

Holonic Manufacturing 지향적인 시스템

박홍석*

A Holonic Manufacturing Oriented System

Hong-Seok Park

〈Abstract〉

A mass production system was implemented to reduce a manufacturing cost in a way of copying with a strong world market competition. However customer's demands are changing so rapidly and the mass production system is no longer competitive to meet the demands. FMS(Flexible Manufacturing System) has been introduced as a replacement for the mass production system, but it still does not meet system's requirements.

A new manufacturing system, called a holonic manufacturing system (HMS), is emerging. This paper is giving a first approach of a HMS for a multirobot cooperative process.

1. 서론

기업의 특성에 꼭 맞는 생산체제를 유도해내는 법칙이 없다는 것은 확실하다. 기업의 생산방식은 주어진 조건을 충족시키면서 각각의 특성에 맞게 구하여지고, 외적 환경에 잘 적응해야만 한다. 오늘날의 복잡한 상황과 빠르게 변하는 주위환경 때문에 우리는 최적화의 과정과 불합리한 점과의 투쟁에서 결코 벗어날 수 없다. 이것은 향상에 대한 지속적인 노력이 요구된다는 것을 의미한다[1,3].

생산 구조는 가치 창조를 위한 전개 과정에서 인적, 조직적, 기술적 및 정보적 상호연관성을 기술한다. 제조는 제어된 에너지를 수단으로 정보를 물질화시키는 것이라고 생각할 수 있다. 이것으로 보아 향후 생산 시스템에서 정보처리의 비중이 점점 더 증대될 것이다. 그러므로 생산의 합리화를 위해서 우리는 가능한

정보처리량을 줄여야 한다[4,6]. 이에 대처할 수 있는 생산구조는 적당한 정보교환 수단에 의해 연결된 자주적인 단위들의 결합으로 이루어질 것이다. 이 단위를 Holon이라고 부르며 정보나 물체를 변형, 이동, 저장 및 수송하는 등의 행위를 하고 기업의 중심적인 구성요소가 된다. 이것의 중요한 성질로는 자체 변화력, 자체 조직력, 생동력과 목표 추적의 능력 등이 있다 [7]. 이러한 기본적인 성질과 상호 협동적인 작용으로 기업은 외적인 환경변화에 스스로 적응할 수 있는 동적인 시스템이 될 수 있다.

이 새로운 개념을 구체화시키고 현장 응용 가능성을 제시하기 위해 본 논문에서는 주어진 과제의 수행 중 발생하는 오류로 인해 작업이 중단되는 기존 시스템과 달리 협동적인 작용으로 스스로 문제점을 해결하여 생산을 지속적으로 가능하게 하는 시스템을 소개하고자 한다. 이를 통해서 시스템의 정보흐름과 제

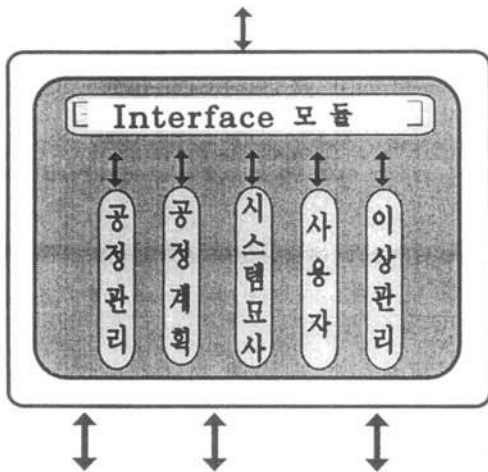
* 울산대학교 기계공학과

어를 위한 구성 요소 등을 설명한다.

2. 제어구조

HMS 시스템의 제어는 내적으로 주어지거나 고정된 것이 아니다. 외적변화, 즉 주어진 과제에 적응해야 한다. 또한 최적화의 과정도 고정된 알고리즘(Algorithm)에 의해 행해지는 것이 아니다. 이로써 과제나 장치의 변화에도 프로그램(Program)의 기본구성은 직접 큰 영향을 받지 않게 된다. 이러한 시스템의 연구를 위해서는 정보처리와 제어를 주관하는 독립적인 운영단위가 개발되어야 한다.

이를 위해서 Holon의 개념인 자주·독립적인 성격을 갖도록 여러 가지 기능들을 담당하는 모듈로 구성된 단위를 고안하여 <그림 1>에 나타내었다. 각 모듈은 독립적으로 임무를 수행하도록 하였다.



<그림 1> 시스템 제어단위

공정관리 모듈은 과제의 접수, 실행해야 할 과제의 선택, 수행을 위한 정리 및 과제의 실행 여부 등을 관리한다.

공정의 최적 수행을 위한 계획은 공정계획 모듈에서 담당한다. 이 모듈은 상황변화, 즉 새로운 과제나 공정의 종료 등에 의해 작동된다. 공정계획을 위해서는 시스템의 실제상태와 실행할 다음 단계를 비교하여 가능한 해들 중에서 평가기준에 의해 판단되어 최

적의 해가 선정되도록 한다.

시스템 묘사기능에서는 시스템내의 구성요소를 그래픽으로 나타내어 동작상태와 불합리한 점이 바로 인식되도록 한다. 그 밖에도 이 그래픽모델에 모듈 창을 만들어 텍스트(text)의 형태로 저장된 중요한 정보(현 수행과제, 재고상태등)를 볼 수 있게 하고, 줌(zoom)기능을 갖도록 하여 구성요소의 특정부분도 자세하게 관찰될 수 있도록 한다. 이렇게 함으로써 사용자는 전체 시스템의 상호 연관성이나 필요에 따라 부분적인 상세 정보를 얻어 시스템의 모순점을 찾아 최적화를 추구할 수 있다.

이상관리 모듈은 Sensor나 Actuator를 통해서 각 기기의 상태나 공정상의 문제점을 파악하여 필요시 Interface 모듈을 통해 시스템 내의 다른 셀(Cell)에 협조를 구한다. 또한 고장 이력 상태를 관리하여 저장하고 반복고장일 경우에는 동일한 조치를 취하도록 한다.

위의 각 모듈들은 Interface 모듈을 통해 상호 연결되어 협동적으로 일하여 주어진 과제를 성공적으로 수행하게 한다. 또한 시스템내의 다른 기기들과도 정보교환을 가능하게 하며, 이들간의 정보교환은 Pre-/Post-processor를 통한 중립모델을 통해 이루어지게 한다.

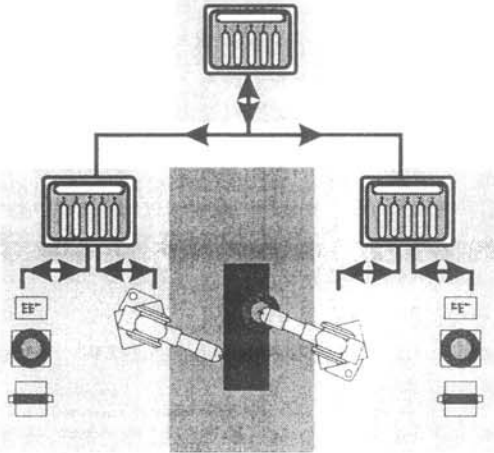
위에 소개된 모듈전부를 개발하여 완전한 HMS를 구축하는 것은 쉽지 않다. 각 Holon들은 끊임없이 현 상태를 파악하고 공동의 목표를 추구하므로 HMS는 무엇보다 협동적인 측면을 강하게 요구한다. 따라서 다음에 공정상의 문제점을 상호 협력으로 해결하는 이상관리 모듈의 개발에 중점을 두고자 한다.

3. 시스템 응용

HMS의 개념을 차체에 타이어를 부착하는 조립 셀의 구축을 통해서 응용하고자 한다. 두 개의 조립셀로 구성된 시스템에서 두 로봇이 각 셀에서 주어진 과제에 따라 작업을 수행하면서 문제 발생시에 상호 정보 교환을 통해 협동적으로 작용하여 Knowledge-base에 의해 스스로 해를 구하는 자주 협동적인 시스템을 구성하고자 한다.

3.1 시스템의 구조

시스템의 특정부분을 각 운영단위가 관리하는 자주협동적인 시스템의 구현을 위한 시스템의 제어구조는 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 2> 자주협동적인 시스템의 제어구조

두 조립셀은 각각 하나의 셀 컴퓨터에 의해 독립적으로 제어되고, 상위층의 컴퓨터에 연결되어있다. 각 컴퓨터에는 <그림 1>에 소개된 운영단위가 사용되어 공정을 계획하고, 문제 발생시 협동적으로 해결하게 한다. 상위층과의 관계에서도 각 조립셀의 운영단위가 종속적이라기 보다는 협조 체제를 이룬다. 상위층의 지시는 하나의 참고 사항으로 인정되어, 셀의 현 상태에 따라서 지시사항이 보완된다. 그리고 협의한 내용은 상위층에 연락되어 공정수행에 차질없는 계획이 되도록 한다.

소개된 제어구조는 다층으로 구성된 기존의 계층적인(hierarchy)구조를 외관상으로는 갖지만, 시스템의 특성은 아주 다르다. 기존 구조의 각층은 최하위층에서 어떤 물리적인 행위를 수행할 때까지 하위의 층으로 고유의 임무를 계속 분산한다.

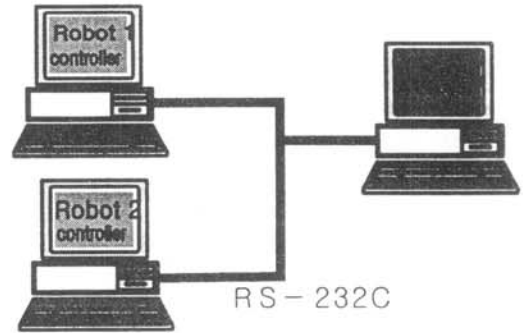
임무의 수행여부는 같은 방법의 역방향 정보흐름으로 파악한다. 즉, 최하위층에서 센서에 의해 실행여부를 감지하여 그 정보를 상위로 보낸다. 그러므로 각 층에서는 다음 상위의 층에 관련된 정보를 추출하기

위해서 입력 자료를 분석하고 처리하므로 엄격한 상·하 종속적인 관계를 갖는다. 이러한 구조는 경직성을 나타내므로 급격한 변화를 요하는 차세대 생산시스템의 요구사항을 충족시킬 수 없다. 또한 층별로 분산된 구조에서 가능한 것보다 더 시급히 상위층에서 정보가 요구될 경우에는 계층(hierarchy)구조는 지원할 수 없다.

반면에 위에 소개된 시스템의 조직구조는 훨씬 경직성이 없이 연결되어, 각 하위 시스템들은 자주적으로 의사결정을 하면서 독자적으로 행동한다. 상위 시스템과의 연결관계는 전체 시스템의 공동 목표를 달성하기 위해 협조체제를 구축하고 있는 것뿐이다.

전체시스템의 제어는 PC에 의해 구현되어질 수 있다. 컴퓨터 네트워크로는 Ethernet 등을 이용하며 통신은 TCP/IP 등을 통해 가능하다.

이런 방법으로 현장의 기기를 연결하여 조립 시스템을 구성할 수 있으나 많은 경비를 고려하여 본 연구에서는 <그림 3>과 같은 실험환경을 구축하여 협동적인 측면을 강조한 시스템이 되도록 하였다.



<그림 3> 협동적인 시스템의 모델

각 조립셀은 각각의 Controller에 의해 동시에 독립적으로 운영된다. 제어를 위한 PC간의 연결은 시리얼 접속으로 RS-232C를 이용하여 이루어졌다. 시스템에서 실제 조립셀 부분은 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 모델화하였다. 다음절에 모델링하는 방법을 소개한다. 이것은 시스템 묘사 모듈의 기능을 담당하는 시스템 주변환경 모델이 될 수 있다.

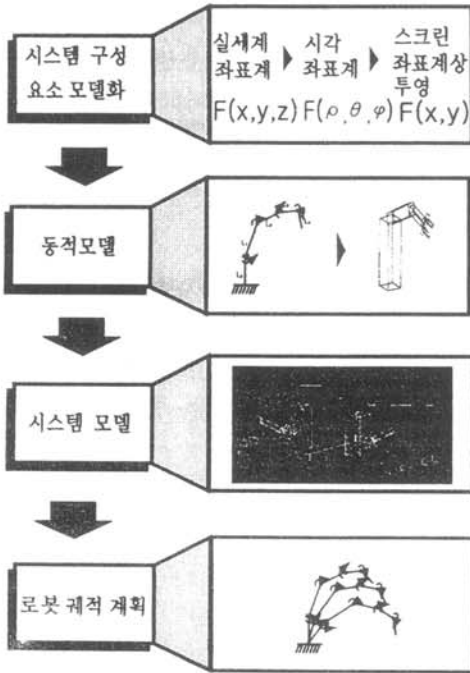
이로부터 로봇 프로그램에 필요한 모든 기술적인

데이터와 공정상태 등에 대한 정보를 얻을 수 있다. 또한 작성된 프로그램의 시험과 로봇 경로 계획 등에 이용될 수 있다.

그 외에 시스템 운영을 위해 요구되는 공정계획 및 관리모듈이 담당할 조립계획과 작업관리 등은 Interface 모듈을 통해 사용자와 시스템간의 대화로 이루어지게 하였다.

3.2 시스템의 모델화

조립 과제를 수행하기 위해서는 로봇, 공구와 여러 가지 보조 도구들(공구대, 치공구 등)로 구성된 조립 시스템이 필요하다. 이러한 도구들의 기하학적인 형상과 운동학적인 특성을 모델링하는 방법을 <그림 4>에 나타내었다.



<그림 4> 시스템 모델 구성 과정

조립 시스템 구성 요소들의 입체적인 구조는 3단계로 이루어진 알고리즘에 의해 스크린상에 구현된다. 이것으로써 2차원 화면에서 3차원 물체를 현실감있게 나타낼 수 있다. 첫번째 단계에서는 직각좌표 공간의

실세계 좌표계에서 물체형상의 좌표값을 정의하고, 다음으로는 시각 좌표계의 위치와 방향을 결정하고 앞에서 정의한 좌표값들을 시각 좌표계의 값으로 변환시킨다. 마지막으로 원근 투영원리를 적용하여 스크린상에 이미지를 구현시킨다.

동적인 모델을 이용하여 위의 과정으로 생성된 구성요소들의 형상모델의 각 요소에 운동특성을 부여한다. 운동학적 특성으로 모델링하기가 까다로운 로봇에 대해서는 각 링크의 관계식으로 로봇의 형상과 로봇의 움직임을 나타내었다. 로봇의 각 링크들의 좌표계는 Denavit-Hartenbeg의 행렬 대수를 이용하여 기준 좌표계에 대한 상대적인 위치와 방향으로 표현하였다. 이 링크식들을 동차변환행렬(Homogenous transformation matrix)에 대입하여 로봇을 모델링하였다. 본 프로그램에서의 로봇은 5자유도를 갖고 4개의 링크들로 구성되어진다. 프로그램 언어 C에 의해 본 프로그램은 개발되었다.

이렇게 하여 완성된 모델들을 시스템 모델 과정에서 실제 조립 cell의 작업 환경에 맞게 스크린 상에 구현한다. 이 과정에서 로봇의 작업 범위와 공구대의 위치와 부품 교환을 위한 공동 공구대의 위치를 적절하게 공간상에 배치하여 작업이 원활하게 수행되도록 하였다.

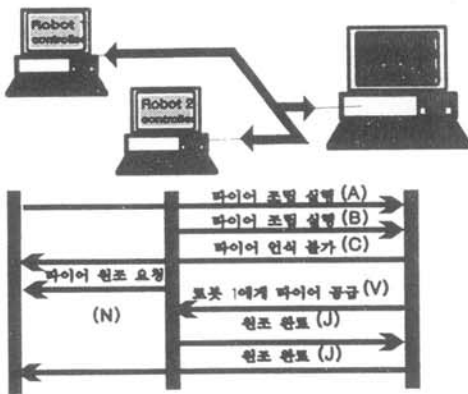
로봇 궤적 계획 과정은 로봇이 하는 조립순서에 따라 작업수행을 가능하도록 한다. 이를 위해 경로상에서 충돌이 일어나지 않도록 하고, 작업점에 정확하게 도착하여야 한다. 로봇의 작업점은 실세계좌표계에서 직각좌표계의 좌표점으로 표현되어진다. 따라서 이 좌표점들을 따라 로봇의 각 링크의 위치와 변위는 역기구학(Inverse Kinematics)에 의해서 결정된다. 로봇의 링크들의 각도가 변할때 한 작업점에서부터 다음 작업점까지를 로봇경로 이동으로 보는데 그 사이를 20 등분으로 나누어 이동하도록 되어있다. 이렇게 얻어진 정보는 로봇의 프로그램을 위한 자료(Data)로 이용되어지도록 하였다.

3.3 정보흐름 및 처리

각 Controller와 Simulation된 기기 들과의 정보교환

은 메시지에 의해 이루어진다. 한 메시지는 어떤 사건, 예를 들면 실행명령, 이상감지, 완료명령 등의 기술로 구성되며 문자로 표시하여 나타내었다.

타이어 조립 시스템의 운전중 나타날 수 있는 오류로는 시스템의 고장으로 인한 오동작 등이 있을 수 있으나 두 조립셀의 상호협력으로 해결할 수 있는 오류로는 타이어나 나사의 비존재 등을 들 수 있다. 이들을 감지하기 위한 센서기능과 그에 대한 대책은 Knowledge base로 이를 구축하여 이용하였다. 이런 바탕하에 발생하는 문제점을 자주적으로 해결하기 위해서는 두 조립셀 간에 협동적인 작업의 수행이 요구된다. 타이어가 존재치 않는 경우에 대한 상호협력력을 위한 Controller와 작업셀간의 정보교환흐름 즉 통신절차를 <그림 5>에 나타내었다.

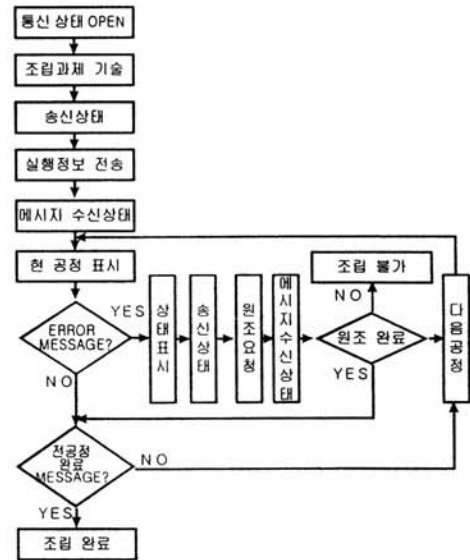


<그림 5> 협동적인 작용을 위한 통신절차

시스템은 메시지에 따라 작동하므로 각 Controller는 작동중 항상 메시지를 받을 수 있도록 수신 가능한 대기상태에 있어야 한다. 조립 실행 명령, 타이어조립 (A, B)에 따라 로봇이 작업을 수행하며, 이상 발생시 프로그램에 주어진 센서기능으로 감지하여 Controller에게 error메세지(예를 들면 타이어 인식불가(C))를 전송하고 Home position에서 대기한다. 메시지를 접수한 Controller는 중단된 작업내용을 기억하고 상대방에 메시지, 타이어 공급(N)으로 협조를 구한다. 이에 따라 상대 Controller는 현재 진행중인 작업을 완료하고 그 상태를 기억한 후 로봇에게 원조 지시(V)를 내린다. 원조 완료 후 로봇은 각 Controller에게 완료 메시지

(J)를 전송하면, Controller는 중단된 작업내용을 파악하여 그 곳에서부터 작업을 진행시킨다.

간단한 통신을 위해 메시지를 대표하는 문자를 사용하였으나 실제 현장의 많은 기기들과 정보교환을 위해서는 통신 프로토콜(Protocol)에 의존하는 것이 바람직하다. 협동을 위한 통신과정의 기초 위에서 개발된 Controller Program의 작업방법을 <그림 6>에 소개하였다. 이의 개발에 현대 자동화 장비 controller에 널리 이용되고 있는 프로그램 언어 C를 사용하였다.



<그림 6> 협동적인 작업을 위한 Program 진행과정

조립셀의 컨트롤러로 이용된 각 컴퓨터간의 통신을 위해 먼저 통신포트(Port)를 연다. 작업의 수행을 위해서 각 컴퓨터상에서 조립 과제와 작업공정이 Interface 모듈과 대화를 통해 기술되고 송신 상태에서 작업내용을 전송한 후 수신 상태로 되어져 외부 신호를 받을 수 있도록 한다. 왜냐하면 송신과 수신이 동시에 행해지는 것이 아니기 때문이다. 전송된 작업의 실행은 시스템 모델, 즉 시뮬레이션된 조립셀에서 일어나며 그 때의 작업상황이 Controller 화면에 가시화된다. 협조가 필요할 시에는 시스템 모델로부터 error 메시지가 접수되고, 그 내용에 따라 문제해결을 위한 상호 협동이 이루어지도록 하였다. 이렇게 함으로써 통신 기법에 의한 정보 교환으로 자체적으로 문제를 해

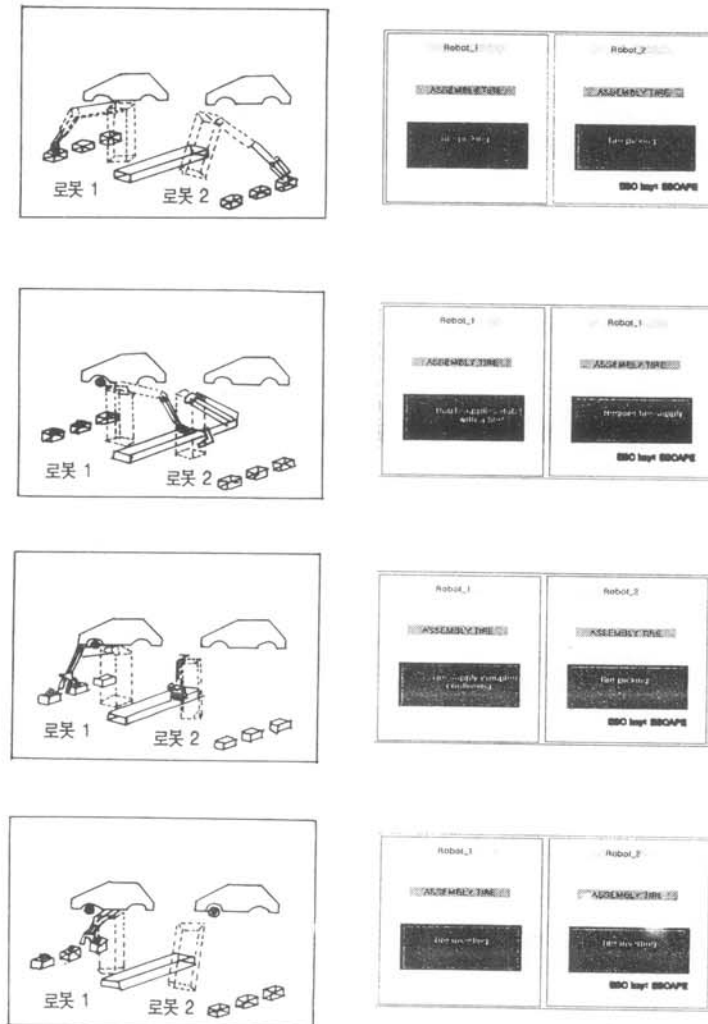
결하여 두 조립셀의 공동목표인 작업이 중단되는 일이 없이 생산 가능하도록 하였다.

3.4 실제 작업에

개발된 프로그램에 의해 시스템 모델상에서 타이어가 존재치 않는 경우에 대해서 두 로봇이 협동적으로 작업하는 일련의 과정을 <그림 7>에 나타내었다. 조립셀에서의 작업상황은 그림 7의 왼쪽에 나타내었으며, 오른쪽의 그림에는 각 조립셀의 controller 화면으로서 작업의 내용을 작업자에게 보여주어 작업의 진

행상태를 파악할 수 있게 하였다.

제일 상단의 그림은 로봇들이 타이어작업 명령을 받아 타이어를 잡는 동작이다. 그 다음은 타이어 부재인식에 의한 로봇 2의 협조요청에 의해 로봇 1은 먼저 기존 수행중인 작업을 완료한다. 그 후 로봇 1은 로봇 2의 문제점을 해결하기 위해 공동 작업구간인 작업대에 타이어를 공급한다. 이 작업의 수행중 로봇 2는 Home position에서 대기한다. 세번째 그림은 로봇 1의 지원에 의해 중단되었던 작업을 진행하기위해 로봇 2가 작업대에서 타이어를 집는 것을 보인다. 가장 아래 그림에서 로봇 2는 차축에 타이어 조립을 시도



<그림 7> 타이어 비존재에 대한 협동 작업

하고, 로봇 1은 수행되었던 작업의 내용은 기억하여 그 다음 작업을 재개한다. 이렇게 로봇 1이 지원하는 동안에 로봇 2에게 필요한 타이어는 작업사에 의해서 공급되어 동일한 오류가 발생되지 않도록 한다. 기존 시스템에서는 이런 상황하에서는 조립이 중단될 수밖에 없었으나 HMS에서는 상호협력에 의해 생산을 지속할 수 있다.

4. 결론 및 전망

자체 조직력, 진단력, 변화력을 갖는 HMS 시스템이 지향하는 바는 동적인 외적 환경변화에 신속하게 대응하는 생동감있는 조직이 되는 것이다. 본 연구에서는 이러한 방향으로의 발전을 위해 자주 협동적으로 작용하는 시스템을 개발하고자 하였다. 이를 위해 여러 가지 기능을 담당하는 모듈들로 구성된 시스템 운영단위를 개발하였다.

조립 시스템에서 발생한 문제를 외부의 도움없이 시스템 구성요소들의 상호협력으로 해결하는 법을 보였다. 이를 위해 먼저 조립셀에서 발생할 수 있는 오류를 분석하여 그에 대한 대책을 Knowledge Base로 구축하였다. 이에 기반을 두어 조립과제의 기술에 의해 서로 통신에 의한 정보교환으로 조립 수행시 발생하는 문제점을 스스로 해결하는 프로그램을 개발하였다. 이것으로 오류에 의해 작업이 중단되던 기존 시스템과는 달리 지속적인 생산이 가능하도록 하였다.

협동적인 시스템의 개발과 시험을 위해서 많은 경비를 요하는 Hardware부분(로봇 및 주변장치)은 PC상에서 시뮬레이션 프로그램으로 개발되어 로봇 프로그램에 필요한 주변 환경 모델로 이용되도록 하였다.

Holonic Manufacturing적인 사고를 실제 시스템으로 전환하기 위해서는 이를 추진하기 위한 방향제시가 요구되어 진다. 개발된 시스템은 HMS로 향한 시험단계라 할 수 있으며 체계적인 설계기술의 최종해라고는 볼 수 없지만 도약을 위한 발판이라고 간주할 수 있다.

【참 고 문 헌】

- [1] Engel, A., "Beyond CIM : Bionic Manufacturing Systems in Japan", IEEE EXPERT, August, pp. 79-81, 1990.
- [2] Kuehnl, H., "Wege zur fraktalen Fabrik", io Management Zeitschrift, Vol 62, No 4, pp.66-71, 1993.
- [3] Ueda, K., "A Genetic Approach toward Future Manufacturing Systems", Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, 1993.
- [4] V. Brussel, H., "The Vision Matching the Problem", 1st European HMS Conference, December, pp. 10-17, 1994.
- [5] Toenshoff, H.K. and Gloeckner, M., "Production Management by Detecting and Avoiding Chaos", Production Management Methods, IFIP, pp.133-139, 1994.
- [6] Kidd, P. T., "Agile Manufacturing", Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
- [7] 박홍석, "생산구조의 혁신", 산업공학, 제8권, 제2호, pp. 185-197, 1995.



박홍석

1979년 한양대학교 기계공학과 학사
 1987년 RWTH Aachen 생산공학과
 Dipl.-Ing
 1992년 Universitaet Hannover 생산
 공학과 박사
 1980~87년 한국과학기술연구원 연
 구원
 1987~92년 IFW연구원
 현 재 울산대학교 기계공학부 부
 교수
 관심분야 공정설계자동화, IMS, 제조
 정보시스템