

본 연구는 1997 년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME97-E-16)에 의하여 연구되었음

자원 재활용을 위한 자동차 조립군의 복잡도 평가시스템

목학수*, 문광섭*, 김성호*, 문대성*

The Complexity Evaluation System of Automobile Subassembly for Recycling

Hak Soo Mok*, Kwang Sup Moon*, Sung Ho Kim*, and Dae Sung Moon*

ABSTRACT

In this study, the complexity of the product was evaluated quantitatively considering the product structure, assembly process and disassembly process. To evaluate the complexity of the product, subassemblies of automobile were analyzed and then characteristics of part and subassembly were determined according to product structure, assembly process and disassembly process. Evaluation criteria of complexity were determined considering each characteristics of part and subassembly. Experiential evaluation was accomplished by classified evaluation criteria and time-motion evaluation was accomplished by the relational motion factor with characteristics of part and subassembly in MTM(Methods Time Measurement) and WF(Work Factor). The total complexity of product was determined by experiential evaluation and time-motion evaluation.

Key Words : Complexity(복잡도), Subassembly(조립군), MTM(방법시간측정법), WF(작업요인법)

1. 서론

오늘날 기업은 급변하는 국내·외의 변화와 이로 인해 치열해져 가는 경쟁에 대응하고자 많은 노력을 하고 있다. 이러한 상황 하에서 Fig. 1 과 같이 기업은 경쟁력 강화를 위해 제품 개발 시간 단축과 제품 기능 향상, 제품 원가 절감 등을 고려한 제품 생산 설계를 필요로 하게 되었다. 국내 자동차 업계도 내수 시장의 수요 축소, 자동차 업계간 과도한 중복 투자 등으로 국내외 자동차 시장이 급속도로 나빠지고 있는 상황하에서 제품의 품질 향상 및 비용절감을 고려한 제품 설계가 필요하게 되었다^{[1][2]}.

제품을 생산하는 조립공정에서는 사용하는 기계나 Tool 이 다양화되고 그 수 또한 증가됨을 알 수 있다. 이러한 제품의 환경 변화에 대처하는 한 가지 대안으로, 자동차의 구성 요소인 부품들이 기하학적 및 재질적인 특성에 따라 조립의 용이성이 떨어지는 경우를 방지하여, 단위시간당 조립 생산성을 향상시킬 수 있는 부품의 구조 체계에 대하여 우선 고려 되어져야 한다. 즉, 조립을 어렵게 하는 부품의 특성을 감소시키는 방향으로 설계를 함으로써 조립의 작업성을 향상시켜 조립에 소요되는 경비를 줄일 수 있게 될 것이다. 또한 자동차의 생산 원가를 줄이기 위한 또 다른 대안으로는 부품 및 조립군이 사용 중 혹은 사용된 후에

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

재사용됨으로써, 이들이 만들어질 때 사용되었던 원자재 및 에너지를 절감하고, 폐기할 때 생겨날 수 있는 환경오염 문제를 줄일 수 있을 것이다¹⁴⁾.

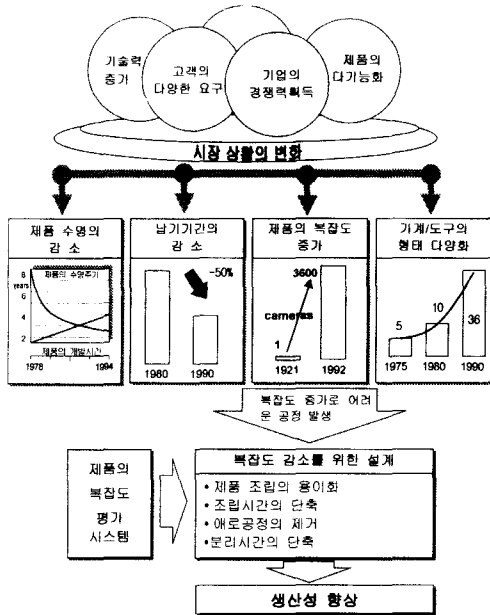


Fig. 1 Need of study

선진 공업국에서는 자동차 생산의 조립자동화와 이의 부품의 재활용 문제에 많은 관심을 갖고 연구를 활발히 하고 있다¹⁵⁾. 반면, 국내에서는 자원 재활용 촉진에 관한 법률이 제시되고 있으나 아직 자원 재활용에 대한 연구가 활발하게 이루어지지 않고 있다. 또한 제품의 조립공정이나 분리공정에서의 제품의 경제성 평가의 기본이 되며, 설계에 고려할 수 있는 제품의 복잡도 연구는 미미한 실정이다. 그래서 제품의 조립공정과 분리공정에서의 복잡도 평가에 관한 연구가 필요 시 되고 있고 조립군이나 부품들을 조립공정과 분리공정에 맞추어 복잡도를 줄이는 설계를 한다면 제품의 조립이 쉬워지게 되고 조립 시간이 단축되어 생산성이 향상될 수 있을 것이다. 특히 재공품 재고가 많이 쌓이는 취약 공정을 위주로 복잡도를 평가하여 개선한다면 생산성을 쉽게 향상시킬 수 있을 것이며, 아울러 재고 감소의 효과도 가지게 될 것이다.

본 연구는 다음과 같은 진행 단계로 세부 연

구 과제들이 수행되어진다. 먼저 연구의 세부 과제들을 살펴보면, 첫째로 자동차 조립군의 종류와 특성을 파악하고 분류하기 위해 조립군의 형상, 소재, 크기, 무게 등으로 나누어 파악하여야 하고 파악된 특성들이 조립공정 및 분리공정에 미치는 복잡도의 정도를 분석해야 한다. 두번째는 복잡도 정의 및 분류된 조립군과 부품의 특징 요소와 각각의 복잡도 세부요소를 제품의 구조적 측면과 공정적 측면으로 나누어서 결정을 하는 단계이다. 세번째는 결정된 각 특징 요소들에 대한 복잡도 평가기준 결정 및 이에 따른 등급결정을 하는 단계이다. 즉, 제품의 구조적 측면과 조립 및 분리공정 측면에서의 제품의 복잡도 평가기준을 결정하고 각각의 복잡도 영향요소별로 등급결정을 행한다. 다음 네번째 단계는 결정된 평가기준에 관련 있는 MTM/WF(Methods Time Measurement/Work Factor) 동작요소를 결정하고 또한 부품 및 조립군의 특징요소와 관련동작 요소를 결정한다. 마지막 단계는 복잡도에 대한 경험적 평가와 시간적 평가 방법을 결정한다. 따라서 이 두 가지 평가방법을 모두 고려해서 제품의 전체 복잡도를 구할 수 있다. 본 연구의 결과로 조립군이나 부품들을 조립 및 분리공정에 맞추어 복잡도를 줄이는 설계를 한다면 제품의 조립 및 분리가 쉬워지게 되고, 이로 인해, 조립시간 및 분리시간이 단축되어 생산성의 향상과 생산원가를 줄일 수 있을 것이다.

2. 자동차 조립군에 대한 파악 및 복잡도의 정의

2.1 자동차 Door 조립군의 특징 분석

본 연구의 대상은 생산량이 계속 증가하고 있어 재활용의 가능성이 높고, 환경오염 문제를 많이 야기시키는 자동차에 있어 Door 부위를 선택하였다. 자동차 Door 조립군의 특징은 부품의 수는 약 50 개이고 조립군의 수는 7 개이다. Fig. 2 는 자동차 Door 조립군의 특징 분석을 나타내고 있다. 자동차 조립군에 대한 복잡도 평가를 위해 자동차 Door 에 대한 분리작업을 수행하여 나가면서, Fig. 2 에서와 같이 자동차 Door 조립군에 대한 Part list 를 작성하였고, 분리 대상에 대한 분석을 더욱 효율적으로 수행하기 위하여 자동차 Door 분리공정에 대한 Check list 를 작성하였다.

Check list 의 내용에서는 조립공정에 대한 정보,

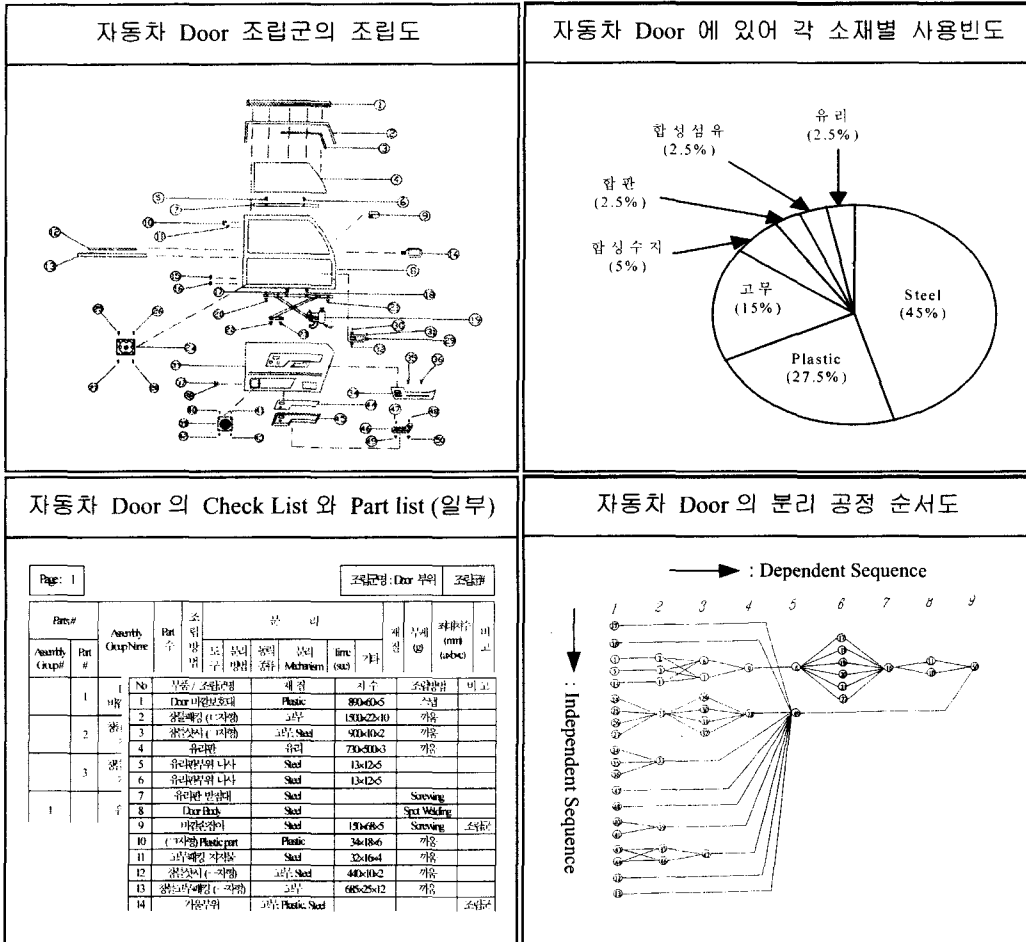


Fig. 2 Characteristic analysis of subassembly of door for an automobile

분리공정에 대한 정보가 있으며, 분리 대상인 자동차 Door를 분리 순서에 대해서 종속적 순서와 독립적 순서로 나눈 후 이러한 두 가지 분리 순서에 대한 개념을 바탕으로 자동차 Door에 대해 분리 작업을 수행한 것을 Fig. 2에서와 같이 종속적 순서와 독립적 순서로 도식화하였다. 종속적 순서는 한 부품의 분리시 반드시 앞 단계에서 연결된 부품들을 제거하여야만 분리가 가능한 순서이고, 독립적 순서는 다른 부품의 분리 여부에 상관없이 독립적으로 그 부품을 분리 할 수 있는 분리 순서를 말한다.

분리 공정에 대한 분석을 보면, 자동차라는 제품의 특성상 각 소재별 사용 빈도수는 Fig. 2에서와 같이 Steel(45%), Plastic(27.5%) 등의 두 종류의

소재 빈도수가 전체의 절반을 넘게 나타났다. 분리 공정에서의 각 분리 메커니즘별 발생 빈도를 살펴 보면 역나사 작업, 역스냅 작업, 뽑기 등과 같은 분리 메커니즘의 사용 빈도수가 상대적으로 높고 이들 정보들은 자동차 조립군의 복잡도 평가에 기초적인 자료로써 이용될 수 있다.

2.2 복잡도의 정의

제품이나 조립군, 부품의 복잡도를 평가하기 위해서 제품의 복잡도를 구조적 측면과 공정적 측면에서의 제품 복잡도에 대한 정의를 내렸다. 그래서 본 연구에서는 제품의 복잡도를 구조적 복잡도와 공정적 복잡도 측면으로 나누어 Fig. 3과 같이 정의 하였는데, 우선 구조적 측면의 복잡도는

조립군이나 부품의 구조적 특징요소인 기본형상, 대칭성, 소재종류, 체결점의 수 등의 파악에 대한 어려움 정도로 결정하였다.

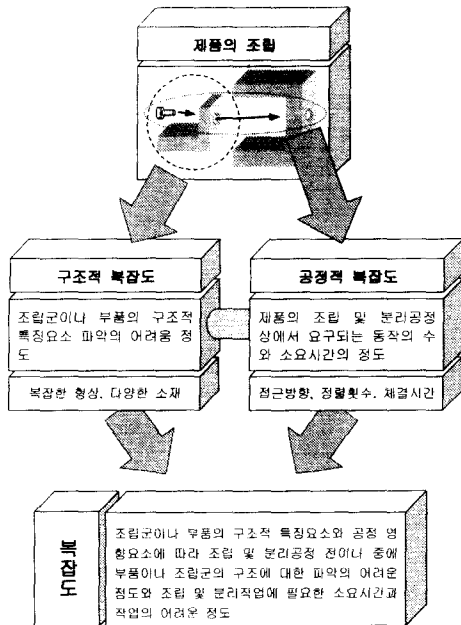


Fig. 3 Definition of product complexity

또한 공정적 복잡도는 제품의 조립 및 분리공정 상에서 요구되는 동작의 수와 소요시간의 정도로 결정하였다. 그리하여 제품에 대한 전체 복잡도를 조립군이나 부품의 구조적 특징요소와 공정 영향 요소에 따라 조립 및 분리 공정 전이나 공정 중에 부품이나 조립군의 구조에 대한 파악의 어려운 정도와 조립 및 분리작업에 필요한 소요시간과 작업의 어려운 정도로 정의하였다.

2.3 부품 및 조립군의 특징요소

제품을 구성하는 부품이나 조립군에 대한 특징요소들을 구조적인 측면과 공정적인 측면으로 나누어 Fig. 4 와 같이 결정하였다.

부품이나 조립군의 외형적 관찰로 파악할 수 있는 것들을 구조적인 측면의 특징요소로 결정하였는데, 형상, 대칭성, 소재의 종류, 체결점 수, 시각성 등이 이에 해당된다. 공정적 측면의 특징요소는 부품이나 조립군이 운반, 정렬, 체결 등의 조립공정이 수행되면서 조립시간이나 조립 동작 등에 영향을 미치는 요소들로 결정하였다. 예로서

		특징요소	특징요소를 구성하는 세부구성요소	
구조적 측면	부품	기본형상	반구형, 원기둥형, 삼각뿔형...	
		대칭성	회전대칭, 반축대칭, 두축대칭, 회전반대칭, 축비대칭	
	부품 & 조립군	소재종류	철, 비철, 열가소성, 열경화성수지, 유리, 플라스틱, 섬유, 가죽	
		체결점수	1, 2, 3, 4,	
	조립군	시각성	높음, 중간, 낮음	
		체결요소	볼트, 나사, 용접봉, 핀, 리벳, 접착제, 없음 (스냅, 끼워맞춤)	
	공정적 측면	부품형상	부품형상	spherical part, discs, cylindrical part, mushroom head part...
			부품크기	very small, small, medium, large
		부품무게	부품무게	손가락만으로 이동가능, 한손으로 이동가능, 양손으로 이동가능
			부품소재	철, 알루미늄, 플라스틱, 유리
부품주공정		도구 접근성	어려운 접근, 두면 접근, 한면 접근, 제한된 접근 가능	
		작업영역	손과 tool 이 사용가능, tool 만 사용가능, 특정 tool 만 사용가능	
접촉상태		접촉상태	완전접촉, 선접촉, 면접촉	
		분리방법	분리방법	적나사, Drive 렌치, 들어냄, 손, 볼, 빗기, 제깍, 망치, 채깍
분리방향			분리방향	상방향, 하방향, 대각 상 하방향, 오른쪽 방향, 왼쪽방향
		부품간 간섭	부품간 간섭	간섭으로 분리 어려움, 간섭발생하나 분리가능, 간섭발생안함
시각성	시각성		높음, 중간, 낮음	
	접근방향변경수	접근방향변경수	0, 1, 2	

		특징요소	특징요소를 구성하는 세부구성요소
조립 및 공정적 측면	부품	대칭성	알파 대칭, 베타 대칭
		시각성	높음, 중간, 낮음
	영김성	영김성	영김없음, 특정경우 영김발생, 불특정하게 영김발생
		무게	0-1.1, 1.1-3.4, 3.4-5.6, 5.6-7.9, 7.9-10, 10-12...
	접근공간	접근공간	충분한 공간, 일정방향에서만 접근가능, 접근시주의 필요
		체결요소	볼트, 나사, 용접봉, 핀, 리벳, 접착제, 없음 (스냅, 끼워맞춤)
	접촉상태	접촉상태	점, 선, 면, 점+점, 점+선, 선+선, 3점이상.....
		접근방향변경	접근방향변경
	개방면의수		개방면의수
		형상	형상
접근방향	접근방향		←, →, ↑, ↓, ↖, ↗, ↘, ↙
	작업도구	작업도구	드라이버, 용접기, 접착제, 도구없음
체결점 수		체결점 수	0, 1, 2, 3, 4, 5.....
	체결방법 종류	체결방법 종류	Bolting, Welding, Riveting, Bonding, Snapping
작업공간크기		작업공간크기	자유로운 Tool 의 운동, 일정방향에 대한 운동제한, 한방향에 대해서만 운동

Fig. 4 Characteristics of part and subassembly

부품 또는 조립군의 대칭성, 시각성, 영김성, 무게, 접근공간 등을 들 수 있다.

2.3.1 구조적 측면

부품이나 조립군의 외형을 시각적으로 관찰하여 파악할 수 있는 특징 요소들에 대한 것을 구조적 측면 요소로 결정하였다. 구조적 측면에서의 부품 및 조립군의 특징요소를 결정하기 위해, 특징요소를 부품에만 속하는 것과 조립군에만 속하는 것, 그리고 부품과 조립군에 공통으로 속하는 것,

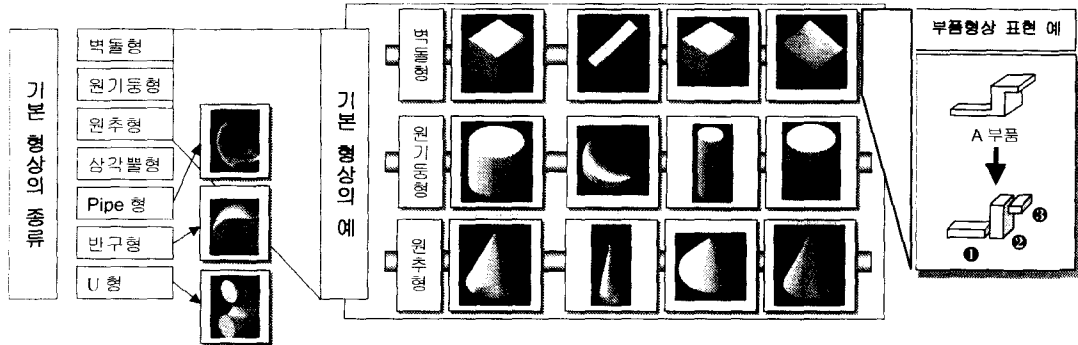


Fig. 5 Basic shape in structure parameters

것으로 나누었다. 구조적 측면에서의 특징요소 중의 하나인 기본형상은 부품이나 조립군, 제품 등이 가지는 형상을 표현하기 위한 단위형상으로 정의하였다. 즉, 기본형상은 부품이나 조립군의 외형적인 형상을 표현하기 위해 조합되는 단위형상을 말한다. Fig. 5는 기본형상의 종류를 나타내고 있는데, 기본형상은 벽돌형, 원기둥형, 원추형, 삼각뿔형 등 7가지가 있으며, 기본형상을 이용하여 부품이나 조립군의 외형적인 형상을 표현한 예를 들어보면, A 부품의 형상을 표현하기 위해 ①, ②, ③과 같은 벽돌형의 기본형상이 필요한 것을 알 수 있다.

Fig. 5에서와 같이 A 부품의 형상을 표현하기 위해서 기본형상은 세 개가 필요한데, 어떤 부품을 표현하는데 필요한 기본형상의 수가 많을수록 제품의 복잡도는 높다고 정의할 수 있다.

2.3.2 조립 공정적 측면

조립 공정적 측면에서 부품 및 조립군의 특징요소를 결정하기 위해, 공정을 보조공정과 주공정으로 나누었다. 보조공정은 작업자가 도구 등을 이용하여 체결력을 전달하기 전의 단계로, 부품이

나 조립군을 체결하기 위해 작업영역 내로 운반, 취급하는 과정을 말한다. 주공정은 작업자가 도구를 체결요소에 접근한 후, 실제 체결력을 전달하는 과정으로 정의하였다.

조립 공정적 측면에서의 부품 및 조립군의 특징요소 중 대칭성의 경우를 예로 들면, 대칭성은 부품이나 조립군의 대칭성 정도에 따라 방향 정렬의 필요 유무 및 부품이나 조립군의 체결점을 맞대기 위한 취급 정도에 영향을 미치는 특징요소이다.

Fig. 6은 부품 및 조립군의 대칭성에 대한 종류를 나타내고 있는데, 여기서 α -대칭은 삽입축에 직각을 이루는 방향으로 회전하여 삽입위치까지 회전한 각이며, β -대칭은 삽입축을 회전축으로 하여 삽입위치까지 회전한 각이다^[5]. 그래서 본 연구에서는 부품이나 조립군의 α -대칭과 β -대칭의 각도가 작을수록 부품이나 조립군의 정렬 및 취급 공정이 쉬워지고, 따라서 제품의 복잡도는 낮다고 평가하였다.

2.3.3 분리 공정적 측면

제품의 분리공정에 대한 복잡도 평가를 위해

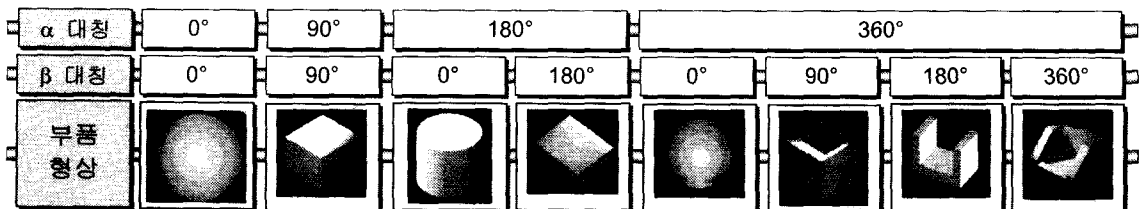


Fig. 6 Classification for symmetry in process parameters

서 본 연구에서는 제품의 분리공정을 분리 주공정과 분리 부공정으로 나누어서 각각의 분리공정별로 제품을 분석하여서 제품의 복잡도 평가에 영향을 주는 요소들을 도출하였다(이계희). 분리 주공정은 분리작업의 대상인 제품이나 조립군을 해체하는 기능을 가진 공정이며, 분리 부공정은 분리 주공정을 도와주는 기능을 수행하는 공정이다. 여기서, 제품의 분리공정을 분리 주공정과 분리 부공정으로 나누어서 제품의 복잡도 평가에 영향을 주는 요소들을 도출한 이유는 제품의 복잡도 평가 후에 제품 복잡도 평가 결과를 가지고 제품의 분리공정 중 어느 공정이 분리 취약한 공정인지 알 수 있도록 해주는 기초 자료를 마련하기 위해서이다.

제품의 분리 공정적 측면에 속하는 부품 및 조립군의 특징요소 중 분리 대상에 대한 도구 접근성을 예로 들어 복잡도와의 관계를 설명하면, 분리대상에 대한 도구 접근성은 Fig. 7 과 같이 분류하였는데, 분리공정에서의 도구 접근성은 제품의 분리작업 시 부품이나 조립군의 분리점에 도구가 접근할 때의 접근 용이성을 나타내는 것으로 분리작업 시 작업자의 주의 요구 정도나 특정한 도구 사용 유무에 중요한 영향을 미친다¹⁾. 왜냐하면, 도구 접근성이 좋지 않은 부품이나 조립군 즉, 부품이나 조립군이 제한된 도구의 접근만 허용할 경우에는 작업자가 주의를 많이 기울여 분리작업을 해야 하며, 또한 분리작업 시 특정한 형태의 도구만 사용할 수 있기 때문이다.

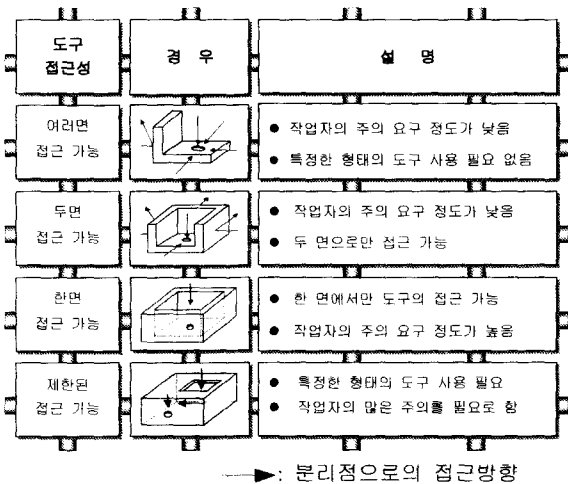


Fig. 7 Classification of tool accessibility for disassembly object

따라서 분리대상에 대한 도구 접근성이 좋지 않을수록 작업자가 분리작업하기가 어려워지며, 제품의 분리공정에서의 복잡도도 높다고 할 수 있다.

3. MTM/WF 에서의 시간 변동요인 및 표준 동작 요소

WF에서는 Fig. 8 과 같이 작업동작을 8 가지 기본 동작으로 먼저 구분한 다음, 각 기본 동작이 어떠한 신체 부위로 수행되는지를 파악하고 그에 수반되는 동작 거리, 중량 및 인위적 조절의 필요성 등을 따지게 된다. 이러한 기본 동작을 WF에서는 표준 동작 요소라고 한다. MTM은 사람이 행하는 작업을 기본동작으로 분석하고, 각 기본동작의 성질과 조건에 따라 미리 정해진 시간치를 적용하여 작업시간치를 구하는 절차로 손동작, 눈동작, 팔, 다리와 몸통동작 등으로 인체동작을 구분하고 있다¹⁾. 본 연구에서는 제품의 복잡도에 대한 시간적 평가를 위해 부품 및 조립군의 특징요소와 MTM/WF 표준 동작 요소들의 관계를 결정하였다.



Fig. 8 Standard element of Work Factor

예를 들면, 조립 공정적 측면에서는 부품 및 조립군의 대칭성과 MTM/WF 동작요소 중 Pre-position 동작과 Index 동작이 관련이 있다고 결정할 수 있는데, 왜냐하면 부품 및 조립군의 대칭성에 따라 방향정렬의 동작이 필요하게 됨에 따라 후속되는 표준요소를 잘 수행하기 위해 똑바른 위치로 물체의 방향을 바꾸는 동작인 Pre-position 과 대칭이 아닌 단면을 가진 삽입물과 목표물의 단면 모양을 일치시키기 위해 돌리는 동작인 Index 가 관련이 있는 것으로 결정되었다.

MTM/WF의 표준 요소 중에 '미리 놓기'는 다음에 행하여 질 표준 동작 요소(특히 Assemble)를 위해 지니고 있는 물건의 방향을 바꾸는 동작을 말한다. 즉, 볼트를 구멍에 조립하기 위해서 방향을 고쳐 잡는다든가, 재료를 프레스형에 넣기 위해서 뒤집거나 돌리는 동작이 이에 속한다.

허용면과 점의 수	Type of Pre-position	설명	예
	중간 크기의 단순 전치		
2 개 이상면: 3 개 이상점 2 개 반대점(A) 2 개 근접점(B) 1 점(C)	- 16 32	D E F G	
1 면: 3 개 이상점(D) 2 개 반대점 (E) 2 개 근접점 (F) 1 점 (G)	32 40 48 64		

Fig. 9 Time table for pre-position

Fig. 9에서는 Pre-position에 대한 Time Table을 나타내고 있는데 예를 들어, 목적물이 사용될 수 있는 면(허용면)의 수가 1면인 경우, 3개 이상점의 경우는 부품 대칭성의 $\alpha=360^\circ, \beta=0^\circ$ 에 해당되

며, 2개 반대점은 $\alpha=360^\circ, \beta=180^\circ$, 2개 근접점을 $\alpha=360^\circ, \beta=90^\circ$, 1점은 $\alpha=360^\circ, \beta=360^\circ$ 인 경우로 결정하였으며, 복잡도의 시간적 평가를 행할 때 Pre-position 동작이 필요한 경우에, 이에 해당하는 시간치를 구하여 조립 공정적 측면에서의 부품 및 조립군 특징요소인 대칭성에 대한 시간적 평가를 할 수 있다.

MTM/WF 동작요소 중 inspect는 보는 과정, 전달과정, 구별과정, 결정과정을 포함하며 품질검사(IQ;목적물의 유무, 성질), 수량검사(IN;수 또는 양), 동일성검사(II;글자, 한자, 기호)의 3가지로 분류되는데 그 중 inspect identity에 대한 Time Table은 Fig. 10과 같다. 이 Time Table은 제품 복잡도에 대한 시간적 평가를 하기 위해서 필요한데, MTM/WF 동작요소 중 Inspect identity 동작의 시간치를 구할 때 사용된다.

4. 부품 및 조립군의 특징요소와 MTM/WF와의 관계를 이용한 시간적 평가

4.1 구조적 측면에 속하는 특징요소에 대한 시간적 평가

부품이나 조립군의 구조적 측면에 속하는 특징요소들과 MTM/WF 요소와의 관계를 이용하여 제품의 복잡도에 대한 시간적 평가를 할 수 있다. 구조적 측면에서의 제품의 복잡도에 대한 시간적 평가를 행한 예를 들면, 구조적 측면에 속하는 특징요소 중의 하나인 기본형상의 경우에는, 부품이나 조립군의 기본형상을 관측하는데 필요한 동작요소를 정신과정(mental process) 중의 하나인 inspect identity로 결정하였다. Fig. 11은 기본형상과 inspect identity와의 관계와 시간적 평가를 한 결과를 나타내고 있다.

Inspect Identity	Signal 개수									
	1 개	2 개	3 개	4 개	5 개	6 개	7 개	8 개	9 개	10 개이상
	시간 치 (DU)									
구별(I d A I)	0	9	15	20	25	29	32	34	36	37
결정(D e A I)	0	9	15	20	25	29	32	34	36	37
합계	0	18	30	40	50	58	64	68	72	74

Fig. 10 Time table for inspect identity

부 품		Inspect Identity				
		signal 개수				
		1	2	3	4	5
가 라 엔 진 산	벽돌형	● (0)	● (18)	● (30)		
	원기둥형		● (18)	● (30)		
	원추형			● (30)	● (40)	
	삼각뿔형		● (18)		● (40)	● (50)
	파이프형			● (30)		● (50)
	반구형		● (18)	● (30)	● (40)	
	U형		● (18)	● (30)	● (40)	

기초설명 ● : 관련있음, 관련 시간단위 : WFU

Fig. 11 Relationship between basic shape and inspect identity

예를 들면, 벽돌형의 육면체를 정의하기 위해 가로, 세로와 높이에 대한 값이 필요하며, 이에 대한 값을 인지하는 동작으로 inspect identity로 결정하였다. 부품이나 조립군의 기본형상이 벽돌형 중에서 정육면체의 경우는 가로, 세로, 높이가 동일하므로 하나의 값만 인지하면 되므로 형상을 인식하는데 필요한 정보인 signal 갯수가 1개인 경우와 관계가 있는 것으로 결정하였으며, 세 개의 길이가 모두 다른 경우는 signal 갯수가 3개인 경우와 관계가 있는 것으로 하였다. 원기둥형에 있어서도 원인 경우와 타원인 경우에 따라 signal 갯수가 2개 또는 3개로 하였다.

Fig. 11 에서는 부품이나 조립군의 기본형상 각각에 대해서 MTM/WF을 이용해서 시간치를 구해낸 결과를 나타내고 있는데, 여기서의 기본형상의 각각에 대해 적용할 수 있는 MTM/WF의 시간치로써 제품의 복잡도를 평가할 수 있다. 예를 들면, 벽돌형의 경우에는 구해낸 시간치의 합이 48 이고, 원추형은 70 이므로 벽돌형의 경우가 원추형보다는 시간치가 작아, 복잡도는 낮다고 평가할 수 있다.

4.2 조립 공정적 측면에 속하는 특징요소에 대한 시간적 평가

조립 공정적 측면에 속하는 특징요소와 MTM/WF과의 관계를 이용하여 제품의 조립공정에서의 복잡도에 대한 시간적 평가를 할 수 있다. 예를 들면, 조립 공정적 측면에서의 대칭성은 취급되어지는 부품이 체결점을 서로 맞대기 위해 방

향정렬을 하는 동작요소와 관련이 있기 때문에, MTM의 동작요소인 Pre-Position 과 Work Factor의 Index 동작을 관련 동작요소로 하였다. Fig. 12는 대칭성과 관련 동작요소와의 관계를 나타내고 있다. 여기서, Index 동작은 대칭이 아닌 단면을 가진 삽입물과 목표물의 단면 모양을 일치시키기 위해 돌리는 동작을 말하는데, 본 연구에서는 Fig. 12에서 나타나듯이 Index 동작이 필요하지 않을 때에는 시간치를 0으로 가정하여 대칭성에 대한 시간적 평가를 행하였다.

보 조 공 정		Pre - Position							Index		
		Two or more sides up				One specific side up			필요	불필요	
		A	B	C	D	E	F	G			
대 칭 성	$\alpha = 0^\circ$	$\beta = 0^\circ$	● (0)							● (0)	
	$\alpha = 90^\circ$	$\beta = 90^\circ$	● (0)							● (23)	
	$\alpha = 180^\circ$	$\beta = 0^\circ$		● (16)							● (0)
		$\beta = 90^\circ$			● (32)						● (23)
	$\alpha = 360^\circ$	$\beta = 0^\circ$				● (32)					● (0)
		$\beta = 90^\circ$					● (48)				● (23)
		$\beta = 180^\circ$						● (40)			● (23)
		$\beta = 360^\circ$							● (64)		● (23)

기초설명 A, B, C, D, E, F, G : 그림 8 참조 ● : 관련있음, 관련 시간단위 : WFU

Fig. 12 Relationship among symmetry, pre-position and index

Fig. 12에서 나타나듯이 윗 방향에 대한 특정한 정렬방향을 가지고 4개의 측면에 대해서는 특정한 정렬 방향이 없는 경우를 본 연구에서 분류한 α -대칭이 360° 이며, β -대칭이 0° 인 것으로 가정하여서 시간치를 구하여 복잡도 평가를 하였다. 그 이유는, α -대칭은 삽입축에 직각을 이루는 방향으로 회전하여 삽입위치까지 회전한 각을 나타내므로, 윗 방향에 대해서 특정한 정렬방향을 가지는 부품은 α -대칭이 360° 라고 할 수 있고, 또한 β -대칭은 삽입축을 회전축으로 하여 삽입위치까지 회전한 각이기 때문에, 4개의 측면에 대해서 특정한 정렬 방향이 없는 경우는 β -대칭이 0° 라고 할 수 있다.

Fig. 12에서는 조립 공정적 측면에 속하는 특징요소 중의 하나인 대칭성의 각각의 경우에 대해서 MTM/WF을 이용해서 시간치를 구해낸 결과를 나타내고 있는데, 이 시간치를 가지고 조립 공정적 측면에서의 제품의 복잡도에 대한 평가를 할

수 있다. 예를 들면, α -대칭이 90° 이고 β -대칭이 90° 인 경우는 시간치가 23 이고, α -대칭이 360° 이고 β -대칭이 0° 인 경우는 시간치가 32 이므로 이 경우가 앞의 경우보다 더 복잡하다고 평가할 수 있다.

4.3 분리 공정적 측면에 속하는 특징요소와 MTM/WF 요소와의 관계

분리 공정적 측면에 속하는 특징요소와 MTM/WF 과의 관계를 이용하여 제품의 분리 공정에서의 복잡도에 대한 시간적 평가를 할 수 있다. 분리 공정적 측면에 속하는 특징요소 중의 하나를 예를 들면, 도구 접근성은 분리작업 시 작업자가 도구를 부품이나 조립군의 분리점에 접근할 수 있는 정도를 말하는 것이므로, MTM/WF 동작요소 중에서 손이나 손가락에 의하여 목적물을 어떤 목적지에 이동하는 동작인 Move 를 적용시킬 수 있다. 그래서 Fig. 13 과 같이 도구 접근성의 각각의 경우에 대해 Move 동작의 콘트롤 필요정도를 이용해 그 시간치를 구하였다. 여기서 Move 동작의 콘트롤 필요정도는 Case A, Case B, Case C 의 세 경우가 있는데, Case A 는 콘트롤이 거의 필요없는 가장 빠른 Move 동작이고, Case B 는 다소의 콘트롤과 방향조정이 필요한 경우를 말하며, Case C 는 작업자가 주의 깊게 콘트롤해야 하며 방향조정을 상당히 해야 하는 경우를 말한다.

도구 접근성	Move		
	Case A	Case B	Case C
여러 면으로 접근 가능	● (7.3)		
두 면으로 접근 가능		● (8.0)	
한 면으로 접근 가능		● (8.0)	
제한된 접근 가능			● (9.2)

기초설명 ● : 관련있음, 관련시간단위 7MU




Fig. 13 Relationship between tool accessibility and move

예를 들면, 도구 접근성이 제한된 접근 가능한 경우에는 Move 동작의 변동요인 중에 Case C 를 적용할 수 있는데, 이것은 도구 접근성이 제한된 접근 가능한 경우에는 작업자의 많은 주의가 포함하므로 Move 동작의 Case C 에 해당되기 때문이다. 그리고 Fig. 13 에서의 시간치는 부품이나 조립군

의 운반거리가 5 인치로 가정하여 시간치를 구하였다. Fig. 13 에서 나타나듯이 여러 면으로 접근 가능한 경우는 시간치가 7.3TMU 이고, 제한된 접근 가능한 경우는 9.2TMU 임으로 제한된 접근 가능한 경우가 여러 면으로 접근 가능한 경우보다 제품의 분리공정에서의 복잡도는 높다고 할 수 있다.

5. 부품 및 조립군에 대한 경험적 평가

5.1 구조적 측면요소에 대한 경험적 평가

제품의 구조적 측면 요소에 대한 복잡도의 경험적 평가를 위해서 부품이나 조립군의 외부형상이나 부품 수, 체결요소 등의 구조적인 상태를 파악하기 용이한 조건 및 작업경험 등을 기준으로 하여 평가기준을 설정하였다. 구조적 측면 요소 중에 속하는 요소 중의 하나인 기본형상에 대한 복잡도 평가기준은 부품의 일부분 관찰로 전체 형상의 파악 가능정도에 따라 복잡도의 높고 낮음을 Fig. 14 와 같이 평가하였다. 즉 파악하고자 하는 대상물의 외형을 파악하기 위해 필요한 요소가 얼마나 많은가에 따라 복잡도를 결정하였다. 예를 들면, Fig. 14 의 원기둥형 중에서 밀면의 형상이 원인 경우에는 원의 반지름 r 과 기둥의 높이 h 의 값이 형상을 인지하는데 필요한 값이 된다. 이것은 형상의 파악에 필요한 요소가 2개임을 뜻한다고 가정하였다. 이에 반해, 원추형의 비대칭인 경우에는 밀면의 반지름과 빗면과 밀면이 이루는 여러 각(두가지 이상의 θ)에 대한 값이 형상을 인지하는데 필요한 값이 된다. 그래서 원기둥 형상이 비대칭의 원추형보다 형상에 있어서 복잡도가 낮은 것으로 하였다.

기본형상	별률형	원기둥형	원추형	삼각대형	Pipe 형	반구형	U형
기둥형	●	●	●	●	●	●	●
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○
평면형	○	○	○	○	○	○	○
구멍형	○	○	○	○	○	○	○
볼형	○	○	○	○	○	○	○
기둥형	○	○	○	○	○	○	○

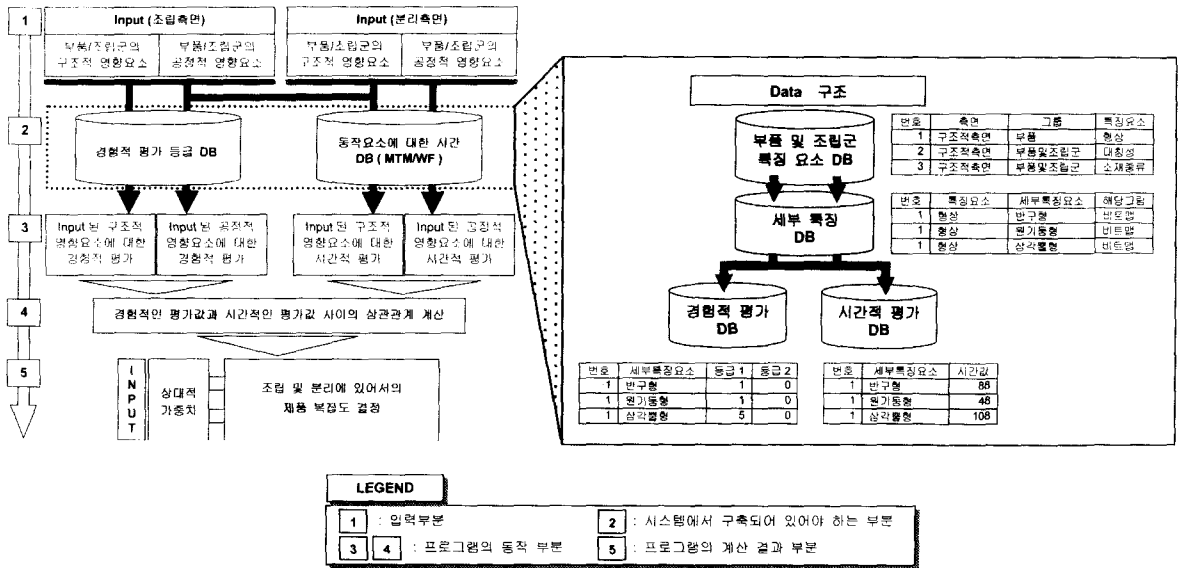


Fig. 17 Flow chart of complexity evaluation system

6. 조립 및 분리 복잡도 평가 시스템 구축

6.1 평가 시스템의 체계

본 시스템의 구축단계는 5 단계로 나누어 진다. Fig. 17 에서와 같이 1 단계는 데이터 Input 에 관한 것으로 조립 측면(혹은 분리 측면)의 부품/조립군의 구조적 영향요소와 공정적 영향요소에 대한 값들을 입력한다. 부품 및 조립군의 구조적 측면에 대한 특징요소에는 형상, 대칭성, 소재, 체결점 수, 시작성, 체결 요소, 부품 수 등에 대한 값들을 입력하고, 공정적 측면에 대한 특징요소에는 영킴성, 무게, 접근공간, 접촉상태, 작업도구, 체결 방법, 작업공간 크기 등에 대한 값들을 입력한다. 2 단계에서는 경험적 평가 등급 DB와 동작요소에 대한 시간 DB를 구축한다. 부품 및 조립군의 특징 요소 DB에는 구조적 측면과 공정적 측면에 대한 특징 요소들을 입력하게 되고 세부 특징 DB에는 각각의 특징 요소에 대한 세부 영향요소들을 입력하게 되며 이것은 다시 경험적 평가 DB와 시간적 평가 DB로 나뉘어 지는데 세부 특징요소들에 대한 등급값과 시간값을 입력하게 된다. 시간 DB는 참고 문헌에 있는 MTM/WF를 사용하여 결정하였다. 3 단계에서는 조립측면(혹은 분리측면)의 Input 된 구조적 영향요소와 공정적 영향요소를 경험적 평가 등급 DB와 동작요소에 대한 시간 DB

와 관련해 경험적 평가를 한다. 4 단계에서는 3 단계에서의 경험적 평가값과 시간적인 평가값 사이의 상관관계를 계산한다. 경험적 평가값과 시간적인 평가값의 단위가 다르므로 회귀 분석을 통해 동일한 단위를 맞춘 후 전체 복잡도를 구한다^[12]. 마지막 5 단계에서는 경험적인 평가값과 시간적인 평가값을 서로 더한 후, 이를 조립 및 분리에 있어서의 제품 복잡도를 결정한다.

6.2 전체 복잡도 계산 결과

구조적 측면에 대한 자료 입력은 Fig. 18 과 같이 제 2 장에서 결정된 부품, 부품 및 조립군, 조립군에 대한 구조적 측면에서의 특징요소를 입력하는데, 부품에는 기본적인 형상에 대한 자료를 입력하고 부품 및 조립군에는 대칭성, 소재, 체결점 수, 시각성에 대한 자료를 입력하며 조립군에는 체결 요소, 부품 수, 소재 수에 대한 자료를 입력한다. 그리고, 조립 및 분리 공정적 측면에 대한 자료, 즉, 보조 공정, 보조 및 주공정, 주공정에 대한 자료를 입력하게 되는데, 조립 공정을 보면 보조 공정에서는 Alpha와 Beta 각도에 대한 대칭성, 시각성, 영킴성, 무게, 접근공간, 접촉상태, 체결 요소에 대한 자료를, 보조 및 주공정에서는 접근 방향 변경 수, 개방면의 수, 형상, 접근 방향에 대한 자료를 입력하고 주공정에서는 작업 도구, 체

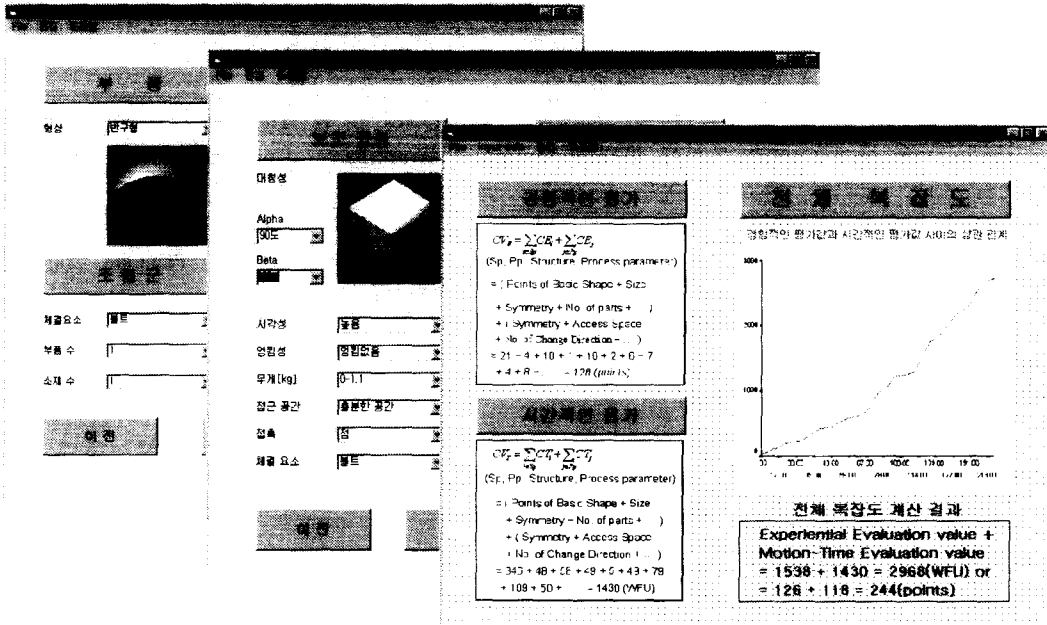


Fig. 18 Results of total complexity

결점 수, 체결 방법, 작업공간 크기에 대한 자료를 입력하게 된다. 이렇게 입력된 자료들은 DB에 저장되어 제품의 복잡도 평가에 이용한다.

이러한 자료들을 기초로 하여 전체 복잡도 계산 결과의 화면 구성은 경험적인 평가에 의한 복잡도 평가값과 시간적인 평가에 의한 복잡도 평가값, 그리고 경험적인 평가와 시간적인 평가의 복잡도를 더한 전체 복잡도 평가값이 산출된다. 여기서, 경험적인 평가값에는 구조적 측면에 대한 평가값, 조립 공정적 측면에 대한 평가값 그리고 분리 공정적 측면에 대한 평가값으로 이루어져 있는데, 각 특징요소에 대한 자료값들을 입력한 후, 이들을 더한 경험적인 복잡도 평가값을 구하였다. 시간적인 평가값 역시 구조적 측면에 대한 평가값, 조립 공정적 측면에 대한 평가값 그리고 분리 공정적 측면에 대한 평가값으로 이루어져 있고, 각 특징요소에 대한 자료값들을 입력한 후 시간적인 복잡도 평가값을 구하였다. 최종 전체 복잡도 평가값은 위에서 말한 바와 같이, 경험적인 평가값과 시간적인 평가값을 더한 값인데, 경험적인 평가값의 단위(point)와 시간적인 평가값(WFU: Work Factor Unit)의 단위가 다르므로 회귀 분석을 통해,

하나의 단위 즉, point 또는 WFU의 단위로 통일시킨 후 경험적인 평가값과 시간적인 평가값을 더해 전체 제품의 복잡도 평가값을 구했다. 예를 들어, Fig. 18의 전체 복잡도 계산 결과를 보면 경험적인 평가값의 합은 128(points)이고 시간적인 평가값의 합은 1430(WFU)가 된다. 여기에서 경험적인 평가값의 단위와 시간적인 평가값의 단위가 다르므로, 경험적인 평가값과 시간적인 평가값 사이의 상관 관계 즉, 회귀 분석을 통해서 전체 복잡도 평가값 244(points) 또는 2968(WFU)를 구할 수 있다.

7. 결론

본 연구에서는 자동차 조립군들에 대하여 그 특성을 파악하고, 이를 기초로 하여 제품의 복잡도에 대한 평가를 위해 복잡도를 구조적 측면과 공정적 측면으로 나누어 정의하였다. 그리고 복잡도 평가를 위한 조립군이나 부품의 특징 요소를 파악하여 평가 기준 및 등급을 결정하였고, 복잡도에 대한 정량적인 경험적 평가값을 구하였다. 부품 및 조립군 특징 요소와 관련 있는 MTM/WF

의 표준 요소를 결정하여 복잡도에 대한 시간적 평가값을 구하였으며, 경험적 평가값과 시간적 평가값에 의해 제품의 전체 복잡도를 결정하였다. 제품의 전체 복잡도는 경험적인 평가값과 시간적인 평가값의 상관 관계를 회귀 분석을 통해 구한 다음 이를 더한 값으로 하였다. 이를 근거로, Visual Basic 을 이용하여 조립 및 분리의 부품/조립군의 구조적 영향 요소와 공정적 영향 요소에 대한 값들을 구한 다음, 경험적 평가 등급 DB 와 동작 요소에 대한 시간 DB 를 구축하여 정량적인 제품 복잡도 평가 시스템을 구축하였다.

본 연구의 결과가 제품 및 조립군의 구조 분석을 용이하게 하고, 조립 및 분리에 소요되는 경비를 절감하며, 제품의 복잡도를 낮추는 기법 연구의 기초 자료로 활용될 수 있다. 그리고 제품 복잡도 감소를 위한 부품 및 조립군 설계 원칙과 조립 및 분리를 동시에 고려한 제품의 복잡도 평가에 대한 연구 및 자동 조립에 있어서의 제품 복잡도 평가 방법의 개발이 필요할 것이다.

참고문헌

1. 박원장, "Automobile Industry," 웅진출판, pp. 259-284, 1994.
2. Eversheim, W., "Management of Complexity," RWTH Aachen, Report, 1995.
3. Boothroyd, G. and Alting, L., "Design for Assembly and Disassembly," Annals of the CIRP, Vol.41, pp. 625-636, 1992.
4. Eversheim, W., "Recyclinggerechte Produktentwicklung," Aachen im September, 1994.
5. Boothroyd, G. and Dewhurst, P., "Product Design for Assembly," Machine Design, Vol.10, pp. 94-98, 1993.
6. 목학수, 신현창, "취급성과 접근성을 고려한 제품의 복잡도 평가," 한국 정밀공학회지, 제 14 권 제 10 호, pp. 91-101, 1997.
7. 목학수, 김형주, 문광섭, 양태일, "자동차 부품의 조립용이성과 분리용이성," 한국과학진흥재단 보고서, 1996.5.
8. 목학수, 정현교, 박주형, "자원 재활용을 위한 부품의 분리용이성," 한국 정밀공학회지, 제 13 권, 제 1 호, pp.153-166, 1996.
9. 목학수, 문광섭, 김형주, "볼트를 사용한 제품에
10. Quick, J. H., Duncan, J. H., Malcolm, J. A. Jr, "Work-Factor Time Standards," Mcgraw Hill, Inc., 1962.
11. 황학, "작업 관리론," 영지 문화사, 1992.
12. Juran, J.M., "Quality Planning and Analysis," Mcgraw Hill, Inc., 1995.