

가공 Shop의 제어를 위한 의사결정지원 시스템

박홍석 · 서윤호

울산대학교 공과대학 기계공학부

A Decision Support System for Machining Shop Control

Hong-Seok Park · Yoon-Ho Seo

Conflicts and interruptions caused by resource failures and rush orders require a nonlinear dynamic production management. Generally the PP&C systems used in industry presently do not meet these requirements because of their rigid concepts. Starting with the grasp of the disadvantages of current approaches, this paper presents a control structure that enables system to react to various malfunctions using a planning tolerance concept. Also, production processes are modeled by using Fuzzy-Petri-Net modeling tool in other to handle the complexity of job allocation and the existence of many disparities. On the basis of this model the developed system support the short-term shop control by rule based decision.

1. 서론

서로 다른 자동화 정도를 가진 기계로 구성된 가공시스템에서의 가공계획의 특징은 제안된 계획의 잦은 변동과 이종의 항상 변하는 부품들에 의해서 두드러지게 표현된다. 이로 미루어 가공 공정 절차 계획이나 제어 등에 많은 사항이 고려되어야 한다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 산업현장의 생산계획은 계층구조로 이루어진다. 지금까지 생산계획은 PP&C (Production Planning & Control) 시스템 등에 의존하여 어느 정도 수행되어 왔다. PP&C는 전 생산분야의 일정, 자재, 부하 측면에서 생산흐름을 조직적으로 계획 및 제어와 감시를 하는 일종의 컴퓨터 시스템이다. 현장에 적용되는 대부분의 PP&C 시스템은 전체 공장의 물량을 고려하여 중·장기간의 시간대를 기준으로 계획되고 현장의 요구상황은 대개 거의 무시되고 있는 실정이다. 그래서 부하, 생산일정, 자재, 작업배분 등의 계획이 요약적이며 상세화되지 못하였다. 이를 바탕으로 각 부서에서는 단기 생산계획을 수립하여 실행하는데, 계획의 가장 작은 시간대일지라도 대개 하루 이상이었으므로 이를 실행할 때 예측 못한 장애, 긴급 주문 등의 계획 변경요인이 발생하면 이를 기반으로 현장에서 계획을 재수립하기는 매우 어려워 주로 작업자나 계획자의 지능에 맡겨졌다.

이와 같은 현장의 돌발 변수에 의한 동적 생산계획 문제를 해결하기 위하여 HMS (Holonc Manufacturing System) 개념(박홍석, 1995; Bongaerts *et al.*, 1995; Amos *et al.*, 1996)과 Neural Network,

Fuzzy 등의 지능화 기법(Porter and Zadeh, 1997; Evershiem and Hack, 1996) 등을 활용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 이러한, 기존의 연구를 살펴보면 대부분이 아직 현장에 적용하기에는 부족한 점이 발견되는 것이 사실이다. Pritschow에 의하여 개발된 의사결정 시스템들은 아직 System의 지능화 단계가 아니라 작업자의 기능을 높여 제어하거나, 제어의 범위가 한 두 공정, 한 두 개의 기계, 하나의 제품과 같이 아주 소 규모여서 복잡한 현장에서 실질적인 지원을 하기에는 곤란하다(Weck and Sonnenschien, 1998; Pritschow *et al.*, 1998). 또한 가공 시스템의 지능화에 있어서 실시간 Scheduling이나 제어를 하는 연구는 가상 시스템의 시뮬레이션을 통한 실험으로 현장에서 돌발적인 상황이나 경험적 지식을 배제하고 있어 사건 사고가 다양한 현장에 적용하기에는 어렵다(Ulieru, 1997; Dilts *et al.*, 1991). 그리고 현장에서 발생하는 요구조건들의 제어에 대한 연구들 또한 여러 분야에서 연구를 시도하고 있지만 가공 시스템 전체에 적용하지 못하고 버퍼나 특정 공정과 같이 부분적으로 적용하고 있어 전체 생산 계획 시스템에 응용하기에 체계적이고 전반적인 지원을 하지 못하는 실정이다(Chen and Wu, 1996; Evershiem and Hack, 1996).

본 연구의 목적은 작업현장의 동적인 계획변경 요인에 대응할 수 있는 방법을 제시하려는 것이다. 이를 위하여 생산중 다양한 돌발요인을 고려하여야 하는 지그(Jig)가공공장을 대상으로 현실 문제를 분석하였으며, 이와 같은 현실인식 하에 계획 공차 개념의 적용과 Fuzzy-Petri-Net Modeling 기법에 의한 시스템 모델링을 통하여 단기간의 외적 환경변화에 적용할 수 있

는 의사결정지원시스템 (Decision Support System)을 개발하고자 한다.

2. 대상시스템의 현상 해석

시스템이 상황변화에 유연하게 대응할 수 있기 위해서는 각 작업장 사이에 수평적인 정보흐름 체계를 가지고, 가공순서, 도구사용 및 장애처리, 수송 등에 대해 자주적인 결정을 내리고 필요에 따라 협동을 할 수 있는 능력을 가지고 있어야 한다. 이러한 이유로 상위컴퓨터에 의해 종속적으로 운영되는 자동화시스템보다 작업자에 의해 부분적으로 자주적인 결정을 내릴 수 있는 수동시스템을 연구의 대상으로 삼았다.

2.1 대상 시스템 현황

아래 <그림 1>은 대상 생산시스템의 생산계획 방법을 블록도 형식으로 표현한 것이다. 생산관리과는 각 품목별 납기계획과 설계 도면을 기반으로 월간 일정계획을 수립한다 (중기 생산계획). 이 때 수행되어야 하는 작업량은 Shop의 가공능력에서 예상 수정작업량을 제외한 나머지를 기준으로 산정되며, 예상 수정작업은 전년도 실적에 바탕을 두어 추정한다. 현재 본 공장에서는 긴급주문 및 장비 고장 등의 계획변경 요인을 고려하는 동적인 재생산계획 방법의 부족으로 인하여 Shop 능력의 40% 정도만이 새로운 제품의 생산계획에 이용되며, 나머지는 불규칙적으로 발생하는 긴급/수정 작업을 처리하는 데 소모되고 있는 실정이다.

중기 생산계획을 기반으로 가공 실무부서에서는 각 장비와

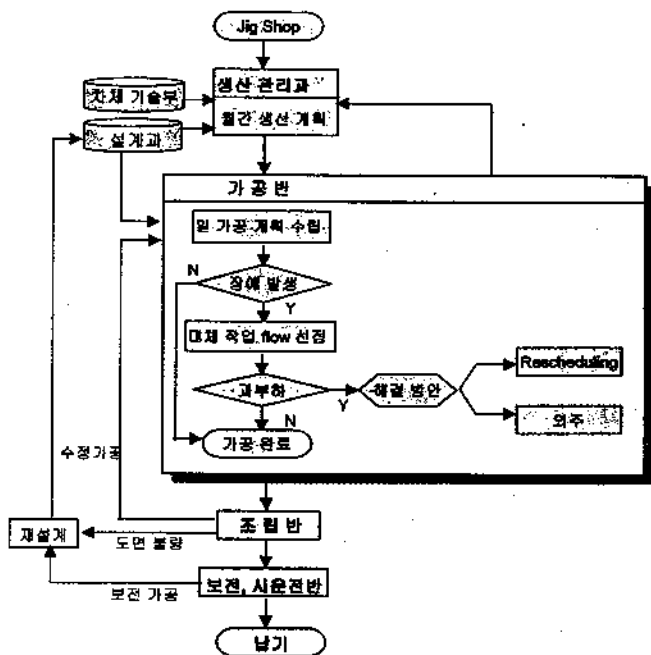


그림 1. 대상 작업장의 생산계획 Flow Chart.

작업자들의 능력을 고려하여 일일 생산계획을 수립한다. 예상 못한 장애 발생시 작업반장이 장애 발생시점에서의 장비 부하를 고려하여 추가 공정 및 대체 경로를 선택/판단하여 응급조치하기 때문에, 수정 요구량이 클 경우 적정 생산계획을 재수립하기는 어려우며, 단순히 정규작업일정을 미루거나 외주를 줌으로써 이를 해결하고 있는 실정이다. 가공완료된 부품들은 조립 작업장으로 운반되며, 조립시 발생하는 수정작업은 가공반으로 되돌려져 재작업을 요하는 장애로 처리되며, 조립된 지그는 보전, 시운전반에서 검사를 거쳐 납품할 준비를 마친다.

이를 통하여 볼 때 생산 현장에서는 각종 장애 발생을 예측하고, 이를 포함하는 생산계획 수립을 위하여 여유생산능력을 고려하지만 실제 장애 발생시 정규 계획과 충돌이 생기고, 공정중 과부하가 발생하여 정규 계획조차 납기를 맞추는 데 어려움이 있음을 알 수 있다.

2.2 발생 사건의 종류와 작용

본 논문에서 생산계획에 영향을 끼치며 정상적인 생산을 방해하는 사건을 생산장애라 한다. 장애는 형태에 따라 주문, 공정 진행, 도구의 운영상태와 이들의 이용상황, 공작물의 위치와 상태 등 생산에 관련된 모든 면에서 발생가능하며, 생산시스템 및 공정의 상태변화를 초래한다. 생산장애는 주문이나 후 공정에 영향을 끼쳐 정해진 가공계획수행을 어렵게 만든다. 그러므로 이들의 종류와 작용을 정확하게 파악하여 이들의 작용을 제거하거나 줄일 수 있는 대책을 수립해야 한다. 대상시스템에서 공정계획에 영향을 끼치는 사건들을 수집하고, 그로 인한 작용과 제거를 위한 현장조치를 부품, 장비, 도구의 측면에서 크게 세 가지로 분류하여 아래 <표 1>에 요약하였다.

부품에 대한 장애로는 가공품의 치수 및 도면 불량으로 인해 재가공이 요구되는 경우, 잘못이 발생한 공정으로 되돌아가 재가공한다. 이런 경우 부품의 후속 공정들이 지연되고, 불

표 1. 장애의 종류와 작용

장애의 종류	작용	현장 조치	
재가공	가공품 치수 불량 공정장에 의한 가공 불량 도면 불량(가공 중 인식)	▶부품의 후속 공정 지연 ▶불량공정의 후속 Order 지연	재가공
가공불량	가공 중 불량품 발생	▶부품의 전 공정 지연 ▶부품에 관련된 공정의 후속 Order 지연 ▶부품의 후속 공정들이 취소되어 후속 공정들의 부하 감소	재생산 재계획
설계변경	도면불량(조립 시) 시작시 설계변경 보전 용이성	▶부품의 전 공정 지연 ▶부품에 관련된 공정의 후속 Order 지연	재설계 재계획
수정가공	조립 시 간섭 발생 Pin Hole 불량 리드 불량	▶각 해당 공정의 Order 지연	용관, 연삭 NC Hole 가공 연삭
장비	M/C 기동 초기의 Emr 잘못된 프로그래밍	▶장비에 관련된 Order 지연 ▶지연되는 Order의 후속 공정 지연	대체장비 선정 프로그램 수정
구	공작물과의 간섭으로 드릴 파손 Sawing 공구 파손 (Wire - Cutting에서 Wire 절단의 수선은 1분 내 처리 가능) 가공 중 절삭유 부족 작업자 사고, 조외 리드구 파손은 거의 발생하지 않음	▶적은 시간으로 쉽게 해결할 수 있지만 빈도가 높고 누적되면 도구들에 의해 가공되는 Order 지연 ▶지연되는 Order의 후속 공정 지연 ▶해당 작업자의 해당 공정에 관련된 Order가 대체공정 선정	드릴 교환 커터 교환 절삭유 재보급 대체공정 선정

량이 발생한 공정의 후속 주문들도 함께 지연이 일어난다. 반면 가공불량으로 재생 가능성이 없을 경우는 불량처리하고 재생산에 들어가지는 재계획으로 다음 가공 계획 수립시에 고려한다. 불량이 발생한 즉시 재생산에 들어가면 해당 부품의 전 공정은 물론 부품에 관련된 공정의 후속 주문들도 함께 지연된다. 하지만 재계획으로 처리될 경우는 부품의 후속 공정들이 취소됨으로 인해 후속 공정들의 부하를 줄이는 효과를 가져오기도 한다. 그리고 가공, 조립이 끝난 후 최종 부품의 불량 원인 분석과정에서 도면불량, 시작차 제조 후 모델 변경, 추후 고장발생 방지가 유자, 보수의 용이를 위한 보전 가공 등의 이유로 인한 설계변경이 있다. 일단 가공이 완료된 후 발견되는 불량으로 인하여 설계실에서 설계 변경 후 재계획되어 가공에 투입되면 부품에 관련된 전 공정과, 공정의 후속 주문들이 지연된다. 또 조립과정에서 발견되어 몇 가지 공정의 추가로 부분적인 수정만 가하면 해결되는 부품들로 구성된 수정가공이 있다. 대부분 부품들의 면삭 공정, 구멍의 위치나 치수, 각도와 경사진 면의 불량인 경우이고 해당공정에서만 과부하를 초래하여 주문을 지연시킨다.

장비에 대한 장애에는 기계의 구동 초기에 발생하는 공구교환 및 프로그래밍 오류가 있다. 이는 장비에 관련된 주문과 주문의 후속 공정까지 지연되어 주로 대체장비를 선정하여 해결하고 있다. 도구에 대한 장애들은 공작물의 간섭으로 공구가 파손되거나, 가공중 절삭유 부족, 작업자들의 사고를 들 수 있다. 공구에 대해서는 적은 시간으로 쉽게 문제를 해결할 수 있지만 빈도가 높아 누적되면 도구들에 관련된 후속 공정들이 지연되기도 한다. 작업자에게 사고가 발생하면 해당 작업자의 담당 공정에 관련된 주문이 지연되므로 계획량을 달성하기 위해서는 대체 가능한 공작기계들에 부하를 옮겨주거나 작업 능력을 갖춘 다른 작업자가 부하를 받게 된다.

3. Fuzzy-Petri-Net을 이용한 생산공정 모델링

현장에서 불규칙적으로 발생하는 생산장애를 고려한 가공시스템의 동적인 상황을 기술하기 위하여 제조공정을 간단하고 응용 지향적으로 묘사할 수 있는 모델링 기법이 요구된다. Fuzzy-Petri-Net은 다양한 시스템 요소들의 상관관계를 잘 묘사할 수 있는 도구로서 인정되어 제조공정의 기술에 자주 응용되고 있다(Evershiem and Hack, 1996; Ouchi and Tasaki, 1998). <그림 2>에 묘사되어 있듯이 Petri Net와 Fuzzy Logic의 결합은 공정 묘사 및 제어를 위해 필요한 파라미터를 효과적으로 결부시킬 수 있기 때문에 시스템 해석 및 모델링에 편리하다. Fuzzy-Petri-Net은 가용한 자원을 토큰으로 표시하여 이동조건을 나타내고 그 이동과정을 추적함으로써 시스템의 동적 특성을 모델링하는 Petri Net와 시스템 구성요소의 상황을 Membership 함수로 표현하는 Fuzzy Logic이 결합되었으며, 이에 Membership 함수들을 조합하여 생성한 Fuzzy Rule을 결합시켜 현재의

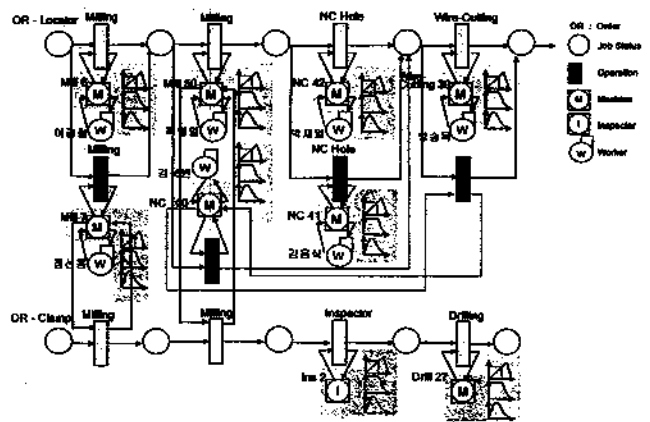


그림 2. Fuzzy-Petri-Net을 이용한 제조 공정 모델링.

상황을 평가·판단할 수 있다. Fuzzy Rule은 장애에 의한 충돌이나 공정이 중단되는 것을 처리하기 위한 지식기반이며, Fuzzy Rule을 생성하는 과정에서 전문가의 지식을 표현할 수 있는 장점이 있다. Fuzzy-Petri-Net 객체들 즉, 토큰, Place, Transition을 이용하여 시스템의 동적 상황이 간결하게 표현됨으로써 대립되는 결정을 피하고, 변환에 따른 빠른 상황 판단 등을 행할 수 있기 때문에, Fuzzy-Petri-Net은 사건 지향적 시스템의 모델링에 유용하게 이용될 수 있다.

본 연구에서는 Fuzzy-Petri-Net 모델에 각 공정의 대체 가능 경로에 대한 정보를 입력하여, 생산장애 발생시 Fuzzy Rule로써 대체공정을 자율적으로 판단하고 찾아갈 수 있도록 생산공정을 모델링하였다.

또한, 가공시스템에서 발생하는 생산장애들을 제어하기 위해서는 가공 공정의 계획상황과 진행상황을 모니터링하고, 새로운 계획이나 재계획되는 상황을 관리할 수 있는 수단이 필요하다. 이를 위해서 공정계획을 최적화하는 수단인 동시에 시간의 흐름에 따라 진행되는 작업과 가공요소들의 상황을 한눈에 보여주는 Gantt Chart를 이용하였다<그림 3>.

시스템의 세부계획을 수립할 때, 기존 경험이 풍부한 전문가가 이를 이용하여 모든 시스템 요소들(기계, 공구, 치공구, 작업자)의 부하 및 이용가능도를 고려하여 공정을 분해하고

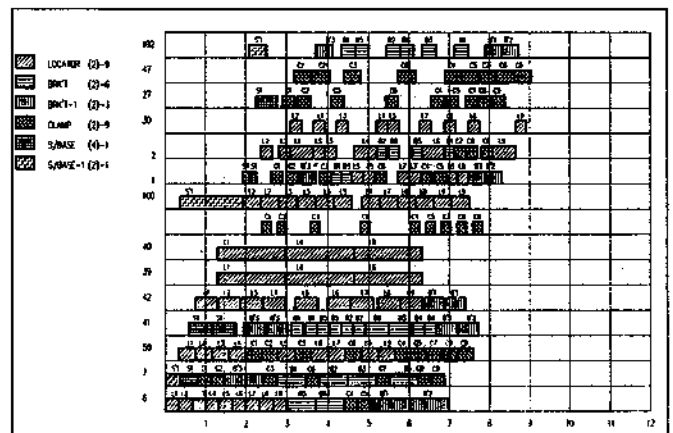


그림 3. 가공요소들의 동적인 상황묘사를 위한 Gantt Chart.

계획을 최적화한다. 따라서 사건이 발생하는 시점과 같이 공정중 어떤 임의의 시점에서 가공요소들의 상태변화를 파악하고 공정의 진행상황을 추적하는 것이 가능한 것이다.

무엇보다도 우리는 Gantt Chart를 사건 발생확률과 공정지연 시간을 고려한 시간의 공차 개념을 도입하여 생산장애의 제어 가능성을 판단하고자 하였다.

4. 시스템운영을 위한 제어방안

4.1 가공 공차 응용 방안

일정계획은 장비의 고장과 같은 돌발적인 사건들로 인해 실제 수행하는 데 있어 상당히 많은 변수들에 영향을 받는다. 이와 유사하게 주위 요소들의 영향력을 받는 가공공정에서는 치수를 정확하게 가공한다는 것이 불가능하므로 공차를 주어서 관리를 하고 있다. 이 원리를 Shop Floor의 생산제어에도 응용을 하고자 하였다. 다양한 장애에 의한 잦은 계획오차를 가공 공차의 개념으로 흡수함으로써 기존 일정계획을 준수하고자 한다.

이 개념을 적용하기 위해서 계획공차 간격(Tolerance)을 어느 정도로 정하는가가 중요하다. 이 결정을 위해 공차관련 방법론에 대한 연구 및 조사와 라인 실험을 수행한 후 생산라인 해석에 응용되는 수식(1)을 개념을 달리하여 이용하였다(Groover, 1987).

$$T_p = T_c + \sum F \cdot T_d \quad (1)$$

이때 T_p , T_c , F , T_d 는 각각 실제공정시간, 이론적 공정시간, 장애 발생빈도, 장애 해지시간을 나타낸다.

장애흡수를 위한 계획공차의 간격을 구하기 위하여 식 (1)의 항 $F \cdot T_d$ 를 활용하였으며, 장애 발생빈도는 부품에 대한 장애와 장비와 도구에 대한 장애 발생으로 구분하였으며, 과거 자료를 분석하여 구할 수 있도록 다음 식 (2), (3)을 제시하였다.

$$\text{부품 장애발생빈도} = \frac{\text{장애가 발생된 부품수}}{\text{전체 부품수}} \quad (2)$$

$$\text{장비·도구 장애발생빈도} = \frac{\text{장애가 발생된 가공 공정수}}{\text{전체 가공 공정수}} \quad (3)$$

발생된 장애의 제거를 위한 해지시간은 실제 소요시간으로 계산하였으며, 현장자료를 분석하여 유도한 발생빈도와 해지시간을 <표 2>에 요약하였다.

4.2 계획공차 적용

장애 발생시 상위 생산계획부서의 도움 또는 외주 처리 없이 계획공차를 이용하여 유연하게 재계획하는 방법을 <그림

표 2. 장애 발생 빈도

장애의 종류	발생빈도 F (%)	해지시간 T_d (분)	해당사항
치수 불량	0.637	23	대부분 MILL'G M/C
가공 불량	0.127	35	모든 공작 기계
도면 불량	3.000	25	가공에서 발견
불량품 발생	0.671	85	전 공정에서 가능
간접 발생	3~5	20	주로 Locaror, Clamp
Pin Hole		20~35	전 품목(조립형상)
각도, Hole		25	SubBase(조립형상)
도면 불량	0.6	110	조립시 발견
설계 변경	1		설계부에서
보전 가공	1		시운전부에서 제안
M/C 가동초기	0.040	120	대부분 NC M/C
프로그래밍	0.231	20~30	Wire-Cutting 기계
드릴파손	0.025	5	NC M/C, Drill M/C
Curter 파손	5.555	5	Contour M/C
절삭유 부족	0.149	5	NC M/C
작업자 사고	0.032	60	작업자

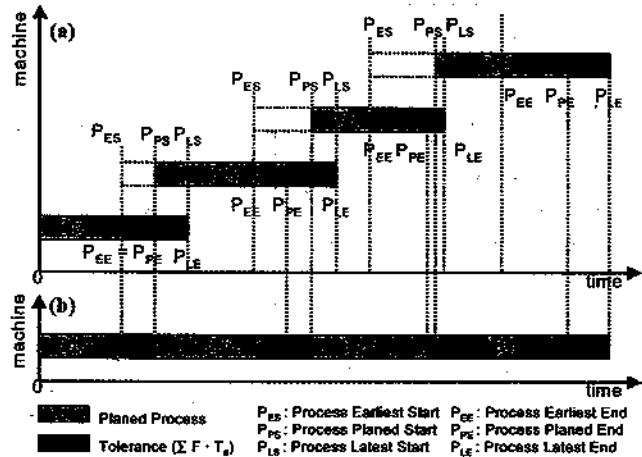


그림 4. 공정 공차로 도입되는 Tolerance.

4>에 소개하였다. 첫 번째 공정 $Op1$ 에서는 P_{EE} 는 P_{PE} 라고 가정하고, $Op2$ 에서 P_{PS} 는 $Op1$ 의 P_{PE} 와 P_{LE} 간격의 평균시점, P_{ES} 는 $Op1$ 의 P_{EE} ($= P_{PE}$), P_{LS} 는 $Op1$ 의 P_{LE} 이고, P_{PE} 와 P_{LE} 간격의 평균은 $Op3$ 의 P_{PS} , P_{EE} 는 $Op3$ 의 P_{ES} 으로, P_{LE} 는 $Op3$ 의 P_{LS} 이 된다. 이런 방법으로 모든 공정에 허용공차를 도입하였으며, <그림 4> (b)와 같이 Gantt Chart에 표현된다. 그러나 장애가 발생치 않을 때는 P_{ES} 를 따르기 때문에 공차로 인한 생산 지연은 초래되지 않는다. 공차의 삽입으로 공정이 지연되나 실제 $\sum F \cdot T_d$ 시간이 길지 않고, 공정계획상 중간에 여유시간이 존재하므로 Shop의 운영시간이 많이 늘어나진 않는다.

장애가 발생하여 공정 지연이 초래되는 경우에 이런 시간적인 계획공차를 도입하여 장애를 어떻게 흡수하는지 <그림 5>에 예를 들어 보였으며, 생산장애에 의한 후 공정 지연을 제어하는 방법을 다음 세 단계 절차를 통하여 설명하였다.

1. $Op1$ 공정을 장애없이 수행하여 $Op2$ 공정은 P_{ES} 에서 시작한다. 하지만 이 시점에서 잘못된 프로그램이 들어온 것을

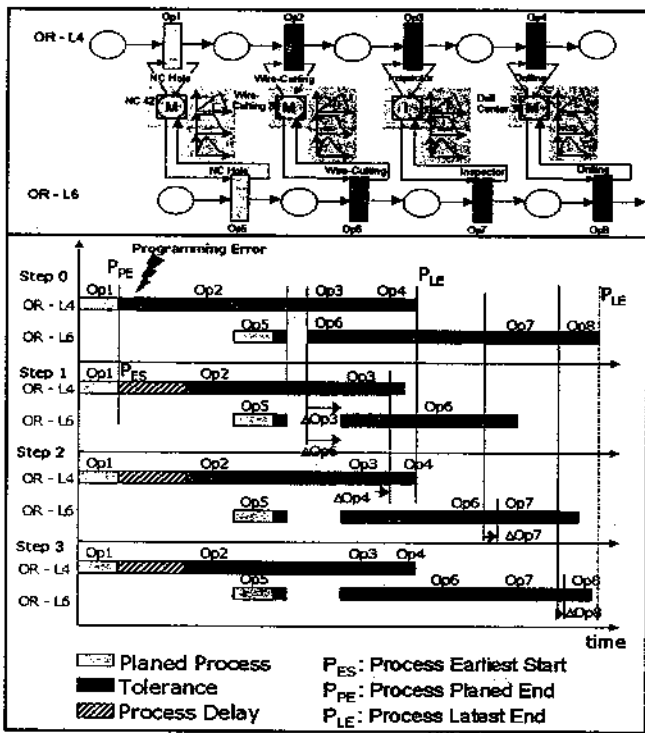


그림 5. Tolerance를 이용한 장애 흡수.

작업자가 발견하고 수정함으로써 Op2 이후 공정들이 $\Delta Op3$, $\Delta Op6$ 만큼 지연된다. 여기서 Op1과 Op2의 계획공차로 인해 이미 해지시간(T_d) 보다 $\Delta Op3$, $\Delta Op6$ 의 공정 지연 시간들이 짧아진 것을 볼 수 있다.

- 공차 제어로 인해 Op4 공정은 장애의 영향을 이 단계에서 P_{LE} 와 같은 시점에서 끝나므로 벗어나지만 Op7 공정은 아직도 지연되고 있다. $\Delta Op4$, $\Delta Op7$ 이 $\Delta Op3$, $\Delta Op6$ 보다 적어, 공정 지연이 조금씩 흡수되어 나가고 있는 것을 볼 수 있다.
- Op8의 경우 $\Delta Op8$ 만큼 공정이 지연되어 시작하나, 계획공차를 고려한 계획 P_{LE} 보다 일찍 끝나므로, 장애가 흡수된다.

장애 흡수를 위한 단계의 수는 대개 해지시간, 가공공정의 복잡성과 사용되는 도구의 수에 의존한다. 해지시간이 길거나 공정이 복잡할 경우에는 세 단계로 흡수가 되지 않았다. 더 많은 단계를 고려하는 것은 장애의 파급효과가 급속히 증대하여 후속 공정들 전체에 영향을 미치게 된다. 이것은 기존 계획의 전반적인 재계획을 의미하므로 의미가 없다. 다양한 실험을 통해서 본 대상시스템에서는 세 단계까지 고려하는 것이 큰 수정을 요하지 않으면서 장애에 신속히 적응할 수 있었다. 그러나 공정 지연이 커서 세 단계의 계획공차 간격으로 흡수가 불가능한 경우는 대체 공정을 선정하여 이에 대응하고자 한다.

4.3 대체공정 선정 방법

대체공정 선정은 Fuzzy-Petri-Net 모델에 표현된 대체 가능한

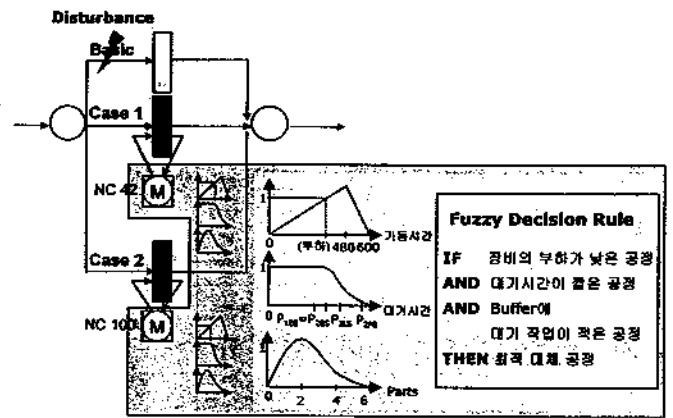


그림 6. Fuzzy-Petri-Net으로부터 얻어지는 Fuzzy Decision Rule.

공정들 중에서 시스템 내의 현 상황과 Fuzzy Rule에 기초하여 이루어진다. 다음 <그림 6>은 장애 발생시 Fuzzy-Petri-Net 모델상의 해당되는 공정에서 Fuzzy Decision Rule에 의해 해가 결정되는 과정을 설명하고 있다. 가능한 대체해들 중에서 우선순위를 정하기 위해 Membership Function에 의한 Rule이 구성된다. Membership Function은 현장 작업상황의 분석에 의해 유도된다. 현장의 하루 장비 가동시간에 따라 부하율이 산정된다. 부하가 적게 걸린 장비가 우선순위가 높다. 장애로 인한 긴급 작업들은 정규작업보다 우선순위를 가지지만 진행중인 작업이 있다면 중단시킬 수는 없어 대기시간이 발생한다. 다음 작업의 Earliest Start에서 대체공정을 수행할 수 있다면 공정의 진행상 적합하다. 각 장비마다 Buffer를 보유하고 있으므로 최적의 대체공정을 위해서 대기작업의 적정 수가 요구된다. Shop의 Lot Size와 현장 전문가의 경험을 토대로 대기작업의 수에 대한 Membership Function이 형성된다. 이에 따라 대체 가능한 공정들이 평가된다.

Fuzzy Rule에 의해 선정된 대체공정은 계획공차의 세 단계의 범위 내에서 실행가능성이 검토된다. 흡수 불가능하면 그 다음 차선책을 선택하고, 대체공정들 전부가 공차 범위를 만족치 못하면 Shop 계획시스템에 재계획을 요청한다. 위에 소개된 Fuzzy Logic에 기초하여 사건에 따른 조치를 결정하기 위한 알고리즘을 <그림 7>에 자세히 설명하였다.

Shop 내에서 장애가 발생하면 종류를 파악하여 작업의 우선순위를 결정한다. 일반적으로 장애로 인한 공정은 정규작업보다 먼저 처리하고, 장애 중에서도 발생 시점에 따른 시급성에 의해 수행에 우선순위가 존재한다. 납기나 고부가가치로 인해 출하시점 가까이에서 발생한 장애가 우선적으로 고려된다. 즉 보전·시운전반에서 발생하는 설계변경, 조립시 발생하는 수정 가공, 가공계획 수행중 발생하는 가공불량, 재가공 순으로 진행된다. 장애의 종류가 파악되면 흡수 가능성을 판단하기 위해 Shop의 남은 운영시간과 장애가 발생한 부품의 가공소요 시간을 파악한다. 예를 들어, Shop의 운영시간이 2시간 남은 시점에서, 가공소요시간이 3시간인 부품에서 불량품이 발생하면 남은 운영시간 동안 재생산은 불가능하고 재계획을 요청하

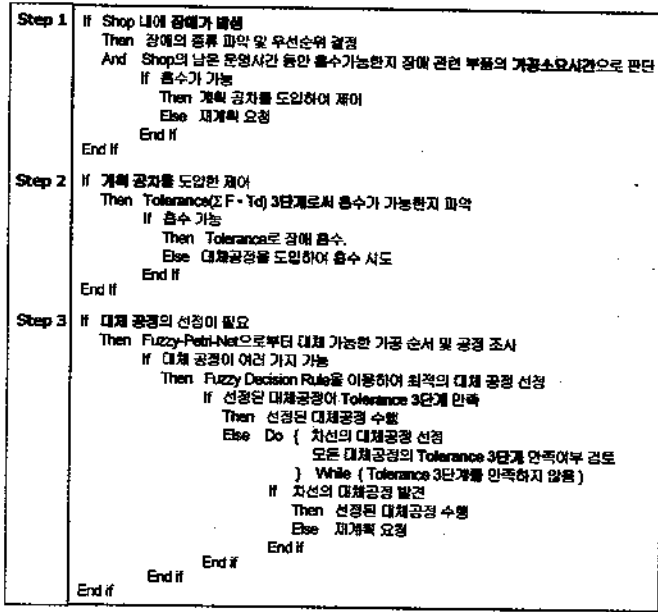


그림 7. 조치사항 선택을 위한 알고리즘.

게 되는 것이다. 장애가 흡수 가능하다고 판단되면 해당공정에서 장애 처리 시간의 지연을 계획공차(Tolerance)로 흡수 가능한지 검토한다. 계획공차로 흡수가 불가능하면 대체공정을 이용하여 장애 처리를 시도한다. 이를 위해 대체 가능한 공정, 대체공정을 수행할 장비, 도구, 작업자의 상황(사용가능성)을 조사한다. 이때 가능한 대체 공정이 여러 가지 존재하면 Fuzzy Decision Rule에 의해 최적의 대체공정을 선정한다. 선정된 대체공정을 수행함에 있어 계획공차 3단계를 만족하지 않으면 차선의 대체공정을 찾아 재평가를 실시한다. 그럼에도 불구하고 만족하는 대체공정이 없으면 재계획을 요청한다.

5. 시스템 운용

Shop 단계에서 장애에 유연하게 대응하기 위해 소개된 전략들을 적용하여 구상한 운영시스템의 구조를 <그림 8>에 나타내었다.

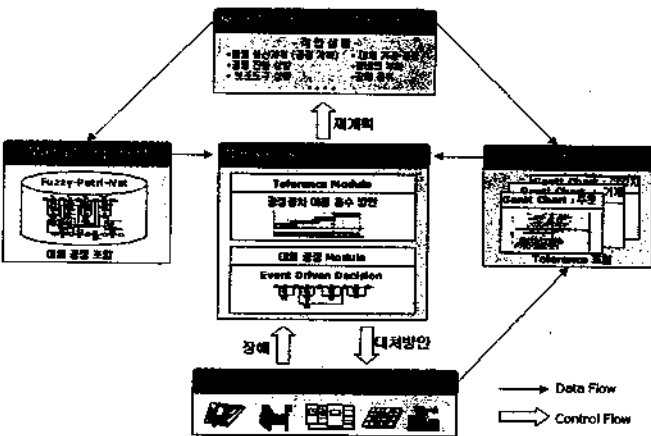


그림 8. 시스템 운영을 위한 Architecture.

Shop Floor Control Component는 시스템의 전반적인 작업상황을 파악하고 제어한다. 하루 공정계획을 세우고, Model 및 Schedule Component의 계획에 요구되는 정보를 제공한다. Model Component에서는 Shop Control Component로부터 공정계획에 대한 정보를 받아 Fuzzy-Petri-Net Model을 생성한다. 이로부터 Decision Support Component에 대체경로와 각 공정에 요구되는 도구들에 대한 정보를 제공한다. Shop Control Component에서 작성된 공정계획과 장애의 종류에 따른 계획공차로부터 Schedule Component에서 장비와 도구에 대한 Gantt Chart가 작성된다. 이를 가지고 Shop 내의 가공공정 계획상황과 진행상황들이 추적·감시되고, 장애에 대한 흡수가능성들이 판단된다. Decision Support Component에서는 Shop에서 장애가 발생했을 때 조치사항을 결정한다. 즉, Schedule Component에서 가공계획의 진행상황과 공정의 Tolerance에 대한 정보를 얻고, Model Component에서 공정의 대체 경로에 대한 정보를 얻어 장애를 처리할 수 있는지 판단한다. 흡수가 불가능할 경우는 Shop Floor Control Component에 재계획을 요구한다.

제한된 구조가 대상시스템에 적용가능한지 현장의 다양한 생산장애투를 가상시나리오로 구현하여 시스템의 반응성을 평가해 보았다. 평가과정에서 Fuzzy-Petri-Net의 작성과 Gantt-Chart의 도식화 등을 수작업으로 진행하였다. 2절에서 조사된 생산장애 정보를 기초로 계획공차를 계산하여 각 공정에 도입하고, 가공에 소요되는 시간은 다년간 수집되어온 현장정보를 이용하였다. 이렇게 이루어진 상황에서 장애에 대한 시스템 반응 결과를 <표 3>에 요약하였다.

재가공의 경우, 후속 공정들과 다음 Orders의 지연관계를 동시에 고려하여도 큰 문제점 없이 계획공차로 대부분 흡수가 되었다. 가공불량의 경우, 재생산을 하게 되면 3차원 가공을 하는 Wire-Cutting 공정은 많은 가공시간을 소요하고 있어 영향을 받는 공정들 중 일부 공정은 계획공차만으로 흡수가 되지 않았다. 이를 이제까지는 프로그램 능력이 부족하여 시도하지 못했던 5축 M/C에서 가공하도록 하는 대체공정을 개발하여 해결되도록 하였다. 그러나 재계획을 요청하면 불량 부품의 후

표 3. 각 장애에 따른 대처 방안

장애 종류	장애 대처 방안	
재가공	*공정 및 Order의 지연 관계를 동시에 고려하여 Tolerance 3단계로 흡수	
가공불량 (불량률)	*부품의 가공소요시간과 Shop의 남은 운영시간을 고려 ▶ 재생산 가능성이 있으면 재생산 영향을 받는 후속공정별로 불 및 일부 공정이 정상으로 흡수되지 않는다 방진기공을 NC/MC에서 대체 (Tolerance + 대체공정) ▶ 가능성이 없으면 재계획 *재계획의 경우 Operation의 Tolerance 확장 효과 (ES 시점을 추적하여 가라)	
	소재변경	*대체공정 → 재생산 *2단계 공정 중 투입 → 가공불량과 동일하게 흡수 가능성 판단
	수정가공	*Tolerance 2단계로 흡수 (수정가공소요시간이 대부분 길지 않다)
장비 잘못된 프로그램	*장비가 발생한 장비의 후속 Order 대체공정 사용 *대체공정 + Tolerance: (장애처리시간이 길다) *Tolerance 3단계로 흡수	
	도구 파손 가공 중 결석유 부족 작업자 사고, 조립	*차이시간이 길기 때문에 보통 Tolerance 1단계로 흡수 *대체공정 선정 * 재계획

속 공정들이 취소되어 다른 Operation들의 공차가 확장된다. 이것은 다음에 발생하는 장애를 흡수하는 데 유용적으로 이용되게 하였다. 설계변경은 가공공정에 직접적으로 미치는 영향은 없지만 재설계에 소요되는 시간이 길 때는 다음 계획시 생산에 투입되고, 긴급주문이나 납기에 관련하여 신속히 공정중에 투입되는 경우는 가공불량과 유사하게 대응하여 처리되었다. 그리고 한·두 공정이 추가되는 수정가공은 가공소요시간이 대부분 길지 않아 계획공차 2단계 내에 흡수가 되었다. 반면 한번 장애가 발생하면 해지시간이 긴 장비에 대한 장애의 경우는 후속 Order들이 대체장비를 사용하여야 처리할 수 있었다. 도구가 파손되거나 가공중에 절삭유가 부족한 경우는 해지시간이 짧아 계획공차 1단계로 해결이 가능했다. 이에 반해 작업자에 대한 사고는 다른 장애에 비해 영향을 미치는 범위가 커서 쉽게 처리하기 어려웠다. 일정이 급한 상황에서는 보편적인 작업능력을 갖춘 작업반장이 대체 투입된다고 가정하였고, 작업 반장이 수행치 못할 경우에는 작업자의 사고로 영향을 받는 공정들은 대체공정선정으로는 해결되지 않아 재계획의 요청이 불가피하였다. 그러나 발생빈도가 낮아 큰 문제가 되지는 않았다.

6. 결론

가공 공장에서 불규칙적으로 발생하는 생산장애에 대해서 일정계획의 수정 없이 자체적인 결정으로 단기간에 유연하게 대응할 수 있는 방안을 제안하고자 하였다. 유사한 성격을 갖는 제조시스템을 연구의 대상시스템으로 선정하고 기존 생산계획방법과 장애에 대한 조치사항 등을 분석하였다. 산업현장의 해석과 제어방법론에 근거하여 장애의 처리를 위해서 계획공차 개념을 도입하였다. 계획공차는 시간의 Buffer로써 계획으로부터 벗어난 오차를 흡수하도록 하였고, 모니터링을 위해 Gantt Chart를 이용하였다. 그리고 Fuzzy-Petri-Net 모델의 응용으로 공정수행계획, Resource 이용계획, 주문 수행을 위한 대체공정계획 등 공정흐름의 전반적인 상황을 동시에 기술하였다. 이 모델 위에서 개발된 Fuzzy Rule에 따라 대체공정이 선정되도록 하였다.

개발된 방법론은 현장의 생산장애에 대해 어떤 조치를 취하는 데 도움을 주고자 하였다. 제안하는 개념의 현장 적용가능성 판단을 위해 대상시스템의 상황에서 테스트하는 과정을 통해 장애가 발생하면 제어알고리즘을 이용하여 흡수하고, 가능한 대처방안을 찾음으로써 계획의 수정을 요하는 경우를 줄일

수 있었다. 또한 대체공정을 연구·개발하는 과정에서 새로운 보조도구의 소개로 장비의 기능을 높여 응용분야를 넓혔다. 이로 인해 장애로 처리되는 경우와 특정장비의 과부하를 줄일 수 있었다. 즉, 계획의 효율성으로 인해 시스템의 유연성이 좋아지고 Shop의 생산성을 높일 수 있는 가능성을 보여 상당히 좋은 반응을 얻었다.

소개된 시스템의 각 Component 내의 계획과 그들간의 정보 흐름이나 제어는 전문가의 결정에 의해 수동적으로 이루어지고 있다. 이를 지능적이고 자율적인 결정을 내릴 수 있는 시스템으로 구축하기 위해서는 Intelligent Agent의 기술을 접목하여 지능화 방안에 대한 연구가 더 요구된다.

참고문헌

- 박홍석(1995), Innovation of Production structure Holonic Manufacturing System, *IE Interfaces*, 8(2), 185-197.
- Amos, H.C., Ricky, W.H.Y, and Edmund, H.M. (1996), HSCS-The Design of a Holonic Shop Floor Control System, *Proceedings of the 1996 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 1, 179-185.
- Bongaerts, L., Valckenaers, P., Brussel, H.V. and Wyns, J. (1995), Schedule Execution for a Holonic Shop Floor Control System, *The Advanced Summer Institute (ASI) 95 of Intelligent Control of Integrated Manufacturing System*, 24-28.
- Chen, F.F. and Wu, D. (1996), Intelligent Scheduling and Control of Flexible Manufacturing System, *Technical Papers of the North American Manufacturing of SME 1996*, 151-156.
- Dilts, D.M., Boyd, N.P. and Whorms, H.H. (1991), The Evolution of Control Architectures for Automated Manufacturing System, *Journal of Manufacturing Systems*, 10, 79-93.
- Evershiem, W. and Hack, T. (1996), Managing Multiple Product Variants in Assembly Control with a Fuzzy Petri net Approach, *Annals of the CIRP* (45) 45-48.
- Groover, M. P. (1987), *Automation, Production System and Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall, Inc.
- Ouchi, Y. and Tasaki, E. (1998), Heuristic Approach to Topology Generation for Knowledge based Fuzzy Petri Nets, *International Conference on Knowledge-Based Intelligence Electronic System*, 331-334.
- Porter, B. and Zadeh, N.N. (1997), Evolutionary Design of Fuzzy-Logic Controllers for Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP* (46) 425-428.
- Pritschow, G., Storr, A., Hummel, M. (1998), On-Line Decision Support System for Short-term Production Control, *Production Engineering*, 5(1), 95-98.
- Ulieru, M. (1997), Soft Computing Issues in the Intelligent Control of Holonic Manufacturing System, *Proceedings of the 1997 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*.
- Weck, M. and Sonnenschein, K. (1998), A Decision Support System for Job Shop Scheduling in Flexible Manufacturing System, *Production Engineering*, 5(1), 89-94.

박홍석

1979년 한양대학교 기계공학과 학사
1987년 RWTH Aachen 생산공학과 Dipl.-Ing
1992년 Universitaet Hannover 생산공학과 Dr.-Ing
1980~87년 한국과학기술원 연구원
1987~92년 IFW연구원
현재: 울산대학교 기계공학부 부교수
울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가 연구
센터
관심분야: 공정설계자동화, IMS, 재조정보시
시스템

서운호

고려대학교 산업공학과 공학사
The Pennsylvania state University, 공학석·박사
현재: 울산대학교 산업공학부 정교수
관심분야: 제조시스템 자동설계, 사례기반추
론, 제품설계, CAPP