홀로닉 생산시스템을 위한 스케줄링 기법 개발

김 정, 이영해
한양대학교 산업공학과

Abstract

고객의 수요가 매우 다양해지고 제조산업에서의 인건비 비중이 더욱 높아짐에 따라 기존의 생산 시스템은 새로운 변화를 요구하고 있다. 소품종 대량생산 시스템이나 유연생산시스템 등을 위해 개발되어 온 대부분의 생산 계획은 off-line 상에서 시스템의 모든 요소들이 정상적이라는 가정하에서 수립되었다. 이로 인해서 기계가 갑작스럽게 정지하거나 공구의 이상 현상 등이 발생하여 기 수립된 계획에 따라 작업을 지속하기 힘든 경우가 생길 수 있다. 다양해지는 고객의 요구를 만족시키기 위하여 생산 시스템은 제어 측면에서 고기능화 되어가고 있다. 따라서 이러한 생산시스템의 운영을 위해 적절한 기법이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 홀로닉 생산 시스템에 적용 가능한 스케줄링 기법을 제시한다.
Key words: 홀로닉 생산 시스템, 스케줄링.

1. Introduction

산업과 경제가 발달함에 따라 소비자의 욕구가 매우 다양해지고 있다. 19세기 산업혁명 이후 소품종 대량생산체제를 갖춘 소수 기업들에 의해 제품들이 공급되었으므로 기업이 소비자의 기호를 리드하다시피 하였다. 그러나 오늘날에는 소비자들의 욕구가 다양해져서 이를 만족시키기위해 기업이 적절한 변신을 하기를 소비자들은 요구하게 되었다. 따라서 오늘날 대부분의 기업들은 고객의 만족을 최우선 과제로 삼고 계속 변화를 거듭하고 있다.

제조기술과 컴퓨터의 발달은 유연한 자동 생산 시스템의 출현을 가능하게 하였다. 소비자들의 기호의 변화에 따른 급작스런 제품 모델의 대처와 신속한 생산을 통한 납기만족은 오늘날의 생산시스템에서 매우 중요한 관심이 되고 있다. 이에 따라서 생산시스템은 고기능화, 자율화 및 분산화 등의 매우 고도로 발달된 시스템으로 진보되고 있다. 그런데 이와 더불어 하드웨어를 적절히 통제하여 생산시스템이 제기능을 발휘할 수 있도록 도와주는 적절한 소프트웨어의 기술 개발이 요구된다.

생산시스템의 효율적인 운영을 위해서는 적절한 스케줄링 및 공정계획을 수립하는 것이 매우 중요한데 오늘날의 진보적인 생산시스템의 운영을 위해 전통적인 방법에 의한 계획을 수립하는 것으로는 만족스런 결과를 기대하기가 매우 어렵게 되었다. 전통적인 스케줄링 방법은 주로 기계의 상태가 정상이고 각 기계에서 부품을 처리하는 시간이 일정하며 공구의 마모에 따른 가공시간의 변동은 없는 것으로 가정하여 Off-line 으로 생산스케줄링을 한다. 그래서 작업중에 갑작스런 기계의 고장이나 공구의 마모에 따른 생산량이 기대하는 수준에 미치지 못하는 경우, 또는 공구가 부러짐으로써 작업이 멈추어야 할 때, 이미 세워놓은 스케줄링 및 공정계획은 변경될 수 있다. 또한 때로는 전혀 의미없는 것으로 되어 버릴 수도 있다. 선행작업이 있는 경우나 시스템 내에 기계의 용량이 매우 한정적일때, 또한 이밖에도 여러 종류의 제약조건들이 스케줄링을 수립하기 위해 고려되어야 할 때 적절한 해를 구하기가 매우 어렵게 된다.

한편 수시로 변경되는 제품의 모델과 기계 고장에 의한 대체 경로의 선정, 공구의 마모율을 고려하여 납기를 만족시키기 위한 생산 통제, 제한된 기계를 가지고 작업을 수행할 때 선행조건을 고려하는 일정계획 및 작업중 갑작스런 환경의 변경에 따른 온라인 재스케줄링등을 생산시스템은 요구한다. 생산시스템이 요구하는 것들을 만족시키기 위한 생산의 통제와 생산계획 및 공정계획의 산출을 위해 최근 이슈가 되고 있는 홀로닉 개념을 활용할 수 있다. J.R. Agre 등은 Steel 을 만들어 내는 water cooling system 에 홀로닉 개념을 적용하였다[3]. 또한 P.Valckenaers 등은 제어시스템에 홀로닉 개념을 적용하여 기존의 계층적 제어시스템(Hiearchical control system)과 수평적 제어시스템(Heterarchical control system)으로 Holonic control system 과 비교하였다[4]. Peter B. Luh 는 이제까지 연구해 온 스케줄링에 홀로닉 개념을 적용시키고자 시도하였다[5]. H.K.Tonshoff 등은 제품 설계에 홀로닉 개념을 적용하였다. 이.등은 수평적 구조와 계층적 구조와 비교하여 홀로닉 제조시스템에 대한 개념을 소개하였다.

홀로닉 시스템(Holonic System)은 계층적 시스템과 수평적 시스템의 장점을 취하여 개발된 새로운 시스템이다. 홀로닉 시스템은 먼저 Off-iine 으로 짜여진 스케줄을 어드바이서로서 생각하며 스케줄러가 제시하는 것에 충실하려고 한다. 그러나 시스템의 목표를 추구해 나가는 과정상에서 이상이 발생하여 스케줄러가 제시하는 것에 따라 작업을 수행할 수 없을 경우에나 스케줄러가 제시하는 해가 명백히 지역적인 최적해라고 판단될 때에는 협상과 협력을 통해 보다 건설적인 해를 찾아가게 된다. 이로써 시스템에 이상이 발생할 경우, 그 이상요인에 대해 민첩하게 대처하게 된다. 홀로닉 시스템이 이러한 기능을 갖도록 하려면 홀론을 효과적으로 구성하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 생산시스템을 위한 스케줄을 홀로닉 개념을 이용하여 수립하는 방법을 제시한다.

2. 변수의 정의 및 홀론의 구성

본 연구에서 대상으로 삼고 있는 시스템은 다음과 같다. 여러대의 기계들이 시스템 내에 있다. 기계들은 공구메거진을 갖고 있어서 다양한 종류의 작업(Operation)을 처리할 수 있다. 기계의 작업 처리능력은 기계의 종류마다 다를 수 있는데 사용하는 공구의 상태나 기계 노후화 등에 의해서도 달라질 수 있다. 또한 한 부품을 위한 작업을 완성하기 위해 필요한 경우 다른 기계로 옮겨 수행할 수 있으므로 작업경로가 수시로 달라질 수도 있다.

홀로닉 스케줄링을 위해서는 생산시스템의 운영에 영향을 주는 요소들에 대해서 홀론을 구성하고 각 홀론들이 의사소통을 하면서 시스템 전체목표를 위해 협력하고 협상하게 하는 것이 필요하다.

변수의 정의

Product 는 시스템내의 여러 요소들(기계, 툴, 세척기,

검사기, 작업자 등)을 거쳐서 흘러나간다. .Product 가 Machine 을 지나게 된다면 개체는 Product.Machine 가 된다.

한편 Product 가 여러 개의 Part 들로 구성되어 있다면, Product 를 구성하는 Part 가 시스템내의 여러 요소들을 흘러나간다. Part 가 시스템내의 Machine 을 통과할 때 그 개체(Part)는 Product.Part. Machine 으로 표현된다. 이와 유사하게 Part 가 여러가지의 Operation 으로 구성된다면 시스템을 지나는 것은 Product.Part.Operation.Machine 이다. Product, Part, Operation 및 Machine 의 관계가 Fig1 과 같을 때, 변수를 정의하여 스케줄을 위한 홀론들을 3 절의 내용과 같이 구성할 수 있다.

3. 홀론의 구성

가. Precedence Constraints Holon(PCH)

생산시스템의 운영을 위해 선행제약을 위한 홀론을 표.1 과 같이 구성할 수 있다. 한 작업이 현재 작업 이후에 반드시 뒤따라야 할 때 r 의 값은 1 이 되고, 현재 작업 이후에 진행되어서는 안되는 경우에는 r 의 값은 ∞ 가 되며 선행관계는 아니지만 현재 작업이후에 작업이 가능한 경우에는 pn(penalty)로 지정한다. pn 은 WIP 에 대한 관심도에 의해 결정한다. 선행관계에 있는 작업을 먼저 처리하지 않으면 그 작업이 현장 라인에 WIP 로써 남게 되고, 다른 작업이 먼저 처리되기 때문에 WIP 가 증가된다. 따라서 pn 을 크게 하면 선행관계의 작업이 선택될 확률이 그 만큼 커지게 된다.

나. Machine Breakdown Holon(MBH)

기계고장이 발생했을 때 스케줄러는 이를 고려하여 생산스케줄을 다시 작성해야 할 필요가 있다. 따라서 기계의 상태를 수시로 점검하여 스케줄러에게 기계고장의 여부를 알릴 수 있는 홀론이 필요한데 이를 위해 표 2.와 같이 홀론을 구성하였다. MBH 에서 a1, a2, 그리고 a3 의 값은 기계가 정상가동일 경우에는 1 로 지정하고 기계고장일 경우에는 ∞ 으로 지정한다. 한편 기계고장이 발생하면 수리를 요하게 되는데 스케줄러는 기계수리를 위해 얼마의 시간이 필요한지 알기를 원한다. MBH 는 Machine manager 에게 이를 묻게 되며 machine manager 는 이러한 질문에 대해 다음과 같은 적절한 답변을 해 주어야 한다.

Mi 가 고장:

i) 영구고장인 경우

ai = ∞, re = o;

ii) 고장이 발생했으나 m 시간 만에 수리 가능한 경우

ai = 1, re = m;

iii) 고장이 발생하지 않았을 경우

ai = 1, re = 0;

한편 기계가 수선을 필요로 할 때 몇시간의 수선시간이 요구되는지에 대한 정보를 관리해 주는 홀론이 필요하다. 이를 위해 아래와 같이 기계수선홀론을 구성하였다.

다. Machine Repair Holon(MRH)

MRH 에서 re 값은 기계수리의 필요가 발생할 시, Machine manager 로부터 입력받는다. re 값이 입력되면 이 값들은 스케줄러에게 전달되어 스케줄 수립을 돕는다(표 3. 참조).

라. Machine Abnormal Holon(MAH)

기계 고장은 아니지만 기계 자체의 이상 혹은 불의 마모 등으로 인해 기계를 정상적으로 가동하기가 쉽지 않은 경우가 생길 수 있다. 스케줄러는 이러한 현장의 상황을 고려하여 스케줄을 작성해야 한다. 이를 위해 MAH 을 표 4 와 같이 작성하였다. MAH 에서 bi 의 값은 다음과 같다.

$$0.01 \le b1,b2,b3 \le 1.0$$

기계가 정상으로 가동할 때 bi 는 기계 i 의 현재 가동율로써 그 값은 1 을 갖게 된다. 공구의 마모상태와 기계의 가동상황을 파악하여 한 Operation 을 위한 가동율을 파악할 수 있어야 하는데 이를 모니터링하는 기술이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 작업자가 각 Operation 을 위한 가동율 bi 의 값을 주는 것으로 가정한다.

마. Operation Holon(OH)

기계가 정상으로 가동될 때 스케줄러가 스케줄을 작성할 때 기준으로 삼을 수 있는 작업시간이 필요한데 이를 위해 Operation holon 을 만든다. 기계와 공구가 정상일 경우 각 Operation 에 대한 작업시간을 의미하는데 기계의 각 Operation 에 대한 작업시간은 Look up Table 을 참고할 수 있다.

바. Machine Change over Holon(MCH)

한기계에서 작업을 수행한 후 다른 기계로 옮겨서 작업을 수행할 필요가 발생할 수 있다. 이때 기계의 교체에 따른 비용이 발생되는데 스케줄러는 스케줄을 세울 때 이를 고려해 주어야 한다. 기계 교체에 따른 비용의 고려를 위해 표 5.와 같이 MCH 을 만든다. Machine Change Over Cost 란 한 기계에서 Operation 을 수행한 후, 다른 기계로 작업을 옮길 때 발생하는 비용으로써 다음과 같이 기계가 교체될 때 비용을 지불하게 되는 것을 나타낼 수 있다.

c1: M1 ⇔ M2
c2: M1 ⇔ M3
c3: M2 ⇔ M3

같은 기계에서 작업을 수행하는 경우에 있어서는 기계 교체비용이 0 이다. 기계가 교체될 때에는 한편 작업을 로딩하려는 기계가 작업중이면 그 작업을 마치기를 기다려야 하는데 이를 고려하여 어떤 기계로 옮겨 작업을 수행해야 할 지 결정해야 한다. 또한 기계간의 이동시간과 함께 현재 작업을 해체하고 새로운 작업을 로딩하는 시간도 아울러 고려해야 한다. 따라서 MCH 의 C 값은 다음과 같은 식으로 표현된다.

MCH = OH(1-PCO) + MTH+ MSH

여기서 PCO 는 Completed Operation Holon 에서 제공하는 현재 작업의 완료비율을 의미한다. 그리고 OH 는 Operation Holon 을 의미하며 MTH 는 Machine Transfer Holon 을 의미한다. MTH 과 MSH 을 아래 사., 아.와 같이 작성한다.

사. Machine Transfer Holon(MTH)

MTH 에서 ti 는 기계간의 운송시간을 나타낸다(표 6). 기계간의 운송시간은 운송기구에 따라 상수 또는 변수가 될 수 있다. 예를 들면 표 6 에서 Part1 에 대해서 Op1 을 M1 에서 작업을 수행한 후, Op3 를 위해 M2 로 옮기게 되는 경우의 운송시간은 t1 이 된다.

아. Machine Setup Holon(MSH)

작업준비시간은 기계에 따라, 작업의 종류에 따라 달라진다. 이를 표 7 에 나타낸다. Op1 을 기계 M1, M2 또는 M3 로 변경하여 작업을 수행하고자 할 때 작업 준비 소요시간은 s1 이 되고 Op2 인 경우는 s2 가 되며 Op3 인 경우에는 s3 가 된다.

자. Completed Operation Holon(COH)

스케줄러가 스케줄을 세울 때 이미 완성된 작업은

고려대상에서 제외해야 한다. 이미 완성된 작업이 무엇인지 누군가가 스케줄러에게 알려주어야 한다. 또한 작업이 어느 정도 진행되었는지 알려주어야 한다. 이러한 기능을 수행할 수 있도록 표 9 와 같이 COH 을 만든다.

COH 는 완성된 작업을 기억하고 있는 홀론으로써 작업이 중복되게 스케줄링되는 것을 막아준다. COij 는 작업 i 를 기계 j 에서 수행한 상태를 나타내는 것으로써 아래와 같은 값을 갖는다.

작업이 완료된 경우
PRE = 1;
PCO = PRE;
CO = ∞;
완료되지 않은 경우
PRE = 1;
PCO = CO / OH;
CO = PRE;

여기서 PCO 는 현재 작업의 완료비율을 의미한다.

현재 작업중인 Operation 의 남은 시간을 알기 위해 각각의 기계에서는 언제 작업을 시작했는지, 어떤 종류의 작업이 거쳐갔는지, 그리고 현재 작업이 언제 시작되었는지를 파악해 두어야 한다. 예를 들어 M1 을 거쳐간 Operation 이 Op1, Op2, Op2 이고 현재 Op3 의 작업을 수행하고 있다면 Op3 의 작업 진행시간은 다음과 같다.

Op3.M1 의 작업진행시간(CO) =Current_Time-(Start_Time+Op1.M1+MTH+MSH+Op2.M1+OP2.M1)

여기서 Current_Time 은 현재시간을 나타내고, Start_Time 은 기계가 가동되기 시작된 시간을 의미한다.

차. Schedule Holon(SH)

스케줄 홀론(SH)은 작업의 스케줄을 위해 해당되는 다른 홀론들의 정보를 통합하게 되는데 이에 대한 홀론을 구성할 수 있다. 여기서 스케줄 홀론의 값 SH 는 다음의 식과 같이 계산된다.

SH=["{(MBH / MAH × OH)+MCH}"
× PCH × COH+MRH] × Mi

여기서
SH; 스케줄홀론의 값
MBH; 기계의 고장 여부를 나타냄 .
MAH; 기계의 정상, 비정상의 상태를 나타냄.
OH; 기계가 정상적으로 가동될 때의 Operation 처리 속도.
MCH; 기계 교체로 인한 작업소요시간
PCH; 작업의 선행관계를 표시함.
COH; 작업의 완료여부를 나타냄.
MRH; 기계의 수리시간을 나타냄.

또한 Mi 는 작업이 각 기계에 균형있게 할당되도록 조정해 주는 계수로써 만일 M1 에 작업이 할당되었으면 가급적 M1 이외의 다른 기계에 작업을 할당하도록 M1 의 값을 높게 책정해주고 M2 와 m3 의 값은 낮게 할당한다. 이는 작업의 성질에 따라 조정이 가능한다. M1 에 작업이 할당되면 다시 할당해서는 안된다는 규칙이 있으면 M1 의 값을 매우 높게 책정한다.

4. Holon 간의 Communication

가. SH 과 PCH

SH 는 다음의 작업선정을 위해 먼저 PCH 에게 가능한 작업의 군을 묻게 된다. PCH 는 SH 에게 선행관계에 대해 말해주는데 선행관계가 뚜렷한 경우에는 타협의 여지를 주지 않으나 반드시 지켜질 필요가 없는 경우에는 약간의 penalty 를 부과하여 알려준다. 선행관계의 작업이 먼저 처리되지 않으면 라인내에 재공품(Work In Process: WIP)이 쌓이게 됨으로 가급적 먼저 처리를 하기를 유도하기 위함이다. 따라서 WIP 에 대한 관심의 정도에 따라 penalty 는 달라질 수 있다. 즉 SH 는 PCH 로부터 pn 을 요청한다. 한편 PCH 는 manager 로부터 pn 의 값을 묻고 수정함으로써 최신의 정보를 늘 유지한다.

나. SH 와 MCH

SH 는 현재의 작업이 다른 기계에서 이루어지는 것이 좋을 지 아니면 현재의 기계에서 이루어지는 것이 좋을지 결정하기 전에 다른 기계로 작업을 옮겨서 수행할 경우 소요되는 시간이 얼마인지 MCH 에게 묻게 된다. MCH 는 현재 기계의 위치와 작업이 진행중인 상태를 참고하여 기계 교체 비용이 얼마인지를 SH 에게 알려준다. MCH 는 각 기계가 언제 작업이 마치게 될른지 수시로 파악하고 앞으로 남은 소요시간에 운송시간 및 작업준비시간을 포함한 총소요시간을 SH 에게 알려준다. 한편 MCH 는 남은 소요시간에 대한 정보를 수시로 갱신하여 보관하고 SH 로부터 요청이 있을 시 전달한다.

다. SH 와 OH

SH 는 OH 로부터 기계가 정상적으로 가동될 때의 작업소요시간에 대한 정보를 묻는다. OH 는 각 작업이 어떤기계에서 수행되느냐에 따라 달라지는 작업소요시간을 수집하고 보관하다가 SH 로부터 요청을 받을 때이를 전달한다.

라. SH 와 MAH

SH 는 기계의 가동상태를 MAH 에게 묻는다. MAH 는 Machine manager 에게 물의 상태와 기계의 가동상태에 대해 묻게 되는데 Machine manager 는 이를 점검하여 MAH 에게 기계 가동상태를 전달한다. MAH 는 이를 토대로 SH 에게 정보를 제공한 후, 기계의 가동상태가 기준치 이하이면 repair holon 에게 이를 신속히전달(부저 또는 신호등을 이용할 수 있음)할 수 있다.

마. SH 와 MBH

SH 는 MBH 에게 기계의 상태를 묻는다. 고장인 경우에는 얼마의 시간이 수리를 위해 소요되는지 묻게 되는데 MBH 는 Machine manager 로부터 이를 파악하여 현재의 정보를 수정한 후, 수리소요시간을 SH 에게 전달하게 된다.

기계가 완전히 고장인 경우: B = ∞, re = 0,
기계가 수선가능하면 B = 1, re = required repair time,
수선을 요구하지 않으면 B = 1, re = 0.

바. SH 와 COH

SH 는 COH 에게 다음의 작업으로 선택하려는 것이 이미 완성된 상태인지 파악하고자 묻게 된다. COH 는 완성된 작업에 대해 수시로 파악하여 자신의 정보를 갱신한 후, 이를 SH 에게 전달한다.

사. MCH 과 COH

MCH 은 기계 교체에 따른 부가 작업소요시간을 계산하기 위해 COH 에게 현재 작업의 완료된 비율을 묻게 된다. COH 는 다음의 정보를 SH 와 MCH 에게 각각 전달한다.

작업이 완료되었으면
SH 에게 CO=∞,
MCH 에게 PCO=1 을 전달한다.
작업이 완료되지 않았으면
SH 에게 CO=1 을 MCH 에게 PCO 의 값을 계산하여 전달한다.

아. MCH 과 OH

MCH 는 기계 교체에 따른 부가 작업시간을 계산하

기 위해 OH 에게 기계의 정상상태하에서의 소요작업시간을 묻게 된다. OH 는 작업의 종류별 기계에 따른 작업시간을 갱신 및 보관하여 다른 홀론으로부터 요청이 있을 때 이를 제공한다.

자. MBH 과 Machine manager

MBH 는 기계고장의 상황을 Machine manager 에게 알린다. 상황을 알리기 위해 부저를 울릴 수 있고 또는 신호를 이용할 수도 있다.

차. MAH 과 Machine manager

MAH 는 기계에 이상이 생겨서 정상적으로 기계가 가동되지 않으면 이를 신속하게 manager 에게 알려야 한다. manager 는 기계의 수리소요시간을 예상하여 MBH 에게 통보하고 해당기계를 수리한다.

5. 스케줄 알고리듬

스케줄 홀론을 이용하여 온라인 생산 스케줄을 세울 때 모든 기계에 작업을 골고루 분배될 수 있게 세워야 하며, 또한 작업의 총시간이 짧게 되도록 세워야 한다. 이러한 스케줄을 위해 여러 가지 제약조건들과 현장의 상황을 고려해야 하는데 스케줄링 문제는 NP-Hard 로 알려져 있다. 앞서 구성한 스케줄 홀론을 이용하면 현장에서 발생될 수 있는 대부분의 제약들을 고려하여 어렵지 않게 스케줄을 세울 수 있다. 현재까지 알려진 해법으로는 개체의 수가 많아지는 경우 최적 스케줄을 찾아내는데 너무 많은 시간이 요구된다. 온라인 현장관리를 위해서는 짧은 시간내에 현장의 모든 상황들을 파악하여 스케줄을 세워야 할 필요가 있다. 따라서 온라인 스케줄을 위한 경험적 알고리듬을 개발하는 것이 보다 바람직할 수 있다. 다음은 스케줄 홀론을 이용하여 경험적으로 스케줄을 세우는 간단한 절차를 설명한다.

Step 0. SH 를 구성.

Step 1. SH 에서 임의의 노드를 선택함.
해당 데이터를 수정한다. 예를 들면 선택된 노드에 대해서 COH 의 값을 수정하고, SH 를 구하는 식에서 Mi 의 값을 수정한다. 또한 기계의 상태를 점검하여 MBH 과 MAH 의 값을 갱신해준다. 이외에도 PCH 의 r 값을 수정해 주어야 한다.

Step 2. 현재 노드이후 가장 작은 값을 갖는 노드를 다음의 작업으로 선택함.
해당 데이터를 수정한다.

Step 3. 모든 노드가 선택되었으면 Step 4 로 가고, 그렇지 않으면 Step 2 로 간다.

Step 4. 스케줄 작업을 끝낸다.

6. 결 론

기존의 전통적인 방법에 의한 스케줄링 및 공정계획의 산출은 시스템 환경의 변동이나 제품 모델링의 변경 등에 민첩하게 대처하지 못했다. 그런데 미래의 생산시스템은 소비자 기호의 다양화에 따른 다품종 소량생산 체제를 갖추지 않으면 안된다. 본 연구에서는 미래의 생산시스템에 적용될 수 있는 스케줄링 기법을 홀로닉 개념을 이용하여 제시하였다. 연구를 통해서 얻어지게 되는 결과들은 차세대 생산시스템에 적합한 스케줄링 및 공정계획 기법으로서 역할을 충실히 감당할 것으로 사료된다. 또한 시스템을 구성하는 요소들이 소비자의 욕구를 만족시키기 위해 자율화, 협력화 및 분산화되어 전체시스템의 목표를 이루어 나가는데 있어서 이를 만족시키는 소프트웨어의 개발에 크게 기여할 것으로 또한 사료된다.

7. 참고문헌

[1] 이영해 역, CIM FA 사전, 도서출판 기술, 1993

[2] K. Iwata, M. Onosato and M. Koike, "Random Manufacturing System: a New Concept of Manufacturing Systems for Production to Order", Annals of the CIRP, Vol. 43, No. 1, 379-383, 1994

[3] D.M. Dilts, N.P. Boyd and H.H. Whorms, "The Evolution of Control Architectures for Automated Manufacturing Systems", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 10, No.1, 79-93, 1991

[4] Paul T. Kidd, Agile Manufacturing : Forging New Frontiers, Addison-Wesley, 1994

[5] N.A.Duffie, R. Chitturi and J.I. Mou, "Fault-tolerant Heterarchical Control of Heterogeneous Manufacturing System Entities", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 4, 1988

[6] S.E. Ramaswamy and S. Joshi, "Distributed Control of Automated Manufacturing Systems", Proceedings of 4th International Conf. on CIM and Automation Technology, Oct. 11-12, Troy,New York, 411-420, 1994

[7] H.K. Tonshoff, M. Winkler and J.C. Aurich, "Product Modeling for Holonic Manufacturing Systems", Proceedings of 4th International Conf. on CIM and Automation Technology, oct. 11-12, Troy, New York, 121-127, 1994

[8] J.R. Agre, G. Elsley, D. McFarlane, J. Cheng and B. Gunn, "Holonic Control of a Water Cooling System for a Steel Rod Mill", Proceedings of 4th International Conf. on CIM and Automation Technology, Oct. 11-12, Troy, New York,134-141, 1994

[9] A. Koestler, The GHOST in the MACHINE, Arkana Books, 1989

[10] P. Valckenaers, F. Bonneville, H. V. Brussel, L. Bongaerts and J. Wyns, "Results of the Holonic Control System Benchmark at KULeuven", Proceedings of 4th International Conf. on CIM and Automation Technology, Oct. 11-12, Troy, New York, 128-133, 1994

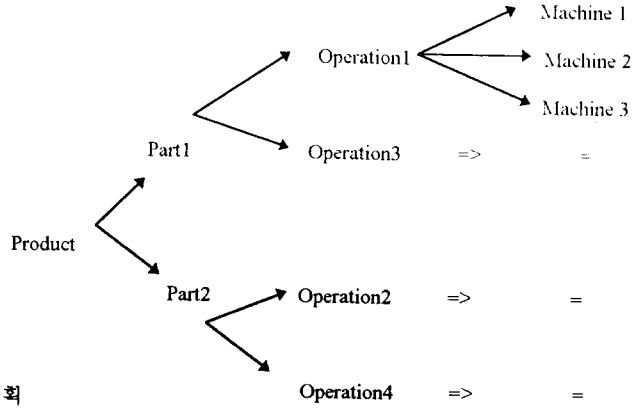

Fig1. 본 연구에서 정의된 예제의 변수들

표1. Precedence Constraints Holon(PCH)

			Part1						Part2					
			Op1			Op3			Op2			Op4		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Part1	Op1	M1		r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
		M2	r		r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
		M3	r	r		r	r	r	r	r	r	r	r	r
	Op3	M1	r	r	r	∞	r	r	r	r	r	r	r	r
		M2	r	r	r	r	∞	r	r	r	r	r	r	r
		M3	r	r	r	r	r	∞	r	r	r	r	r	r
Part2	Op2	M1	r	r	r	r	r	r	∞	r	r	r	r	r
		M2	r	r	r	r	r	r	r	∞	r	r	r	r
		M3	r	r	r	r	r	r	r	r	∞	r	r	r
	Op4	M1	r	r	r	r	r	r	r	r	r	∞	r	r
		M2	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	∞	r
		M3	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	∞

표2. Machine Breakdown Holon(MBH)

			Part1						Part2					
			Op1			Op3			Op2			Op4		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Part1	Op	M1	∞	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3
		M2	a1	∞	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3
		M3	a1	a2	∞	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3
	Op	M1	a1	a2	a3	∞	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3
		M2	a1	a2	a3	a1	∞	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3
		M3	a1	a2	a3	a1	a2	∞	a1	a2	a3	a1	a2	a3
Part2	Op	M1	a1	a2	a3	a1	a2	a3	∞	a2	a3	a1	a2	a3
		M2	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	∞	a3	a1	a2	a3
		M3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	∞	a1	a2	a3
	Op	M1	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	∞	a2	a3
		M2	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	∞	a3
		M3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	∞

표3. Machine repair Holon(MRH)

			Part1						Part2					
			Op1			Op3			Op2			Op4		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Part1	Op1	M1	∞	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3
		M2	re1	∞	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3
		M3	re1	re2	∞	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3
	Op3	M1	re1	re2	re3	∞	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3
		M2	re1	re2	re3	re1	∞	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3
		M3	re1	re2	re3	re1	re2	∞	re1	re2	re3	re1	re2	re3
Part2	Op2	M1	re1	re2	re3	re1	re2	re3	∞	re2	re3	re1	re2	re3
		M2	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	∞	re3	re1	re2	re3
		M3	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	∞	re1	re2	re3
	Op4	M1	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3	∞	re2	re3
		M2	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	∞	re3
		M3	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	re3	re1	re2	∞

표4. Machine Abnormal Holon(MAH)

			Part1						Part2					
			Op1			Op3			Op2			Op4		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Part1	Op1	M1	∞	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3
		M2	b1	∞	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3
		M3	b1	b2	∞	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3
	Op3	M1	b1	b2	b3	∞	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3
		M2	b1	b2	b3	b1	∞	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3
		M3	b1	b2	b3	b1	b2	∞	b1	b2	b3	b1	b2	b3
Part2	Op2	M1	b1	b2	b3	b1	b2	b3	∞	b2	b3	b1	b2	b3
		M2	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	∞	b3	b1	b2	b3
		M3	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	∞	b1	b2	b3
	Op4	M1	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3	∞	b2	b3
		M2	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	∞	b3
		M3	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	∞

표5. Machine Change over Holon(MCH)

			Part1						Part2					
			Op1			Op3			Op2			Op4		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Part1	Op1	M1	∞	c1	c2	0	c1	c2	0	c1	c2	0	c1	c2
		M2	c1	∞	c3	c1	0	c3	c1	0	c3	c1	0	c3
		M3	c2	c3	∞	c2	c3	0	c2	c3	0	c2	c3	0
	Op3	M1	0	c1	c2	∞	c1	c2	0	c1	c2	0	c1	c2
		M2	c1	0	c3	c1	∞	c3	c1	0	c3	c3	0	c3
		M3	c2	c3	0	c2	c3	∞	c2	c3	0	c2	c3	0
Part2	Op2	M1		c1	c2	0	c1	c2	∞	c1	c2	0	c1	c2
		M2	c1	0	c3	c1	0	c3	c1	∞	c3	c1	0	c3
		M3	c2	c3		c2	c3	0	c2	c3	∞	c2	c3	0
	Op4	M1	0	c1	c2	0	c1	c2	0	c1	c2	∞	c1	c2
		M2	c1	0	c3	c1	0	c3	c1	0	c3	c1	∞	c3
		M3	c2	c3	0	c2	c3	0	c2	c3	0	c2	c3	∞

표6. Machine Transfer Holon(MTH)

			Part1						Part2					
			Op1			Op3			Op2			Op4		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Part1	Op1	M1	∞	t1	t2	0	t1	t2	0	t1	t2	0	t1	t2
		M2	t1	∞	t3	t1	0	t3	t1	0	t3	t1	0	t3
		M3	t2	t3	∞	t2	t3	0	t2	t3	0	t2	t3	0
	Op3	M1	0	t1	t2	∞	t1	t2	0	t1	t2	0	t1	t2
		M2	t1	0	t3	t1	∞	t3	t1	0	t3	t3	0	t3
		M3	t2	t3	0	t2	t3	∞	t2	t3	0	t2	t3	0
Part2	Op2	M1	0	t1	t2	0	t1	t2	∞	t1	t2	0	t1	t2
		M2	t1	0	t3	t1	0	t3	t1	∞	t3	t1	0	t3
		M3	t2	t3	0	t2	t3	0	t2	t3	∞	t2	t3	0
	Op4	M1	0	t1	t2	0	t1	t2	0	t1	t2	∞	t1	t2
		M2	t1	0	t3	t1	0	t3	t1	0	t3	t1	∞	t3
		M3	t2	t3	0	t2	t3	0	t2	t3	0	t2	t3	∞

표7. Machine Setup Holon(MSH)

			Part1						Part2					
			Op1			Op3			Op2			Op4		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Part1	Op1	M1	∞	s2	s3	0	s5	s6	0	s8	s8	0	s5	s6
		M2	s1	∞	s3	s4	0	s6	s7	0	s8	s4	0	s6
		M3	s1	s2	∞	s4	s5	0	s7	s8	0	s4	s5	0
	Op3	M1	0	s2	s3	∞	s5	s6	0	s8	s8	0	s5	s6
		M2	s1	0	s3	s4	∞	s6	s7	0	s8	s4	0	s6
		M3	s1	s2	0	s4	s5	∞	s7	s8	0	s4	s5	0
Part2	Op2	M1	0	s2	s3	0	s5	s6	∞	s8	s8	0	s5	s6
		M2	s1	0	s3	s4	0	s6	s7	∞	s8	s4	0	s6
		M3	s1	s2	0	s4	s5	0	s7	s8	∞	s4	s5	0
	Op4	M1	0	s2	s3	0	s5	s6	0	s8	s8	∞	s5	s6
		M2	s1	0	s3	s4	0	s6	s7	0	s8	s4	∞	s6
		M3	s1	s3	0	s4	s5	0	s7	s8	0	s4	s5	∞