

조립시스템의 자동화 및 유연성 평가방법에 대한 연구

목 화 수*, 강 원 철**

A Study on the Evaluation of Automation & Flexibility in Assembly Systems

Hak Soo Mok*, Won Cheol Kang**

ABSTRACT

This paper deals with the evaluation methods for flexible automated assembly systems based on characteristics of automation and flexibility. In this study, the degrees of automation and flexibility are calculated quantitatively as the means of evaluating assembly systems.

The degree of automation is grasped whether the detailed assembly flexibility can be calculated indirectly by the estimation of cost and time which are caused to adapt the changed environment of the assembly system. As a case study, an assembly system is evaluated for showing the procedures of the developed method.

1. 序 論

오늘날 시장의 요구에 따라 하나의 제품이 생산되어 최종 수요자에게 공급되기까지는 여러 과정을 거치게 된다. 이러한 여러 과정 중 특히 일반적으로 기업이 담당하고 있는 생산과정은 가공을 위한 사전 단계인 작업준비 단계, 소재에 직접 형상의 변화를 주는 가공 단계, 그리고 가공된 부품들을 서로 결합하여 최종 제품으로 만드는 조립 단계로 이루어져 있다(1).

현재 제조분야에 종사하고 있는 전 종업원의 약 40%가 조립작업에 관련되어 있어, 전체 생산부문에서 임금비가 차지하는 비중이 가장 높다(2). 그리고 산업 환경의 변화에 따른 노동조합운동의 활성화와 인력의 부족 등은 현재의 임금수준을 더욱 상승시키고, 조립작업의 특성상 반복적이며, 조립작업자에 대한 직무상의 만족도가 다른 작업에 비하여 상대적으로 낮아 공장 자동화에 대한 필요성이 산업계의 선결과제로 대두되고 있다. 또

한 대부분의 관리자들은 불필요한 경비를 줄이고 관리의 효율성을 기하기 위하여 각 제품을 구성하고 있는 부품 중 경영전략상 및 기술상의 핵심부품을 제외한 대부분의 부품들을 타기업에 하청을 주어 외주가공하거나, 규격부품들을 그대로 단순구매하므로써 해당 기업에서는 단지 조립단계만을 거쳐 생산하는 경향이 있다. 기업의 이러한 추세에 따라 조립시스템의 자동화가 어느 때보다도 중요하게 인식되고 있다. 이에 따라 조립시스템의 자동화는 기존 조립시스템의 능력을 결정하는 중요한 평가요소가 될 수 있으며 새로운 조립시스템의 설계시에도 실질적인 기준을 제시해 줄 수 있다.

조립시스템의 내, 외적 환경변화에 유연하게 대처할 수 있는 조립시스템에 대한 요구가 날로 높아지고 있다. 이러한 다양한 변화는 현 시스템에서 제한된 시간에 많은 재투자가 없이 해결되어야 한다. 따라서 시스템의 설계 전에도 유연성에 대한 고려는 매우 중요하다. 경제가 성장하고 사회가 다양화됨에 따라 고객의

* 부산대학교 산업공학과(정회원)

** 한국통신선로기술연구소

제품 선호 경향도 다양화되어 제품의 수명주기가 짧아져 가는 현상이 있다. 그리고 기업은 기업경쟁에 이기기 위하여 제품의 납기 단축을 필요로 한다. 이 경향은 필연적으로 제품의 다양화 및 소량화가 장려되어 생산 형태가 다품종 소량 생산방식으로 변하게 하고 있다(3). 이러한 다품종 소량 생산방식의 조립시스템에서는 앞서 제시한 자동화와 유연성이 더욱 중요한 평가기준이 될 수 있다. 조립의 자동화와 유연성이 보다 더 잘 실현될 수 있고 효율적인 조립시스템으로서 유연 자동화 조립시스템(Flexible Automated Assembly Systems)의 개념이 1984년 Norway의 PEL(The Production Engineering Laboratory, NTH-SINTEE)과 IFIM(The Institute for Social Research in Industry)에 의하여 제시되었다(4).

본 연구에서는 유연 자동화 조립시스템의 주 특징요소인 자동화 정도와 유연성 정도를 체계적으로 평가하고, 그 정도를 정량적으로 산출하는 방법을 개발하고자 한다.

이를 위한 본 연구의 수행순서가 Fig. 1에 제시되어 있다.

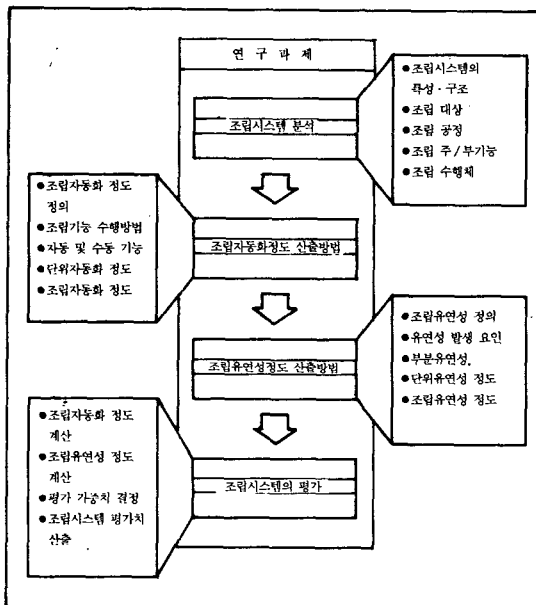


Fig. 1 Procedure and Details of This Study

조립자동화와 유연성의 정도를 산출하기 위하여 조립시스템의 구조와 구성요소를 이루는 조립대상, 조립공

정, 조립수행체에 대한 상세한 분석이 선행된다. 조립 자동화 정도는 각 작업장에서의 세부 조립기능이 자동 조립설비에 의하여 수행되는지 아니면 조립작업자에 의하여 수행되는지의 조립기능 수행체에 따라 결정된다. 그리고 조립유연성은 생산환경의 변화에 적응하기 위하여 소요되는 비용과 시간의 추정을 통하여 산출된다. 본 연구의 끝부분에는 본 연구의 실제적인 예로서 조립시스템의 평가가 수행된다.

2. 柔軟 自動化 組立시스템

본 연구에서는 조립시스템의 평가지표로서 조립시스템의 자동화 및 유연성을 제시한다. 기존의 연구에서는 일반적으로 생산시스템을 평가할 때 그 시스템의 생산성이나 경제성 등에 주안점을 두었다.

대개 생산성은 생산요소의 투입과 그 생산요소를 사용하여 생산활동을 한 결과로 나타난 산출간의 비율로 가장 보편적으로 정의되며, 경제성은 투자경비에 대한 수익률로 정의된다(5). 따라서 이러한 평가지표는 그 정가가 예시하듯 전체적인 측면에서 현 시스템의 상태를 파악하고자 하며, 생산시스템이 효율적인지, 경제적인지를 평가하는데 그 목적을 두고 있다. 반면에 본 연구에서 제시하고자 하는 자동화와 유연성은 현 시스템을 구조적인 측면에서 파악하고자 하는 평가지표로서 생산적, 기술적인 면에 중점을 두고 있다. 또한 이 평가지표는 미래의 생산환경 변화에 대한 현재의 시스템의 적응성 향상을 위한 기술적인 목표 설정에 도움을 준다. Fig. 2

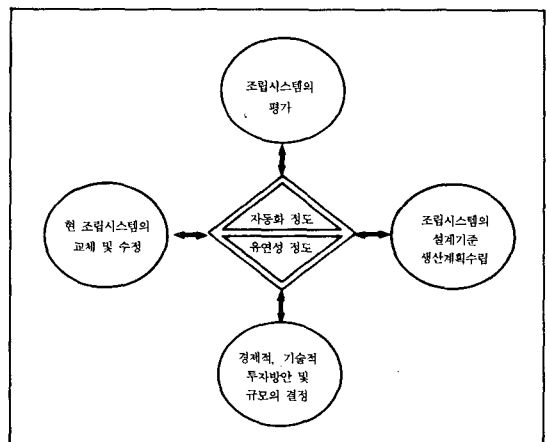


Fig. 2 Purpose of Automation and Flexibility in Assembly

에 조립시스템에 대한 자동화 정도와 유연성 정도의 중요성이 제시되어 있다.

조립자동화가 요구되는 이유와 추진대안들이 Fig. 3에 제시되어 있다. 조립자동화가 필요한 이유는 현 시스템의 생산성을 향상시키고 높은 품질의 제품을 계속적으로 생산하며, 작업자 임금이 점차 높아지는 추세이므로 작업자에 의한 작업량과 공정시간을 줄이고, 작업자를 위험한 공정으로부터 보호하기 위한 것이다. 조립자동화를 추진하기 위해서는 작업 및 부품 설계를 표준화하여 조립설비의 기계화 및 자동화 및 자동장치의 개발, 자동검사, 센서 시스템을 도입함으로써 가능하다.

그리고 조립유연성은 사회의 다변화로 인한 소비자의 다양한 욕구를 만족시키고, 제품설계와 공정의 변화가 다양화되며, 기존 설비의 이용성을 높이기 위해서 추구되어야 할 목표이다. 이를 위한 추진 대안으로 기존 공정을 모듈화함으로써 수리, 교체를 용이하게 하고, 작업자의 능력을 다변화하며 다기능의 조립설비를 개발함과 동시에 유연 물류시스템의 구축이 필요하다.

	조립 자동화	조립 유연성
요구 이유	-생산성 제고 -고품질의 균일화 -작업자 임금의 상승 -공정시간의 최소화 -작업자의 안전	-소비자의 다양한 욕구 만족 -제품설계의 변화 다양 -공정의 변화 다양 -기존 설비의 이용성 제고
추진 대안	-작업 표준화 -부품설계의 표준화 -기계화 및 자동장치의 개발 -자동 검사, 센서 시스템의 도입	-공정의 모듈화 -작업자 능력의 다변화 -다기능 조립설비의 개발 -유연 물류시스템의 구축

Fig. 3 Needs and Measures for Automation and Flexibility in Assembly

본 연구의 목적은 유연 자동화 조립시스템의 자동화 및 유연성 정도를 평가하기 위해서는 유연 자동화 조립시스템의 출현과 특징에 대한 개념 정립이 필요하다. 이를 위하여 먼저, 조립시스템을 새로이 설계할 경우를 살펴보면, 조립시스템의 구조는 전체 조립 경비, 최대 요구 생산량, 작업인력의 유효성, 제품의 시장수명, 그리고 제품설계의 안정성에 따라 결정된다(6, 7). 구축하고자 하는 조립시스템의 자동화 및 유연성 수준도 이때

설정되어야 하며 각 생산환경에 따라 다양하게 정하여진다.

가령 제품의 시장수명이 짧을 경우 자동화가 높은 조립시스템은 오히려 과도한 초기 자본 투자로 인하여 결과적으로 전체 제조경비를 증가시켜 비경제적인 시스템이 된다. 따라서, 반드시 자동화가 높은 조립시스템이 요구되는 것은 아니다. 종래에는 소품종 대량 생산을 주목적으로 하던 고정 자동화(Fixed Automation) 방식에서 탈피하여 시장의 요구가 다양화됨에 따라 제품의 급격한 모델변화에 대응하여, 생산해 낼 수 있는 유연 자동화(Flexible Automation)로 전환되어 가는 추세이다(8). 조립시스템이 유연 자동화됨으로서 다음과 같은 특징을 가질 수 있다.

- 1) 전체 조립시간의 단축
- 2) 수요변화에 대한 높은 응답성
- 3) 주문지향의 조립수행
- 4) 조립공정의 뛰어난 조정능력

3. 組立시스템의 分析

본 연구의 목적인 조립시스템의 자동화 정도 및 유연성 정도의 평가를 위해서는 조립시스템에 대한 분석이 수행되어야 한다. 조립시스템 분석의 첫단계는 조립시스템의 구조 파악이다. 조립시스템 분석의 두번째 단계는 조립과정에 대한 분석이다. 조립과제는 조립될 대상과 실제 조립공정으로 이루어져 있다.

조립될 대상으로부터 조립에 이용되는 부품 및 조립군의 기술적 및 재질적 특성을 파악하고, 조립공정의 분석으로부터 조립의 수행 방법에 대한 연구가 수행되어야 한다. 이러한 분석이 이루어지고 난 후, 각 단위작업장의 분석이 수행된다.

3.1 조립시스템의 구성

조립시스템은 전제조건요소와 입, 출력요소 그리고 각 단위작업장으로 구성되어 있다(9).

- 1) 전제조건요소 : 공간, 에너지, 작업자, 조립지식 및 기술정보
- 2) 입출력요소 : 부품, 조립군, 제품
- 3) 작업장요소 : 조립장비, 보조장비, 기타설비

조립시스템이 구성되기 위해서는 각 조립설비들을 배치하기 위한 공간, 이들의 운전에 투입되는 전기, 열, 고압 등의 각종 에너지, 작업장의 운영에 필요한 조립

기술에 관한 지식 및 정보, 그리고 작업자가 전제조건으로 필요하다. 각 단위작업에는 실제 조립작업을 수행하기 위한 조립로봇, 나사체결기 등의 조립 장비와 위치정렬기, 부품자동공급장치 등과 같은 보조장비가 조립공정의 흐름에 따라 배치된다.

그리고 이들 각 작업장은 조립대상인 여러 부품과 조립군을 입력요소로 받아들여 주 조립기능을 수행하고 조립기능 수행이 완료된 조립군이나 제품을 다음 단계로 출력한다.

한편, 조립시스템의 구조파악을 위하여 조립대상, 조립공정, 조립수행체, 그리고 물류흐름 등의 주요 관심 요소가 있으며, 이들은 조립시스템의 구조를 파악 하는데 필요한 기초자료를 제공한다.

3.2 조립대상

본 연구에서는 조립대상의 체계적인 분석을 위하여 구성요소 측면, 구조 측면, 조립공정 측면, 조직적 측면의 네 측면으로 구분하였다(Fig. 4).

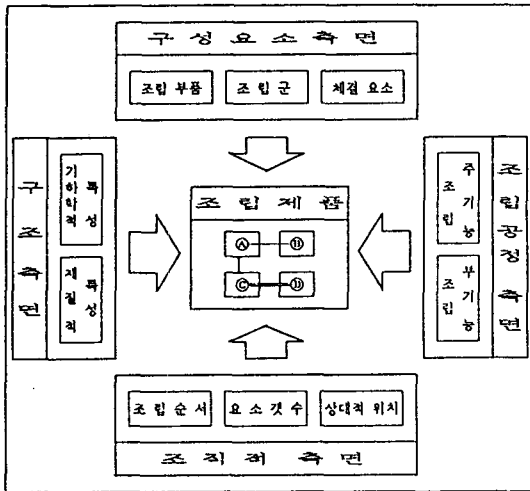


Fig. 4 Analysis of Assembly Objects

먼저 조립시스템의 입력요소인 조립대상은 조립제품의 구성요소 측면에서 세그룹으로 분류된다. 일반적으로 기초소재에 절삭 및 비절삭의 가공작업을 통하여 조립이 가능하도록 만들어진 단위 조립요소인 조립부품이 있으며, 이들 간의 1차 조립에 의하여 보다 복잡한 구조로서 다시 조립기능이 수행되기 위한 조립요소인 조립군, 그리고 이러한 부품 및 조립군들을 서로 결합시켜주기

위해 사용되는 체결요소가 있다.

조립부품은 구조측면에서 외부적 형상에 따른 기하학적 요소와 구성 소재에 따른 재질적 요소로 특징지어진 이들 두 종류의 요소는 조립시스템의 설계 및 자동화와 유연성을 위한 기초자료를 제공한다. 조립부품의 기하학적 특징요소로는 형상, 대칭성, 치수 정밀도, 치수 허용공차, 무게중심 위치, 위치 안정도 등이 있고, 재질적 특징요소로는 구성재질, 표면조도, 강도, 무게 등이 있다.

조립부품의 이러한 여러 특징요소들은 조립공정이 어떻게 수행될 것인가를 결정하게 되고 조립공정 측면에서 조립의 주, 부기능에 의하여 제품으로 조립된다. 조립의 주, 부기능은 조립의 고유한 역할인 결합기능이나 아니면 이를 보조하는 기능이나에 따라 구분된다. 마지막 조직적 측면으로 조립대상은 일반적인 조립순서, 조립될 요소의 갯수, 조립요소들 간의 상대적인 위치에 따라 최적의 조립 순서가 추출되고 이에 따라 조립이 수행된다.

3.3 조립공정

조립공정의 분석은 조립시스템의 자동화와 유연성을 정량적으로 산출하기 위하여 특히 중요한 단계이다.

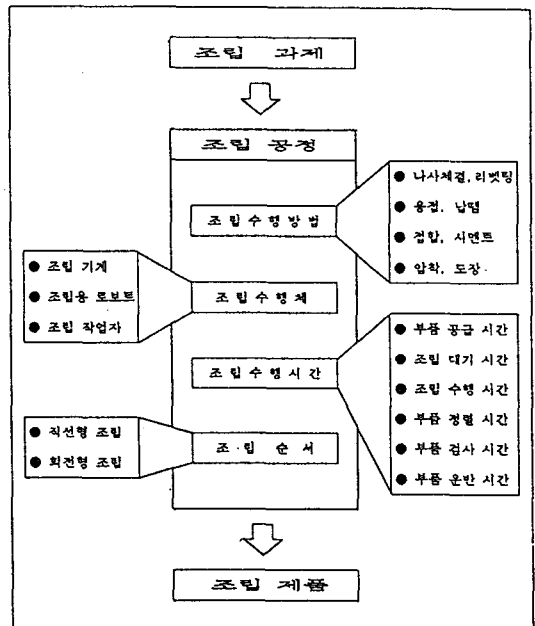


Fig. 5 Structure of Assembly Process

조립작업은 상호 독립적으로 생산된 두 개 이상의 부품을 상호 결합하여 보다 높은 복잡도를 갖는 조립군이나 제품을 생산하는 작업으로 정의될 수 있다(10-12). 조립될 대상들이 조립공정에 투입되면 설정된 조립시간과 작업의 순서에 따라 조립수행체(예: 조립작업자, 조립용 로봇)에 의하여 조립작업이 수행된다(Fig. 5).

조립공정에서 수행되는 기능은 세부 목적에 따라 조립의 주기능과 부기능으로 구별된다. 조립의 주기능으로는 나사, 너트, 리벳, 핀 등의 체결요소를 사용한 나사 체결, 리벳체결, 스톱체결 등의 기계적 결합, 열을 사용하여 금속부품을 녹여 결합하는 용접, 납땀 등과 같은 열에너지 결합, 접합재나 시멘트로서 서로 결합시키는 접착 결합, 부품자체가 높은 압력으로 압착되거나 성형되어 결합되는 압착, 프레스, 도장 등의 물리적 결합 등이 이에 해당된다.

이에 대해 조립 부기능은 주기능의 수행전후나 수행도중에 주기능 수행을 용이하게 하고, 조립작업을 준비, 마무리하는 기능으로서 조립대상의 공급, 정렬, 조정, 세척, 건조, 검사 등이 이에 해당된다.

특히, 조립자동화 정도의 정량적 산출을 위하여 본 연구에서의 조립기능은 첫째, 각 단위작업장별로 주기능과 부기능으로 분류되고, 둘째, 주기능과 관련된 각 단위작업장의 부기능도 독립된 한 개의 기능으로 설정된다. 셋째, 각 단위기능의 분리는 조립대상의 이동방향, 이동속도, 이동의 중단, 조립 수행체, 힘의 작용방향, 동력원 등의 변화에 따라 결정된다.

3. 4 조립수행체

조립수행체도 그 수행하는 기능에 따라 조립 주기능을 수행하는 주기능 수행체와 조립 부기능을 수행하는 부기능 수행체로 구분한다. 조립 작업자는 조립의 주, 부기능을 수행할 뿐만 아니라 때로 조립공정을 관리, 운영하는 기능도 수행한다. 그리고 조립기능은 조립수행체에 따라 다시 구분되며 조립작업자에 의하여 수행되는 기능은 수동 조립기능으로 조립작업자에 의하여 수행되지 않고 기계화된 혹은 자동화된 설비에 의하여 수행되는 기능은 자동 조립기능으로 분류된다.

4. 組立시스템의 評價

조립시스템에 대하여 조립자동화 정도와 조립유연성

정도를 정량적으로 평가하기 위해서는 Fig. 6과 같이 각각의 초기정보가 필요하다. 이것은 앞장에서 수행된 조립시스템의 분석을 통하여 얻어지는 시스템 내적 정보와 함께 조립시스템의 외적 영향요인에 의하여 다양하게 결정되는 시스템 외적 정보로 구성되어 있다.

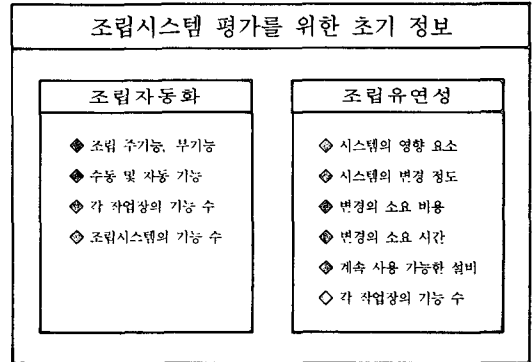


Fig. 6 Initial Information for Evaluation of Assembly Systems

4. 1 조립자동화

본 연구에서 조립시스템의 첫번째 평가 지표인 자동화 정도는 조립기능의 수행에 인간의 기능수행이 배제된 작업환경에서 기계적 또는 자동화된 요소에 의하여 조립기능이 수행되는 정도로 정의된다.

이 조립자동화 정도는 각 단위작업장의 자동화 정도를 나타내는 '단위자동화 정도'와 전체 조립시스템의 자

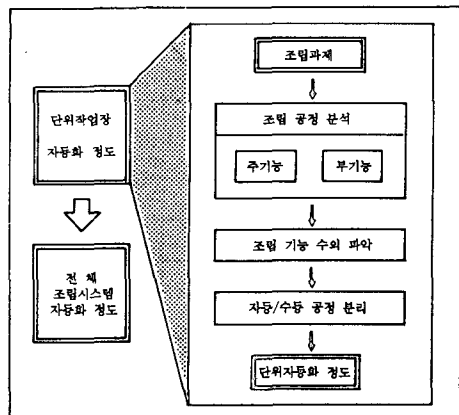


Fig. 7 Procedure for Determining Degree of Assembly Automation

동화 정도를 나타내는 '조립자동화 정도'로 구분된다.

조립시스템의 자동화 정도는 앞에서 언급된 조립수행체에 따라 구분된 수동 및 자동 조립기능으로부터 정량적인 산정이 가능하다. 조립자동화 정도를 산출하기 위한 체계적인 순서는 Fig. 7과 같다.

선정된 조립시스템의 조립자동화 정도는 각 단위작업장의 자동화 정도가 먼저 산출된 후 그것을 바탕으로 최종적으로 결정된다.

4.1.1 단위자동화 정도의 산출

각 단위작업장별로 조립공정의 주기능 및 부기능의 분석을 통하여 자동 및 수동 조립기능으로 분류되어, 이 작업장에서의 모든 조립기능의 수에 대한 조립작업자에 의하지 않고 자동적으로 수행되는 자동조립 기능 수의 비율로 단위자동화 정도가 산출된다. 즉 1 단위작업장의 자동화 정도를 DOA_i로 표시하면 다음과 같은 방법으로 산출될 수 있다.

$$DOA_i = \frac{N_{Ai}}{N_{Ai} + N_{Mi}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

$$N_{Ai} + N_{Mi} = N_i \dots\dots\dots(2)$$

이면

$$DOA_i = \frac{N_{Ai}}{N_i} \times 100 (\%) \dots\dots(3)$$

이다. 여기서, N_{Ai}는 1 단위작업장의 자동 주, 부기능 수를 나타낸다. N_i는 단위작업장에서의 총 조립기능 수이다.

4.1.2 조립자동화 정도의 산출

각 단위작업장의 단위자동화 정도를 기초로 하여 전체 조립시스템의 조립자동화 정도를 산출한다. 조립시스템의 조립자동화 정도를 DOA_T로 표시하면, 그것은 다음과 같다.

$$DOA_T = \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^n N_i \cdot DOA_i \dots\dots(4)$$

$$N_T = \sum_{i=1}^n N_i \dots\dots\dots(5)$$

(단, n은 조립시스템의 전체 단위작업장 수)

여기서 N_i는 i단위작업장의 전체 조립 주, 부기능 수이고 N_T는 조립시스템의 전체 조립기능 수이다. 이로서 각 작업장의 단위자동화 정도에 그것의 조립기능의 수가 고려되어 조립시스템의 조립자동화 정도로 산출된다.

4.2 조립유연성

생산시스템의 유연성은 생산환경에서의 다양한 변화에 대한 적응성으로 간단히 정의될 수 있다[13, 14].

본 연구에서의 조립유연성은 조립시스템에 영향을 미치는 조립기술의 급속한 발전, 신제품의 개발, 생산계획의 변경, 시장의 수요 및 제품모델의 변화 등 조립시스템의 내, 외적 다양한 변경요인에 대하여 현재의 조립시스템이 얼마나 효율적으로, 신속하게 그리고 저렴한 비용으로 적응, 대처할 수 있는가를 나타내는 특성으로 정의된다. 따라서 조립시스템의 유연성 정도는 변화에 대처하기 위하여 소요되는 시간과 비용에 의하여 결정될 수 있으며 소요시간과 비용이 적을수록 조립유연성의 크기는 증가한다. 조립시스템의 유연성 정도가 정량적으로 산출되기 위해서는 변화에 소요되는 시간요소가 비용요소로 전환될 필요가 있으며, 모든 시간요소가 비용요소로 전환될 경우 조립시스템의 유연성은 비용의 함수로 표시될 수 있다.

조립유연성 정도는 각 단위작업장의 유연성 정도를

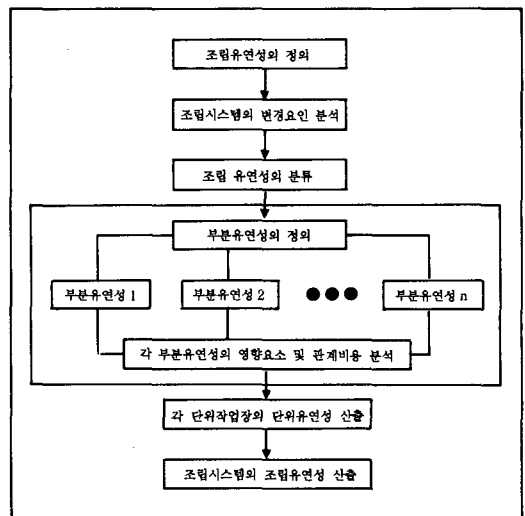


Fig. 8 Procedure for Determining Degree of Assembly Flexibility

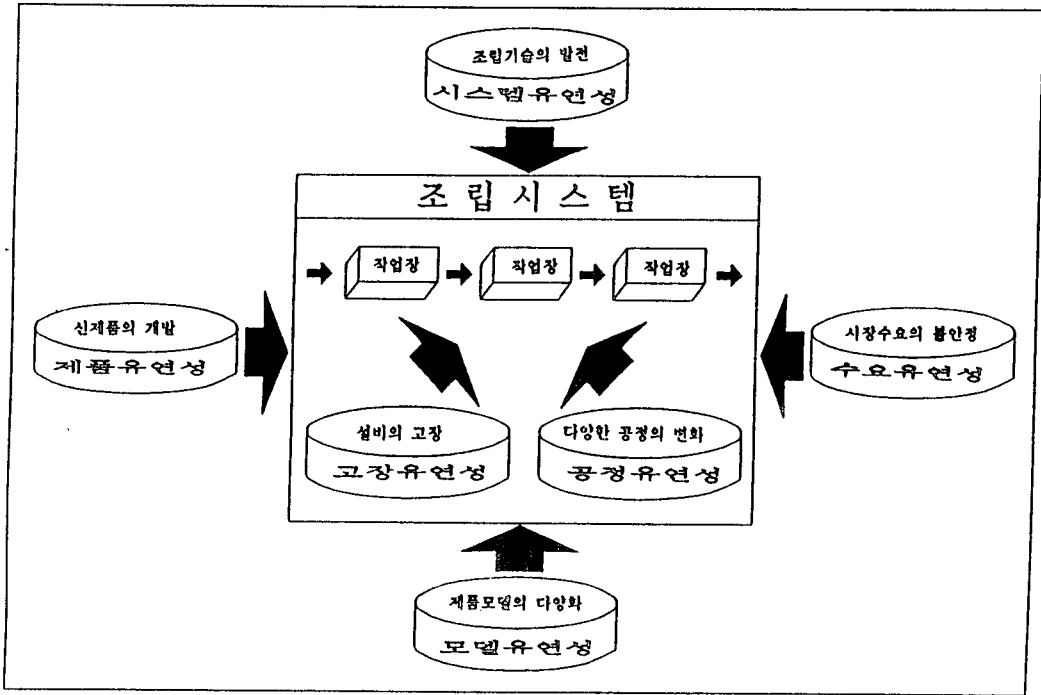


Fig. 9 Classification of Assembly Flexibility by Influential Cause

부분유연성	정의	변화에	부분유연성 분석표 (1)	
제품유연성	신제품의 개발에 대한 조립시스템의 대처 능력		구분	제품유연성
수요유연성	시장 수요의 불안정에 대한 조립시스템의 대처 능력		주변경 요인	신제품의 개발
시스템유연성	신기술의 개발 및 도입에 대한 조립시스템의 대처 능력		정의	새로운 제품을 연구, 개발하여 먼 조립시스템에서 따른 시간내에 최소의 추가 비용으로 생산을 시작할 수 있는 조립시스템의 능력
모델유연성	모델의 다양화에 대한 조립시스템의 대처 능력		→	
고장유연성	구성설비의 고장 및 공구의 미모에 대한 조립시스템의 대처 능력			
공정유연성	공정의 변화에 대한 조립시스템의 대처 능력		새 부품 명 요소	관련 비용
			<ul style="list-style-type: none"> · 신제품의 기능종류 및 수준 · 신제품의 참질수준 · 신제품의 제조원가 · 신제품의 형상특징 · 신제품의 구성부품 · 신제품의 예측 수요량 · 신제품의 수명 사이클 · 신제품의 조립공정 · 신제품의 조립난이도 · 신제품의 사용 치공구 	<ul style="list-style-type: none"> · 연구·개발비용 · 시험·검사비용 · 품질보증비용 · 작업자 교육·훈련비용 · 치공구 설계·구입비용

Fig. 10 Analysis of Partial Flexibility

나타내는 '단위유연성 정도'와 전체 조립시스템의 유연성 정도를 나타내는 '조립유연성 정도'로 구분된다. 조립유연성 정도의 산출을 위하여 본 연구는 다음과 같이 단계별로 진행된다(Fig. 8).

4.2.1 조립시스템의 부분유연성

조립시스템의 영향을 미치는 시스템의 내, 외적 변경요인은 다양하다. 본 연구에서는 그 변경요인을 조립시스템의 외부에서 발생하는 시스템 외적 요인과 조립시스템 내에서 발생하는 시스템 내적요인으로 대별하였다. 그리고, 각각의 변경요인에 따라 조립유연성을 여섯가지의 부분유연성으로 분류하였고, 그것은 Fig. 9에 제시되어 있다.

조립유연성은 신제품의 개발에 대한 제품유연성, 시장 수요의 불안정에 대한 수요유연성, 조립분야의 기술혁신에 대한 시스템유연성, 조립시스템 구성요소의 고장에 대한 고장유연성, 다양한 공정의 변화에 대한 공정유연성, 그리고 기존 제품의 부분적 사양변경에 대한 모델유연성으로 분류, 정의된다. 각각의 부분유연성은 조립시스템의 조립유연성 결정을 위한 기초정보가 된다.

조립유연성 정도를 산출하기 위해서는 먼저 앞절에서 제시한 여섯가지의 부분 유연성에 대한 분석이 이루어지고, 각각의 부분유연성별로 이에 영향을 미치는 세부영향요소와 관련비용이 조사되어야 한다(Fig. 10).

본 연구에서 조립유연성 평가는 정량적인 평가 결과를 제시함으로써 조립시스템간의 비교가 가능하도록 지향하고 있다. 이를 위하여 조립시스템의 소요비용에 관련하여 몇가지 가정이 필요하다. 이 가정의 범위 안에서 조립유연성 평가를 위한 체계적인 방법을 개발한다.

본 조립유연성 평가에 필요한 가정과 정의는 다음과 같다.

<가 정>

- 1) 조립시스템의 어떠한 내, 외적 변경요인에 대하여도 현 조립시스템은 일정 시간과 비용의 투입만으로 이에 적응, 대처할 수 있다.
- 2) 조립시스템의 적응에 소요되는 시간은 모두 비용으로 변환, 계산된다.
- 3) 조립시스템에 대한 일부분의 운휴 및 생산지연에 따른 기회손실비용이 발생하며 이것은 해당 부분의 현재가치에 대한 일정비율로 미리 결정되는 것으로 한다.

- 4) 조립시스템을 구성하는 각 설비의 설치, 이동, 제거에 소요되는 비용은 미리 일정하게 결정된다.

<정 의>

1) 적응경비(Cost for Adaptation : C_A)-조립시스템의 내, 외적 변화요인에 대하여 현 시스템이 완전히 적응, 대처하기 위하여 발생, 유발되는 제 비용 및 기대손실을 적응경비라 한다.

2) 적응시스템(Adapted System)-현 조립시스템이 위의 적응경비의 투입으로 시스템의 내, 외적 변화요인에 대하여 완전히 대처, 적응한 시스템을 적응시스템이라고 한다.

이상의 가정과 정의를 바탕으로 조립유연성 평가를 위한 유연성 정도의 산출 개념을 정리한다. 첫째, 유연성 정도(F)는 0과 1사이의 값으로 산출되며 백분비로 표시된다.

$$[0\% \leq F \leq 100\%]$$

둘째, 조립시스템의 내, 외적 변화요인에 대하여 현 시스템이 적응, 대처하기 위하여 발생, 유발되는 적응경비(C_A)가 전혀 없으면 유연성 정도는 100%이다.

$$[C_A = 0 \rightarrow F = 100\%]$$

셋째, 변화요인에 대하여 많은 적응경비가 요구되는 시스템일수록 그 유연성 정도는 낮다.

$$[C_A \uparrow \rightarrow F \downarrow]$$

넷째, 조립시스템의 내, 외적 변화요인에 대한 적응경비가 현 조립시스템의 현재가치(V_U)와 똑같이 요구되는 경우, 유연성 정도는 50%이다.

$$[C_A = V_U \rightarrow F = 50\%]$$

조립유연성을 결정하는 평가식은 이러한 유연성 정도의 산출 개념을 충분히 표현해줄 수 있어야 한다.

본 연구에서는 유연성 정도의 산출을 위하여 유연성 지수(Flexibility Index)를 정의한다. 유연성 지수를 f 로 표시하면, 이것은 다음 식과 같이 표시된다.

$$f = \frac{V_U}{V_U + C_A} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 V_U 는 초기의 시스템이 적응시스템과 비교되었을 때 이 적응시스템에서 계속 이용되는 부분에 대한 현재 가치, 또는 초기 시스템의 투자비 중 계속적으로 투자효과를 발휘하는 부분의 투자비를 나타내며 C_A 는 적응시스템에 소요된 적응경비를 나타낸다.

즉, 유연성 지수는 적응시스템에서도 계속 사용이 가

능한 부분의 현재가치와 이에 소요된 적응경비의 총합에 대하여 적응시스템에서도 계속 사용이 가능한 부분의 현재가치가 차지하는 비율이 된다. 조립시스템의 각 부분유연성은 위 식을 근거로 각각 산출될 수 있다.

예컨대, i단위작업장의 j부분유연성 지수를 f_{ij} 로 나타낼 때, f_{ij} 는 다음과 같이 표시된다.

$$f_{ij} = \frac{V_{Uij}}{V_{Uij} + C_{Aij}} \dots\dots\dots(7)$$

여기서 V_{Uij} 는 j부분유연성에 관련된 주 변경요인이 발생하기 전의 i단위작업장이 적응 후의 작업장과 비교되었을 때 이 적응 후의 작업장에서 계속 이용되는 부분에 대한 현재가치, 또는 이 초기 작업장의 투자비용 계속적으로 투자효과를 발휘하는 부분의 투자비를 나타내고, C_{Aij} 는 i단위작업장에서 i부분유연성에 관련된 주 변경요인에 대처하기 위하여 필요한 적응경비를 나타낸다.

이 부분유연성 지수를 다시 백분비로 나타낸 것을 i단위작업장의 j부분유연성 정도라고 하며, F_{ij} 로 표시한다.

$$F_{ij} = f_{ij} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (8)$$

$$= \frac{V_{Uij}}{V_{Uij} + C_{Aij}} \times 100 (\%) (9)$$

4.2.2 단위유연성 정도의 산출

조립시스템은 하나 이상의 단위작업장으로 구성되어 있다. 따라서 각 단위작업장의 부분유연성이 결정되면 이를 기초로 하여 각 작업장의 조립유연성이 결정된다. 본 연구에서는 조립유연성을 여섯개의 부분유연성으로 분류하고 있으므로 임의의 i작업장의 단위유연성 정도를 DOF_i 로 표시하면, 이것은 i작업장의 각 부분유연성으로 나타낼 수 있다.

$$DOF_i = f [F_{i1}, F_{i2}, F_{i3}, F_{i4}, F_{i5}, F_{i6}] \dots\dots\dots (10)$$

조립시스템의 내,외적 주변변 요인에 따른 현 작업장의 각 부분유연성은 서로 다르게 결정되고, 이들 각 부분유연성에 따른 현 작업장의 변경정도도 다르게 된다. 따라서, 각 부분유연성을 기초로 단위유연성을 산출할 때 각 부분유연성이 현 작업장에 미치는 정도에 따라 각각의 가중치를 부과하여 다음과 같이 나타낼 수

있다.

$$DOF_i = \sum_{j=1}^6 \alpha_j \cdot F_{ij} \dots\dots\dots(11)$$

여기서, α_j 는 가중치로서 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^6 \alpha_j = 1 \dots\dots\dots(12)$$

각 부분유연성이 현 작업장에 미치는 정도는 현 작업장의 변경요구 정도로 나타나며 이것은 현 작업장의 어느 정도가 그대로 적응 가능한지의 문제이다. 그러므로 i작업장의 각 부분유연성들은 i작업장의 초기투자에 대한 적응후의 작업장에서 계속 사용되는 부분의 비율로 가중 평가한다.

i작업장의 초기투자를 V_i 로 표시하고, j부분유연성에 따라 계속 사용되는 부분의 가치를 V_{uij} 로 표시할 때 가중치 α_j 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_j = k \cdot \frac{V_{Uij}}{V_i} \dots\dots\dots(13)$$

여기서, k 는 $\sum_{j=1}^6 \alpha_j$ 가 1이 되도록 하는 상수이다. 따라서

$$k = \frac{V_i}{\sum_{j=1}^6 V_{Uij}} \dots\dots\dots(14)$$

가 된다. 이때

$$\sum_{j=1}^6 V_{Uij} = V_{Tui} \dots\dots\dots(15)$$

라 두면, 다시

$$k = \frac{V_i}{V_{Tui}} \dots\dots\dots(16)$$

가 되고.

$$\begin{aligned} \alpha_j &= k \cdot \frac{V_{Uij}}{V_i} \\ &= \frac{V_{Uij}}{V_{Tui}} \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

그러므로 이것을 이용하면, 작업장의 단위유연성 정도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 DOF_i &= \sum_{j=1}^6 \alpha_j \cdot F_{ij} \\
 &= \frac{1}{V_{TUI}} \sum_{j=1}^6 \frac{V_{Uij}^2}{(V_{Uij} + C_{Aij})} \\
 &\times 100 (\%) \quad \dots\dots (18)
 \end{aligned}$$

$$DOF_T = \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^n N_i \cdot DOF_i \quad \dots\dots (19)$$

$$N_T = \sum_{i=1}^n N_i \quad \dots\dots (20)$$

(단, n은 조립시스템내의 전체 단위작업장 수)
 여기서, N_i는 i작업장의 조립 주, 부기능 수를 나타낸다. 이것으로 조립시스템에 대한 조립유연성 정도가 결정되며, 이를 바탕으로 조립시스템의 평가가 가능하다.

4.2.3 조립유연성 정도의 산출

조립시스템의 각 단위작업장에 대한 단위유연성 정도가 산출되면, 최종적으로 전체 조립시스템에 대한 조립유연성 정도가 산출되어야 한다. 조립시스템의 각 단위작업장은 서로 다양한 조립 주, 부기능을 수행한다. 따라서 각 작업장에 대한 조립유연성 정도는 그 작업장의 조립기능 수에 따라 달리 평가되어야 한다.

본 연구의 제3장에서 수행된 조립시스템의 분석에 따라 구분된 조립의 주, 부기능에 따라 각 단위작업장의 단위유연성 정도를 평가한다.

조립시스템의 조립유연성 정도를 DOF_T로 표시하면, 그것은 다음과 같다.

5. 事例研究

본 연구에서 제안된 조립시스템의 자동화 및 유연성 평가방법을 적용하기 위한 사례연구로서 간단한 조립시스템을 설정한다. 설정된 조립시스템은 세 개의 단위작업장으로 구성되어 있다.

5.1 조립자동화 정도 산출

이 조립시스템에 대하여 본 연구의 제3장에서 제시한

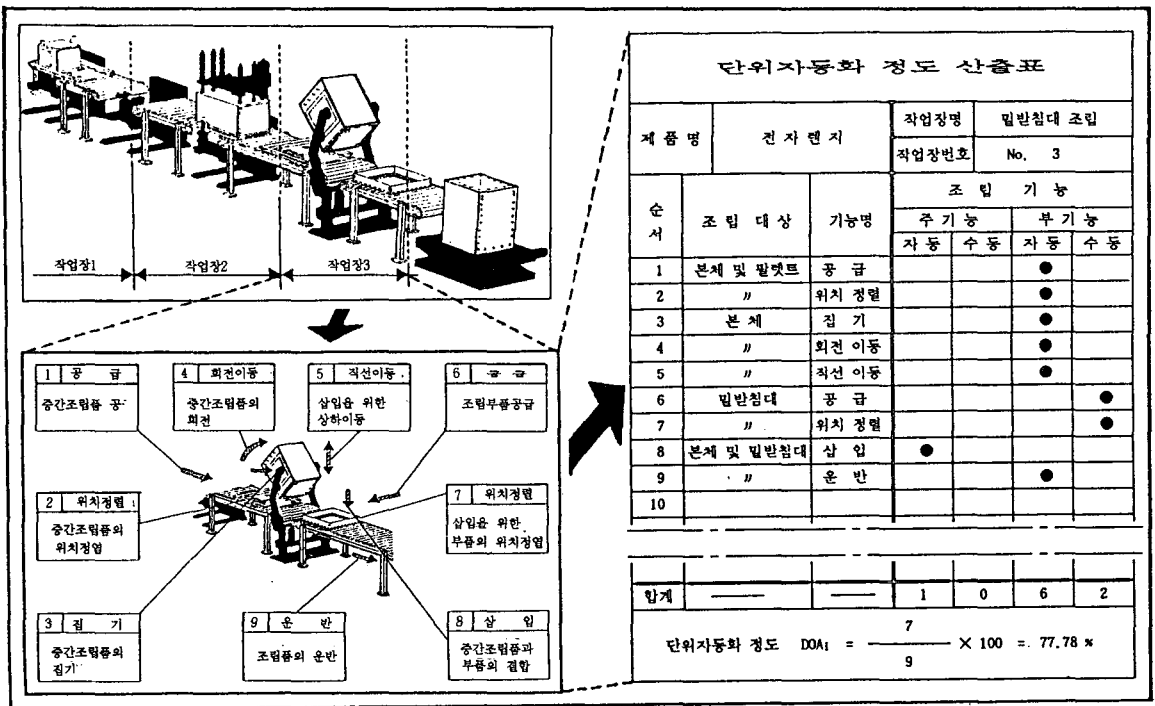


Fig. 11 Process of Calculating Degree of Assembly Automation

조립시스템의 분석이 수행된다. 분석단계가 완료되면 먼저 조립자동화 정도가 산출된다. 이 과정이 Fig. 11에 제시되어 있다.

세개의 단위작업장 중 마지막 작업장은 완제품의 중간조립품인 본체가 자동으로 공급되고 밀받침대가 수동으로 공급되어 자동조립장치에 의하여 서로 자동적으로 조립되는 단위작업장이다. 이 단위작업장의 단위자동화 정도는 조립 주, 부기능을 자동 및 수동으로 분류한 후 식(3)에 의해서 산출된다. 이 단위작업장의 자동화 정도는 자동 조립기능의 수가 7이고, 수동 조립기능의 수가 2이므로 77.78%로 계산된다.

5.2 조립유연성 정도 산출

설정된 조립시스템에 대한 각 단위유연성 정도와 조립유연성 정도가 식(18)과 식(19)를 이용하여 Table 1에 산출되어 있다. 이 조립시스템의 경우 조립유연성 정도는 약 69%이며, 부분유연성별로는 시스템유연성이 88.38%로 가장 높으며 공정유연성에 대하여 가장 낮은 정도를 보여 주고 있다.

Table 1. Chart of Calculating Degree of Assembly Flexibility

조립유연성 정도 산출표 No. 1							
단위작업장 관련비용 부분유연성	i = 1		i = 2		i = 3		DOF _j
	V _U	C _A	V _U	C _A	V _U	C _A	
J = 1	32	16	25	12	20	6	69.38 %
J = 2	35	3	22	8	16	4	83.31 %
J = 3	36	10	23	7	15	9	47.02 %
J = 4	27	30	17	15	21	25	48.78 %
J = 5	18	7	15	18	10	8	59.72 %
J = 6	30	2	24	5	18	3	88.38 %
V _{TU1}	178		126		121		—
N _i	17		12		9		ΣN _i = 38
DOF _i	76.19 %		68.55 %		56.31 %		DOF _T = 69.07 %

◎ 조립유연성 정도 (DOF_T)

$$= \frac{1}{38} [(17 \times 76.19) + (12 \times 68.55) + (9 \times 56.31)]$$

$$= 69.07 \%$$

< 기호 설명 >

V_i : 계속 사용되는 부분의 현재 가치

C_A : 적용 경비

V_{TU1} : i 작업장의 전체 V_U

N_i : i 작업장의 조립 기능수

DOF_i : i 작업장의 단위 유연성 정도

DOF_T : J 부분 유연성

주) 비용단위 생략

6. 考察 및 結論

6.1 개발된 평가방법에 대한 고찰

본 연구에서 제시한 조립시스템 평가방법의 특징에 대하여 정리하면 다음과 같다.

- 1) 여러 조립시스템을 서로 비교, 평가함으로써 시스템 설계자에게 중요한 의사결정을 위한 기초자료를 제공한다.
- 2) 새로운 시스템의 구축을 위한 경제적, 기술적 투자방안과 투자규모에 대한 근거를 제시한다.
- 3) 현재의 생산시스템이 교체되거나 수정될 경우, 하드웨어적인 기준이 될 수 있다.
- 4) 시스템의 관리와 운영, 그리고 생산의 계획 및 조정에 보다 효율적인 방법을 제시한다.

6.2 결 론

본 연구에서는 유연 자동화 조립시스템에서 서로 상충되는 면이 있으면서도 향후 함께 추구되어야 할 과제인 자동화와 유연성을 평가지표로 하여 조립시스템을 평가하는 방법을 개발하는데 그 목적을 두고 있다.

조립자동화 및 조립유연성의 정량적 평가를 위한 사전단계로서 조립시스템이 조립대상, 조립공정, 조립수행체를 중심으로 분석되었다. 조립시스템의 자동화 정도는 단위작업장에서의 세부 기능의 분석과 각 조립기능들의 자동 및 수동의 수행여부에 따라 결정된다. 또 조립시스템의 유연성 정도는 시스템의 내, 외적 변경요인에 대하여 적응, 대처하는데 필요한 경비와 시간의 크기로 평가된다. 이를 위해서 우선적으로 각 단위작업장에 대한 부분유연성의 크기를 산정하고, 전체 조립시스템으로 확장함으로써 조립유연성 정도가 산출되었다.

본 연구의 의의는 유연 자동화 조립시스템의 주된 특징요소인 자동화와 유연성을 평가가표로 하여 조립시스템 구조 측면에서 평가를 수행한 것이며, 본 평가방법에 대한 개념을 전체 생산시스템으로 확장함으로써, 이에 대한 평가도 가능할 것으로 사료된다.

參考文獻

- (1) W. Eversheim : Organisation in der Produktionstechnik, VDI-Verlag, 1981.
- (2) Ulf Holmqvist, Tryggve Sthen : "Flexible Assembly Automation with New Robot

- Station", Toward the Factory of the Future, Springer-Verlag, pp. 461-465, 1985.
- (3) 조규갑 : 생산시스템 공학-증보판, 회중당, 서울, 1986.
- (4) Henning Neerland : "Workplace Organization in Flexible Automated Assembly Systems", Toward the Factory of the Future, Springer-Verlag, pp. 448-452, 1985.
- (5) 황 학 : 작업관리론, 영지문화사, 서울, 1987, pp. 13-23
- (6) Geoffrey Boothroyd, Corrado Poli, Laurence E. Murch : Automatic Assembly, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 1982.
- (7) John P. Tanner : Manufacturing Engineering, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 1985.
- (8) 조형석 : 조립자동화 추진의 현황과 전망, 한국산업기술원, 서울, 1988.
- (9) 목학수 : 조립 SYSTEM과 조립자동화를 위한 제품 설계, 한국산업기술원, 서울, 1988.
- (10) Tony Owen : Assembly with Robots, Kogan Page Ltd., London, 1985.
- (11) Mikell P. Groover : Automation, Production Systems, And Computer Intergrated Manufacturing, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1987.
- (12) 국금환 : 조립자동화 시스템의 개발절차와 사례, 한국능률협회, pp. 135-207, 1990.
- (13) Young Kyu Son, Chan S. Park : "Economic Measure of Productivity, Quality and Flexibility in Advanced Manufacturing Systems", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 6, No. 3, pp. 193-203, 1987.
- (14) D. Gupta, J. A. Buzacott : "A Framework for Understanding Flexibility of Manufacturing Systems", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 8, No. 2, pp. 89-97, 1989.