	3.8	28.8
수동공구		3.8	8.0	15.6	3.9	31.3

Table 10은 본 연구에서 제안한 계산식을 사용하여 계산한 분해시간과 실제 작업자가 제품을 분해작업을 수행한 후 얻은 시간 값을 기준 시간별로 상호 비교한 결과이다.

Table 10 Comparison of theoretical and experimental data

공구 / 오차율	시간	표준시간(sec)							
		준비 시간		이동 시간		작업 시간		후처리 시간	
		이론	실험	이론	실험	이론	실험	이론	실험
전동공구		4.0	4.1	10.3	9.7	13.2	11.2	3.7	3.8
오차율(%)		-2.4		+5.8		+15.1		-2.6	
수동공구		4.0	3.8	10.3	8.0	15.2	15.6	3.7	3.9
오차율(%)		+5.3		+28.8		-2.6		-5.1	

이 결과에서 준비시간과 이동시간이 이론상으로 같아야하지만 실험에서는 전동공구의 사용에서 더 많은 시간이 소요된 것을 관측할 수 있었다. 이는 전동공구의 무게와 크기로 인하여 취급시 작업자에게 더 많은 부하를 주기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 영향은 물론, 영향요소를 더 세분화하고 실험에 의하여 표준시간들을 수정하면 해결될 수 있다. 하지만 그럴 경우 실질적으로 자료의 입력에 상당한 수준의 전문성이 요구되어 실질적인 적용을 오히려 어렵게 할 것으로 예상된다. 하지만 전체 작업시간은 전동공구에서 7.7%, 그리고 수동공구에서는 5.8%로 전체적으로 필요한 분해작업의 추정에는 상당한 도움이 될 것으로 예상된다.

### 3.3.3 자동차 부품의 계산식 적용

여러 가지의 작업으로 구성된 경우를 검증하기 위하여 국내에서 생산되는 소형 자동차 모델 A의 사이드미러에 대하여 분해실험을 수행해 보았다. 실험결과 3분 22초가 소요되었으며, 개발된 식으로 계산한 결과는 3분21초로 오차가 거의 발생하지 않았다.

## 4. 결론

본 연구는 제품 구조를 고려한 분해시간 산출 방법에 관한 연구로서 분해시간과 관련된 영향요소들을 기존연구 분석을 통하여 찾은 후 이 요소들을 동작분석 방법 중에 하나인 WF 시스템을 이용하여 시간값을 환산하였다. 그리고 이 시간값을 바탕으로 작업 단위별 표준시간(준비시간, 이동시간, 작업시간, 후처리시간)으로 제품을 분해하는데 소요되는 계산식을 유도하였다. 제품의 분해시간을 계산할 때는 분해와 관련된 영향요소들의 항목을 선택만 하면 계산 산정식에 의해 분해하는데 소요되는 시간이 계산된다.

산정식의 타당성을 검증하기 위하여 컴퓨터 몸체 외장형 케이스에 적용해 보았다. 분해작업의 공구를 전동공구로 수행한 결과 본 연구에서 개발한 산정식에 의해 계산된 분해시간 값은 실제 분해실험을 통해 얻은 분해시간 값과 7.7% 정도의 오차를 보였다. 그리고 수동공구로 작업한 결과 5.8%의 근사한 오차를 나타내었다.

자동차부품을 대상으로 한 실험에서는 상당히 정확한 값을 얻을 수 있었다. 컴퓨터 외장케이스에



서는 실제 분해가 예상분해시간보다 짧았던 것과 대조가 되는데, 이는 본 연구에서 학습효과를 고려하지 않았기 때문에 작업시간은 실지로 줄어들었다. 반면, 자동차 부품의 경우 후처리 시간이 늘어나서 전체적으로 계산이 정확해진 것으로 추정된다.

실질적으로, 리사이클링을 위한 분해에서는 대상작업물의 상태가 일정하지 않기 때문에 분해시간은 조립시간과는 달리 정확한 예측이 어려우며, 작업자의 숙련도, 작업장의 배치, 작업대상물의 특성 등이 더 많은 영향을 미칠 것으로 예상되며, 각 분야의 특성에 맞는 표준시간의 조정도 필요할 것이다. 또한, 부품의 크기와 무게에 대한 계산의 경우 현재 3가지의 범위로 나누었으나, 작업의 특성에 따라서는 조절이 필요할 것이다.

### 후 기

본 논문은 영남대학교 BK21사업에 의하여 지원되었음.

### 참고문헌

1. Yi, H. C., "Disassembly Technology for Car Recycling," *Journal of the KSME*, Vol. 36, No.2, pp. 120-136, 1996.
2. Cho, K. I., Yi, H. C., Joo, H. H., Lee, K. D., "Disassembibility Assessment with Regard to Environment," *Proceedings of the KSAE Spring Conferece* 97, pp. 585-591, 1997.
3. Mok, H. S., Cho, J. R., Kang, Y. H., "Methodology for Estimation of Assembly Time and Evaluation of Asseblability," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19 No. 5, pp. 72-80, 2002.
4. Eversheim, W. and Baumann, M., "Assembly oriented Design Process," *Computers in Industry*, 1991.
5. Warnecke, H. J. and Baessler, R., "Design for Assembly Part of the Design Process," *Annals of CIRP*, Vol. 37/1, 1998.
6. Boothroyd, G., "Assembly Automation and Product Design," *Marcel Dekker, Inc.*, 1992.
7. Akermark, A. M., "Design for Disassembly and Recycling," *4th International Seminar on Life Cycle Engineering*, pp. 327-338, 1997.
8. Hanft, T. A. and Kroll, E., "Easy-Of-Disassembly Evaluation in Design For Recycling," *Design for X*, pp. 318-334, 1996.
9. Winslow, G., Tester, S. and Coulter, S., *Preferred Design for Recycling Practices for Bumper Fascia System*, *Society of Automotive Engineers. Inc.*, pp. 43-46, 1997.
10. Nakamura, M., "Ease-of-Disassembly Technology which can Simplify Product Improvement Concept," *NIKKEI MECHANICAL*, 1994. 1. 10.
11. Quick, J. H., *Work Factor Time Standards*, *McGraw-Hill Book Company*, New York, 1962.
12. Hwang, Hak., *Operation Management*, *Young-Chi Literary*, pp. 469-506, 1998.