한국정밀공학회지 제 28 권 3 호 pp. 339-348 March 2011 / 339
Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 28, No. 3, pp. 339-348

재구성형 유연가공라인을 위한 시나리오 기반 시스템 셋업 및 스케줄링 체계

A Scenario based Framework for System Setup and Scheduling in Reconfigurable Manufacturing Systems

이동호[1,✉], 김지수[1], 김형원[1], 도형호[1], 유재민[1], 남성호[2]
Dong-Ho Lee[1,✉], Ji-Su Kim[1], Hyung-Won Kim[1], Hyoung-Ho Doh[1], Jae-Min Yu[1] and Sung-Ho Nam[2]

1 한양대학교 산업공학과 (Department of Industrial Engineering, Hanyang Univ.)
2 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부 (Manufacturing Convergence Technology R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology)
✉ Corresponding author: leman@hanyang.ac.kr, Tel: 02-2220-0475

Manuscript received: 2010.8.20 / Revised: 2010.11.17 / Accepted: 2010.12.1

Reconfigurable manufacturing system (RMS), alternatively called changeable manufacturing, is a new manufacturing paradigm designed for rapid change in hardware and software components in order to quickly adjust production capacity and functionality in response to sudden changes in market or in regulatory requirements. Although there has been much progress in hardware components during the last decade, not much work has been done on operational issues of RMS. As one of starting studies on the operational issues, we suggest a framework for the system setup and scheduling problems to cope with the reconfigurability of RMS. System setup, which includes batching, part grouping, and loading, are concerned with the pre-arrangement of parts and tools before the system begins to process, and scheduling is the problem of allocating manufacturing resources over time to perform the operations specified by system setup. The framework consists of 8 scenarios classified by three major factors: order arrival process, part selection process, and tool magazine capacity. Each of the scenarios is explained with its sub-problems and their interrelationships.

Key Words: Reconfigurable Manufacturing System (재구성형 제조시스템), System Setup and Scheduling (시스템 셋업 및 스케줄링), Framework (체계), Scenario (시나리오)

1. 서론

고객요구의 다양화 및 고객화의 증대로 인한 빈번한 신제품 출시, 제품별 수요와 생산량의 변동, 공정기술의 발전 및 변화와 같은 제조환경의 변화에 제조업체들은 즉각 대응해야 할 필요성이 증가하게 되었다. 이에 제품 또는 수요의 변화에 대처할 수 있는 제품설계 기술뿐만이 아니라 설계된 제품을 생산하는 제조시스템의 변화까지 요구받게 되었고, 이에 대응하기 위하여 다양한 제조/생산 패러다임이 시대의 변화에 맞추어 제안되어 왔다.[1-6]

이러한 제조/생산 패러다임들 중 대표적인 것으로 유연제조시스템(flexible manufacturing system: FMS)이 있다. FMS 는 제품의 형태/수량의 다변화 및 제품의 수명주기 단축이라는 제조환경에 대응하기 위하여 개발된 첨단 생산시스템으로 다품종 소량생산체제 하의 유연성(flexibility)과 소품종 대

량생산체제 하의 생산성(productivity)을 동시에 획득할 수 있는 형태의 생산시스템으로 현재 전 세계적으로 다양한 형태의 FMS 가 운영 중에 있다. FMS 의 기본적인 이점으로는 생산성 증대, 노동비용 감소, 품질 향상 등이 있으며 특히 새로운 제품생산을 준비하는데 드는 준비시간 및 비용 감축으로 인한 유연성이 확보되어 다양한 제품을 동시에 생산할 수 있는 능력을 갖추고 있다.

이러한 FMS 가 가지는 다양한 이점에도 불구하고 고정되어 있는 설비구조로 인하여 추가적인 기능을 설치하거나 시스템의 확장을 고려할 때 고가의 경비지출을 감안해야 하며, 시스템의 정상화까지는 오랜 시간이 걸린다는 기본적인 한계점을 가지고 있다. 그 밖에 FMS 가 가지고 있는 한계점들을 정리하면 다음과 같다.[3]

1) 시스템 운용 측면에서의 사용자 중심의 소프트웨어 개발의 어려움
2) 시스템 신뢰성의 문제
3) 고정된 하드웨어/소프트웨어로 인하여 기술의 진부화 위험이 높음

이상의 FMS 가 가지는 한계점들을 극복하고 더욱 급격한 생산환경의 변화에 대응하기 위하여 생산 시스템을 빠르고 효율적으로 재구성할 수 있는 새로운 생산시스템 패러다임인 재구성형 생산시스템(reconfigurable manufacturing systems: RMS)이 등장하게 되었다. 일반적으로 RMS 란 예측 불가능한 시장수요에 따른 부품 종류 및 생산량의 갑작스런 변화에 효율적으로 대응할 수 있도록 하는 재구성력을 갖춘 첨단 제조시스템으로 정의할 수 있다.[1,2] 여기서, 재구성력(reconfigurability)이란 고객의 요구에 대비하여 제조시스템 내 여러 구성요소들을 효율적이고 지속적으로 변화 혹은 재구성할 수 있는 능력을 의미하며 재구성 범위는 크게 하드웨어 측면과 소프트웨어 측면으로 나눌 수 있다. 여기서 하드웨어 측면의 경우 설비구조와 관련이 있고 소프트웨어 측면의 경우 시스템 운용과 관련이 있다.[6]

RMS 에 관한 연구들을 살펴보면 RMS 개요 및 시스템 설계에 관한 연구는 많은 반면 RMS 운용에 관한 연구는 매우 제한적으로 수행되어 왔으며 추가적인 연구가 필요한 분야임을 알 수 있다. (RMS 에 관한 기존연구는 다음 장에서 소개한다.) 이에 본 연구에서는 RMS 의 운용에 관련된 핵심 의사결정 문제들 중 주요한 주제인 시스템 셋업 및 스케줄링 문제(system setup and scheduling problems)에 대한 체계를 제안하고자 한다. 여기서, 시스템 셋업 문제란 RMS 를 가동하기 전에 결정해야 할 문제로 가공품 선택 및 작업/공구의 기계 할당과 관련된 문제가 있으며 스케줄링 문제란 각 기계에서 가공품의 가공순서를 결정하는 문제를 말한다. 본 연구에서 제안하는 시스템 셋업 및 스케줄링 체계는 RMS 를 운영하는 다양한 기업의 환경에 적용이 가능하도록 기존 FMS 에서의 생산계획 및 스케줄링 체계를 확장한 시나리오를 기반 체계의 형태로 제안한다.

본 논문 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 2 절에서는 RMS 와 관련된 기존연구를 정리하고 3 절에서는 RMS 에 대한 전반적인 개요 및 본 연구에서 대상으로 하는 RMS 를 설명한다. 4 절에서는 RMS 운용의 기본구조 및 관련 하부문제들을 설명하고 5 절에서는 본 연구에서 제안하는 시나리오 기반 시스템 셋업/스케줄링 체계 및 각 시나리오별 개략적인 접근방법을 설명한다. 마지막으로 6 절에서는 본 논문의 내용을 요약하고 관련 추후 과제를 제시한다.

2. 기존연구

20 세기 말 기본적인 개념이 소개된 이후 RMS 에 대한 개요, 시스템 설계 및 운용에 관한 다양한 연구가 수행되었다. 먼저, RMS 개요에 대한 연구로 Koren et al.[1] 과 Park[2] 은 시장변화에 대해 효율적이며 신속한 대응을 위한 기술로서 생산시스템에서의 재구성력이 필요함을 주장하였고 새로운 생산 방식으로서의 RMS 는 재구성이 가능한 기계들과 제어장치 그리고 그것들을 체계적으로 설계하고 신속하게 초기가동하기 위한 방법론으로 이루어짐을 강조하였다. 이후 Mehrabi et al.[3] 은 여러 형태의 제조 기술 및 RMS 에 대하여 기본적인 정의를 소개하였고 RMS 의 영향력 및 적용을 위한 전제 조건 및 한계 등에 대하여 설명한 후 관련 연구주제를 제시하였다. 또한, Mehrabi et al.[7] 과 Elmaraghy[4] 는 FMS 와 RMS 의 동향 및 전망에 대하여 전반적인 소개를 하였다. 특히, Elmaraghy[4] 의 경우 RMS 는 필요한 경우 최소의 비용으로 시스템을 빠르게 변화시킬 수 있는 생산시스템이라고 정의하고 RMS 의 구성요소가 가져야 할 특성을 정리하였다. 또한, 기존의 FMS 와 RMS 의 특성을

비교하였고, RMS 는 물리적, 논리적 측면에서의 재구성력을 갖추어야 한다고 소개하였다. Bi et al.[6] 은 RMS 의 설계와 관련된 여러 핵심주제에 대하여 논의하였고 RMS 개발과 관련된 논문들을 정리하였다. 이외에 RMS 의 개요와 관련된 연구논문들로는 Koren and Ulsoy,[8] Mehrabi and Ulsoy,[9] Bollinger and Rusnak[10] 등이 있다.

다음으로, 하드웨어 재구성에 관련된 문제로서 대표적인 연구로 Youssef and Elmaraghy[11] 은 RMS 의 하드웨어 재구성과 관련하여 기계의 배치, 장비의 선택, 공정의 할당을 결정하는 문제를 다루고 관련 사례연구를 소개하였고 이후 Youssef and Elmaraghy[12] 는 이를 확장하였다. Deif and Elmaraghy[13] 는 RMS 에서 어떻게 시스템의 확장능력을 운영하는 것이 비용측면에서 유리한지 즉, 수요자의 수요를 만족시키기 위하여 시스템능력 범위에서 언제 시스템을 재구성할 것인가와 얼마만큼을 그 범위로 할 것인지를 비용측면에서 결정하는 문제에 대하여 연구하였다. Bi et al.[14] 의 경우 기존 RMS 전체를 대상으로 하던 관점에서 탈피하여 RMS 하드웨어 재구성의 가장 기본적인 요소인 재구성형 기계의 설계문제에 대하여 그 필요성 및 학문적, 현실적 주제에 대한 정의와 기존 연구방법론들을 소개하는 포괄적인 연구를 하였다. 이외에 RMS 의 시스템 설계문제와 관련된 연구로는 Spicer and Carlo,[15] Youssef and Elmaraghy,[16] Dou et al.[17] 등이 있다.

3. RMS 개요

3.1 RMS 정의 및 특성

앞에서 설명한 바와 같이 RMS 의 개념이 소개된 것인 불과 10 여 년 전이며 대표적으로 Koren et al.[1] 은 시장수요의 급격한 변화나 일상적인 시스템 변화 요구에 대응하기 위하여 주어진 제품 군 범위 안에서 생산용량이나 제조기능 등의 조정을 위한 하드웨어나 소프트웨어를 변경할 수 있도록 초기에 설계한 생산시스템으로 정의하고 있다. (그 밖의 유사한 정의들은 Bi et al.,[6] Mehrabi et al.,[3] Liles and Huff[18] 등을 참조하기 바란다.)

RMS 는 변종변량이며 예측 불가능한 수요의 변화에 대처하기에 적합한 생산시스템의 개념이지만 이를 구축하기 위해서는 실제적으로 하드웨어 및 소프트웨어의 재구성력이 뒷받침되어야 한다. 이를 위하여 처음부터 재구성이 가능하도록 설계되어야 하고 신속하고 신뢰성 있게 통합될 수 있는 하드웨어/소프트웨어 모듈을 사용하여 만들어져야 하며, 그렇지 않을 경우 재구성과정에 많은 시간이 소요되고 비실용적이 된다.

일반적으로 RMS 는 제한된 유연성을 가지는 중품종 중량생산에 적합한 제조시스템으로 알려져 있으며 정확히 언제, 얼마만큼의 생산능력과 기능을 가져야 하는지를 결정해야 하며 이를 위한 기본적인 특성들을 정리하면 다음과 같다.[19]

1) 모듈방식(modularity): 주요 구성요소(구조물, 축, 제어기, 소프트웨어, 공구 등)의 모듈화

2) 통합성(integrability): 기계와 제어모듈은 구성요소 통합을 위한 인터페이스와 함께 설계

3) 고객화(customization): 특정한 부품 군에 필요한 유연성만을 제공함으로써 비용을 줄이거나 개방형 구조 기술에 의한 제어 모듈의 통합

4) 변환성(convertibility): 공구, 파트 프로그램, 고정구의 교환, 수동조절 등의 재구성 사이 변환 시간이 최소화

5) 자율진단(diagnosability): 초기 가동관리 시간을 줄이기 위해서는 수용 불가한 제품 품질의 검출이 필수적이며 재구성된 시스템이 안정된 품질의 부품을 생산하도록 신속히 튜닝

생산시스템 형태의 관점에서 RMS 는 전용가공라인(dedicated line system: DLS)과 FMS 사이에 존재할 수 있는 중간형태의 패러다임으로 볼 수 있다.[1,2] RMS 에 관한 정확한 이해를 위하여 Koren et al.[1] 및 Park[2] 은 설비구조, 시스템의 대상, 시스템의 확장성 및 유연성을 기준으로 세 가지 생산시스템을 비교하였고 이를 정리하면 아래의 Table 1 과 같다.

Table 1 Comparison of RMS, DMS and FMS

	DMS	RMS	FMS
Machine structure	Fixed	Adjustable	Fixed
System focus	Part	Part family	Machine
Scalability	No	Yes	Yes
Flexibility	No	Customized	General

즉, RMS 는 변경 가능한 설비구조라는 측면에서 DLS 및 FMS 와 다르며 특히 유연성 측면에서 기존의 FMS 보다는 높은 수준의 고객중심 유연성을 가지고 있다.

3.2 대상 RMS 의 구조 및 형태

본 연구에서 대상으로 하는 RMS 는 기본적으로 여러 개의 재구성형 제조 셀(reconfigurable manufacturing cell: RMC)로 구성된다. 각 RMC 에서는 CNC (computer numerical control) 기계에 의해 필요한 가공작업이 수행되며 가공품의 RMC 내 기계간 이동은 자동 자재취급시스템(automated material handling system)에 의해 수행된다. 그리고 RMS 전체는 컴퓨터에 의하여 통제된다.

본 연구에서 대상으로 하는 RMS 는 기본적인 재구성력을 제외하고는 기존 FMS 의 구조와 거의 유사하다. 따라서 RMS 내 각 CNC 기계에는 공구매거진(tool magazine)이 있어 여러 종류의 공구를 장착할 수 있으며 장착된 공구형태에 따라 해당 작업(operation)들을 수행할 수 있다. 공구교환의 경우 자동 공구교환장치(automatic tool changer)에 의해 수행되어 공구준비 시간이 거의 소요되지 않는다. 단, 가공품이 시스템에 투입되기 전 팰릿(pallet)에 가공품을 얹고 고정구(fixture)로 가공품을 고정시키는 것은 준비 작업장(setup station)에서 작업자가 수행한다. 그리고 가공품은 loading/unloading 작업장을 통하여 시스템에 투입되고 나올 수 있다.

아래의 Fig. 1 은 여러 개의 RMC 로 구성되는 RMS 의 예(RMC 1, RMC 2, ... , RMC n)를 보여주고 있으며 각 RMC 별로 서로 다른 공정을 수행할 수 있는 다른 기계들과 관련 장비들로 구성될 수 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 RMS 는 기존의 FMS 와는 달리 기계, loading/unloading 작업장, 자재취급 장비 등의 하드웨어 구성요소를 재구성하여 변화하는 수요에 신속하게 대응할 수 있는 능력을 갖추고 있다.

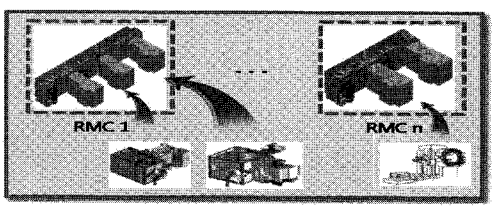

Fig. 1 RMS: an example

4. RMS 운용: 기본구조 및 하부문제

본 연구에서 대상으로 하는 RMS 운용에 대한 시스템 셋업 및 스케줄링에 대한 기본구조를 설명하면 아래의 Fig. 2 와 같다. 앞에서 설명한 바와 대상 시스템 셋업 및 스케줄링 문제는 기존의 FMS 에서의 관련 문제와 유사하나 RMS 의 형태 및 운용 방식이 다양할 수 있다는 측면에서 기존의 FMS 와 차이점을 가진다. (FMS 에서의 시스템 셋업 문제에 대해서는 Stecke[20] 을 참조하기 바란다.)

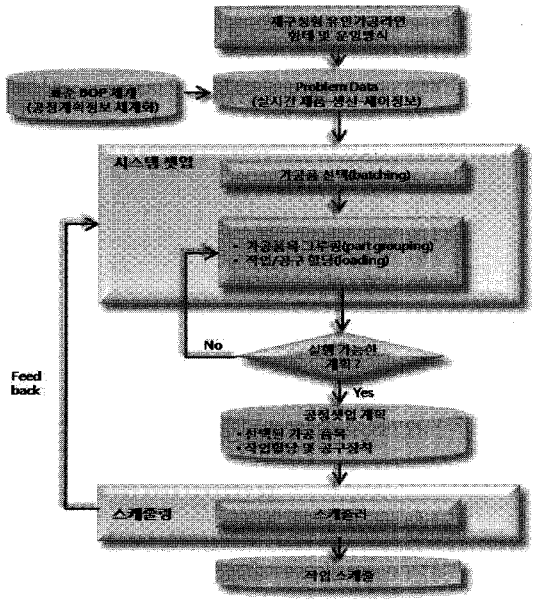

Fig. 2 Basic structure for system setup and scheduling in RMS

앞의 Fig 2 에서와 같이 본 연구에서 제안하는 RMS 운용의 기본구조는 크게 시스템 셋업 및 스케줄링으로 구성된다.

먼저, 시스템 셋업 문제란 가공품을 시스템에 투입하여 가공하기 전에 정해야 할 의사결정 문제로 다양한 RMS 의 운용방식에 따라 가공품을 어떻게 선택해야 하며, 작업 및 공구를 기계에 어떻게 할당할지를 다루는 문제로 정의할 수 있다. 시스템 셋업의 하부문제로는 가공품 선택 문제, 가공품 집합화 문제 및 작업/공구할당 문제가 있으며 각 문제에 대한 간략한 정의 및 관련성을 설명하면 다음과 같다.

1) 가공품 선택 문제(batching problem): RMS 를 포함하는 전체 생산시스템에 대한 생산계획에 따라 주어진 가공품들 중 주어진 계획기간 동안 RMS 에서 생산할 가공품의 종류 및 양을 결정하

는 문제를 의미한다. (기계용량 제약이나 공구 매거진 용량제약, 공구관련 제약 등으로 인하여 주어진 가공품별 생산량을 만족시키지 못하는 경우 일정 정도의 물량을 외주 처리할 수 있다.)

2) 가공품 집합화 문제(part grouping problem): 여러 개의 RMC 로 구성되는 RMS 의 경우 선택된 가공품들을 나누어 각 RMC 에 할당하는 문제를 의미한다(개별 RMC 는 독립적으로 운영되거나 RMC 간 가공품의 이동이 있을 수 있다).

3) 작업/공구할당 문제(loading problem): 가공품 선택에 의해 결정된 가공품들의 가공에 필요한 작업(operation)과 공구(tool)를 기계에 할당하는 문제를 의미한다. (각 작업이 기계에 할당될 때마다 필요한 공구들이 기계에 장착되므로 공구 매거진의 용량을 고려해야 하며 한 기계에서 공구 매거진 용량이 부족하여 필요한 공구를 장착할 수 없게 될 경우 해당 공구를 필요로 하는 작업을 해당 기계에서 수행할 수 없게 된다.)

다음으로, 스케줄링 문제란 주어진 시스템 셋업 하에 필요한 작업들을 기계에 할당하고 할당된 작업들의 작업순서를 결정하는 문제를 의미한다. 여기서, 기계 별 작업 할당의 경우 작업/공구할당 문제에서의 경우와 유사하나 작업/공구할당 문제의 경우 주어진 작업을 수행할 수 있는 기계를 결정하는 문제이나 스케줄링의 경우 가공 중 주어진 작업/공구할당에 의해 작업 별 가능한 기계들 중 하나를 선택하는 문제로 정의된다. RMS 스케줄링 문제는 FMS 스케줄링 문제와 유사하며 이론적으로는 대안기계가 존재하는 개별공정 일정문제(job shop scheduling problem)로 볼 수 있다.

5. RMS 시스템 셋업 및 스케줄링 체계

본 절에서는 제안하는 시스템 셋업 및 스케줄링 체계에 대하여 설명한다. 본 연구에서 제안하는 체계는 기존 FMS 의 생산계획 및 스케줄링 체계를 RMS 형태 및 운용방식을 고려하여 확장한 시나리오 기반 체계이다. 즉, RMS 를 도입하는 업체에서 사용하는 하드웨어 형태 및 시스템 운용방식에 따라 각기 다른 시나리오가 적용되며 관련 시스템 셋업 및 스케줄링 시스템도 재구성이 되어야 한다. 이러한 기본 개념은 RMS 의 소프트웨어 측면에서의 재구성과 관련이 있으며 RMS 의 기본 개념과도 일치한다.

먼저, 시나리오의 분류를 위한 세 가지 주요 기준을 설명한 후 각 시나리오 별 하부문제 구조 및 접근방법을 설명한다.

5.1 시나리오 분류기준

본 연구에서는 RMS 시스템 셋업 및 스케줄링 체계에 영향을 미치는 주요한 요인으로 세 가지 - 주문도착 방식(정적 주문도착/동적 주문도착), 가공품 선택 방식(고정 뱃치/유연 뱃치) 및 공구매거진 용량(대용량/소용량) - 를 결정하였다. 전체적으로는 결정된 개별 요인의 수준에 따라 총 8 가지 시나리오를 제안하며 각 시나리오 별로 하부문제의 형태와 접근방법의 개요를 제시한다.

먼저, 세 가지 시나리오 분류기준에 대하여 자세히 설명하면 다음과 같다.

1) 주문도착 방식(order arrival process): RMS 에서 가공할 가공품에 대한 수요가 어떻게 도착하는가를 의미하며 다음과 같은 두 가지 방식을 고려한다(주문도착 방식은 가공품 선택과 밀접히 관련된다).

- 정적 주문도착(static arrivals): 계획기간 초기 생산해야 할 가공품이 미리 정의되어 변화가 없는 경우(낮은 변동성을 의미한다)
- 동적 주문도착(dynamic arrivals): 계획기간 동안 가공품목에 대한 수요가 연속적으로 도착하는 경우(높은 변동성을 의미한다)

2)가공품 선택 방식(batching process): 도착한 가공품 집합에서 주어진 기간에 생산할 가공품을 어떻게 선택하여 뱃치를 구성하는지를 의미하며 다음과 같은 두 가지 방식을 고려한다.

- 고정 뱃치(fixed batching): 계획기간 초기 가공품목 선택 후 선택한 가공품목만 생산한다.
- 유연 뱃치(flexible batching): 계획기간 초기 가공품목 선택 후 가공완료 등과 같은 시스템 변동사항 발생 시 새로운 가공품을 선택한다.

3) 공구매거진 용량(tool magazine capacity): 공구매거진의 가용한 슬롯 수를 의미하며 두 가지 방식을 고려한다(공구매거진 용량은 작업/공구 할당 문제와 밀접히 관련되며 이에 따라 가공품 선택 및 스케줄링 문제와도 관련이 있다).

- 대용량(unlimited tool magazine capacity): 자동 공구공급 시스템이 존재하거나 공구매거진 용량이 충분하여 공구매거진의 용량제약을 고려하지 않고 가공이 가능한 경우를 의미한다.

• 소용량(limited tool magazine capacity): 공구매거진 용량이 충분하지 못하여 일부 선택된 가공품들만 가공이 가능한 경우를 의미한다.

이상의 시나리오 분류기준에 대한 내용을 정리하여 그림으로 표현하면 아래의 Fig. 3 과 같다.

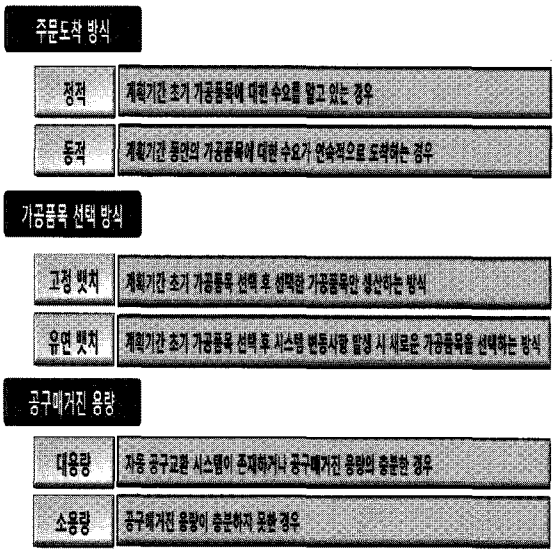

Fig. 3 Factors to classify scenarios

이상의 세 가지 분류기준에 따라 본 연구에서는 아래의 Table 2 와 같은 8 가지의 기본 시나리오를 제안한다.

Table 2 Basic scenarios for the RMS operation

Scenarios	Order arrival process	Batching process	Tool magazine capacity
1	Static	Fixed	Limited
2	Static	Flexible	Limited
3	Static	Fixed	Unlimited
4	Static	Flexible	Unlimited
5	Dynamic	Fixed	Limited
6	Dynamic	Flexible	Limited
7	Dynamic	Fixed	Unlimited
8	Dynamic	Flexible	Unlimited

5.2 시나리오 별 개략적 접근방법

본 절에서는 앞에서 설명한 8 가지 시나리오에 대하여 시나리오 별 접근방법에 대한 개요를 설명한다. 단, 본 논문에서는 RMS 에 대한 시나리오 기반 시스템 셋업 및 스케줄링을 제안하는 것이 주요 연구내용이므로 각 하부문제에 대한 구체적인 모형과 알고리듬은 추후연구로 둔다.

앞에서 설명한 8 가지 시나리오는 크게 정적인 주문도착만을 고려하는 시나리오 1, 2, 3, 4 와 동적인 주문도착을 고려하는 시나리오 5, 6, 7, 8 로 구분이 가능하다.

먼저, 정적인 주문도착 하의 시나리오 1, 2, 3, 4 에 대한 접근방법을 설명하면 다음과 같다. (정적인 주문도착의 경우 초기 가공품 집합에는 변화가 없다.)

1) 시나리오 1(정적 주문도착, 고정 뱃치, 소용량 공구매거진): 모든 시나리오들 중 가장 기본이 되는 변동성이 가장 낮은 시나리오이며 소용량 공구매거진으로 공구매거진 용량제약이 주요한 제약이 된다. 시나리오 1 에 대한 접근방법을 그림으로 표현하면 아래의 Fig. 4 와 같다.

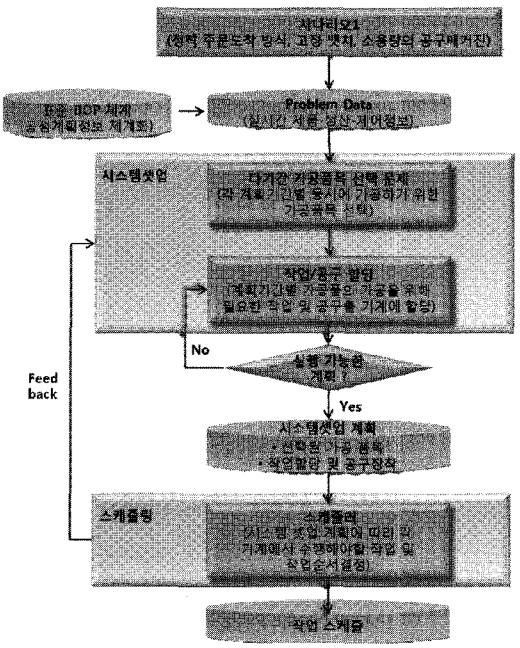

Fig. 4 A structure for system setup and scheduling in Scenario 1

위 Fig 4 에서 표현한 각 하부문제에 대한 설명은 다음과 같다.

• 가공품 선택 문제: 정적인 주문도착으로 계획시평(planning horizon) 초기에 생산해야 할 가공품이 미리 정의되어 있는 경우로 공구매거진 용량 제약 및 시간용량 제약 하에 각 계획기간(period)별로 동시에 가공하기 위한 가공품을 선택하기 위한 다기간 가공품 선택문제를 해결해야 한다.

• 작업/공구할당 문제: 계획기간 별 주어진 가공품들의 가공을 위해 필요한 작업 및 공구를 기계에 할당하는 문제이며 기계의 공구매거진 용량 제약, 공구수명, 가용공구의 수, 공구공유 등 공구 관련 제약을 고려한 문제를 해결해야 한다.

• 스케줄링 문제: 계획기간 별 주어진 가공품 및 작업/공구할당 계획에 따라 각 기계에서 수행해야 할 작업을 결정하고 각 기계에 할당된 작업들을 순서를 결정하는 문제를 해결해야 한다.

2) 시나리오 2(정적 주문도착, 유연 뱃치, 소용량 공구매거진): 시나리오 1 과 동일하나 초기 가공품을 선택 후 임의의 가공품의 완료와 같은 시스템 변동사항 발생 시 새로운 가공품을 선택해야 하며 공구매거진 제약을 고려해야 한다. 각 하부문제에 대한 설명은 다음과 같다.

• 가공품 선택 문제: 유연 뱃치 방식을 따르므로 계획시평 초기에 공구매거진 용량 및 시간용량 제약을 고려한 단일기간 가공품 선택문제를 해결한 후 임의의 가공품이 완료될 때 마다 선택가능 가공품 집합으로부터 추가로 가공품을 선택한다.

• 작업/공구할당 문제: 초기에 선택된 가공품들에 대한 작업 및 공구를 할당한 후 가공품의 변화가 있을 때 마다 추가된 가공품목에 대한 작업 및 공구를 기계에 할당한다.

• 스케줄링 문제: 초기에 선택된 가공품들에 대한 작업 스케줄을 결정 후 가공품의 변화가 생길 때마다 현재의 작업 스케줄을 수정해야 한다.

3) 시나리오 3(정적 주문도착, 고정 뱃치, 대용량 공구매거진): 시나리오 1 과 동일하나 공구매거진이 대용량이므로 공구매거진 제약을 고려할 필요가 없다. 시나리오 3 에서의 각 하부문제에 대한 설명은 다음과 같다.

• 가공품 선택 문제: 시나리오 1 과 동일하나 공구매거진 용량 제약이 완화된다. (단, 일정한 계획기간이 있을 경우 시간 용량 제약을 고려하여 가공품 선택한다.)

• 작업/공구할당 문제: 시나리오 1 과 동일하나 공구매거진 제약을 고려할 필요가 없어 작업/공구할당 문제의 중요도가 낮아져 경우에 따라 고려할 필요가 없어진다. (단, 기계간 이송시간에 비해 가공시간이 짧을 경우 이송장비의 부하를 낮추는 방향의 작업/공구할당은 필요하다.)

• 스케줄링 문제: 시나리오 1 과 기본적으로 동일하나 작업/공구할당 계획이 없을 경우 각 작업별 할당 가능한 기계집합을 위주로 작업할당 및 작업순서를 결정한다. (단, 자동 공구이송장치가 존재할 경우 작업순서뿐만이 아니라 각 기계 별 필요한 공구의 교환 순서를 동시에 결정해야 한다.)

4) 시나리오 4(정적 주문도착, 유연 뱃치, 대용량 공구매거진): 시나리오 2 와 동일하나 공구매거진 제약을 고려할 필요가 없다. 각 하부문제에 대한 설명은 다음과 같다.

• 가공품 선택 문제: 시나리오 2 의 경우와 같이 유연 뱃치로 가공품을 선택하고 변경하나 공구매거진 용량을 고려하지 않는다.

• 작업/공구할당 문제: 시나리오 2 의 경우와 동일하나 공구매거진 용량 제약을 고려하지 않으므로 작업/공구할당 문제의 중요도가 낮아져 경우에 따라 고려할 필요가 없어진다. (단, 기계간 이송시간에 비해 가공시간이 짧을 경우 이송장비의 부하를 낮추는 방향의 작업/공구할당은 필요하다.)

• 스케줄링 문제: 시나리오 2 의 경우와 동일하나 공구매거진 용량 제약을 고려하지 않으므로 시나리오 3 에서와 같이 작업/공구할당 계획이 없을 경우 각 작업 별 할당 가능한 기계집합을 위주로 작업할당 및 작업순서를 결정한다. (단, 자동 공구이송장치가 존재할 경우 작업순서뿐만이 아니라 각 기계 별 필요한 공구의 교환 순서를 동시에 결정해야 한다.)

앞에서 설명한 정적인 주문도착 하의 시나리오 1, 2, 3, 4 에 대한 접근방법을 간략히 정리하면 다음의 Fig. 5 와 같다.

다음으로, 동적인 주문도착 하의 시나리오 5, 6, 7, 8 에 대한 접근방법을 설명하면 다음과 같다. (이 경우 선택대상 가공품 집합은 연속적으로 변한다.)

1) 시나리오 5(동적 주문도착, 고정 뱃치, 소용량 공구매거진): 시나리오 1 과 동일하나 가공품이 연속적으로 도착하는 동적인 주문도착으로 의사결정 시점에서 갱신된 선택대상 가공품 집합을 고려해야 하며 소용량 공구매거진으로 공구매거진 제약도 고려해야 한다. 각 하부문제에 대한 설명은 다음과 같다.

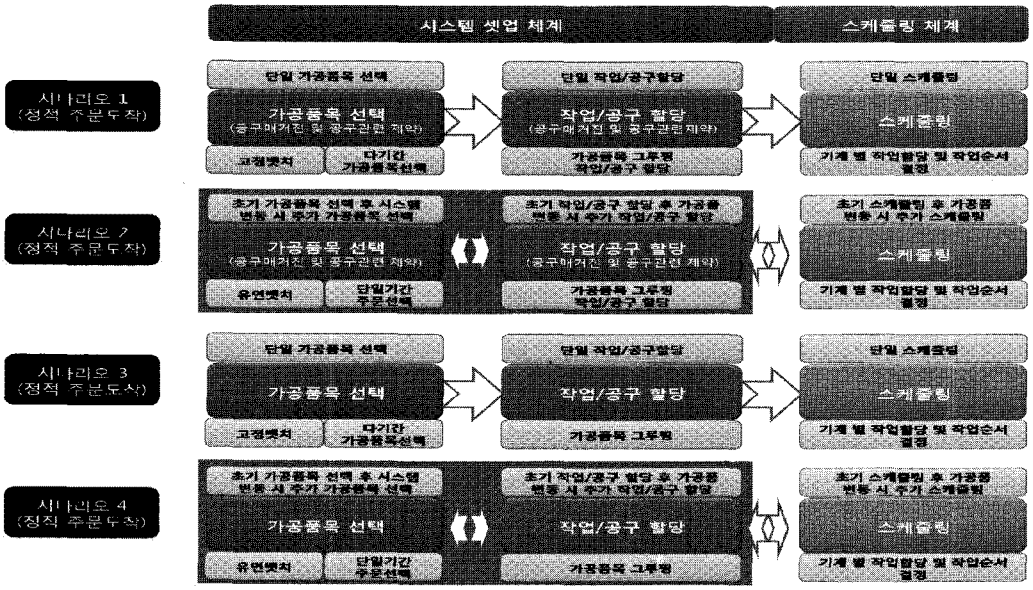

Fig. 5 Scenarios under static order arrivals

• 가공품 선택 문제: 고정 뱃치 방식을 따르므로 동시에 가공할 가공품을 선택한 후 해당 가공품들이 완료된 시점에 선택되지 못한 가공품과 추가로 도착한 가공품들을 대상으로 다음에 가공할 가공품목을 선택하는 단일기간 가공품 선택문제를 해결하며 공구매거진 제약 및 계획기간이 있을 경우 시간 용량제약을 추가로 고려해야 한다.

• 작업/공구할당 문제: 주어진 가공품들에 필요한 작업 및 공구를 기계에 할당하는 문제로 시나리오 1 의 경우와 동일하다.

• 스케줄링 문제: 주어진 가공품 및 작업/공구 할당 계획에 따라 각 기계에서 수행해야 할 작업을 결정하고 각 기계에 할당된 작업들을 순서를 결정하는 문제로 시나리오 1 의 경우와 동일하다.

2) 시나리오 6(동적 주문도착, 유연 뱃치, 소용량 공구매거진): 시나리오 2 와 동일하나 동적인 주문도착을 고려하므로 가공품 선택 시 추가로 도착한 가공품을 고려해야 한다. 각 하부문제에 대한 설명은 다음과 같다.

• 가공품 선택 문제: 유연 뱃치 방식으로 선택되지 못한 가공품과 추가로 도착한 가공품들을 대상으로 새로운 가공품을 선택한다.

• 작업/공구할당 문제: 시나리오 2 와 동일한 문제를 고려한다.

• 스케줄링 문제: 시나리오 2 와 동일한 문제를 고려한다.

3) 시나리오 7(동적 주문도착, 고정 뱃치, 대용량 공구매거진): 시나리오 5 와 동일하나 공구매거진이 대용량이므로 공구매거진 제약을 고려할 필요가 없다.

시나리오 8(동적 주문도착, 유연 뱃치, 대용량 공구 4) 매거진): 시나리오 6 과 동일하나 공구매거진이 대용량이므로 공구매거진 제약을 고려할 필요가 없다.

앞에서 설명한 동적인 주문도착 하의 시나리오 5, 6, 7, 8 에 대한 접근방법을 간략히 정리하면 다음의 Fig. 6 과 같다.

6. 결론

본 논문에서는 재구성능력을 갖춘 RMS 의 주요한 시스템 운용문제인 시스템 셋업 및 스케줄링 문제에 대한 기본체계를 제시하였다. 시스템 셋업 문제란 RMS 의 가동 전에 결정해야 할 문제로 가공품 선택, 가공품 집합화 및 작업/공구 할당 문제를 말하며 스케줄링 문제란 각 기계에서 가공품의 가공순서를 결정하는 문제를 말한다. 본 연구에서는 RMS 를 운영하는 다양한 기업의 환경에 적용이 가능하도록 기존 FMS 에서의 생산계획 및 스케줄링 체계를 확장하여 하드웨어 형태 및 운용방식에 따른 시나리오 기반 체계를 제시하였다. 여

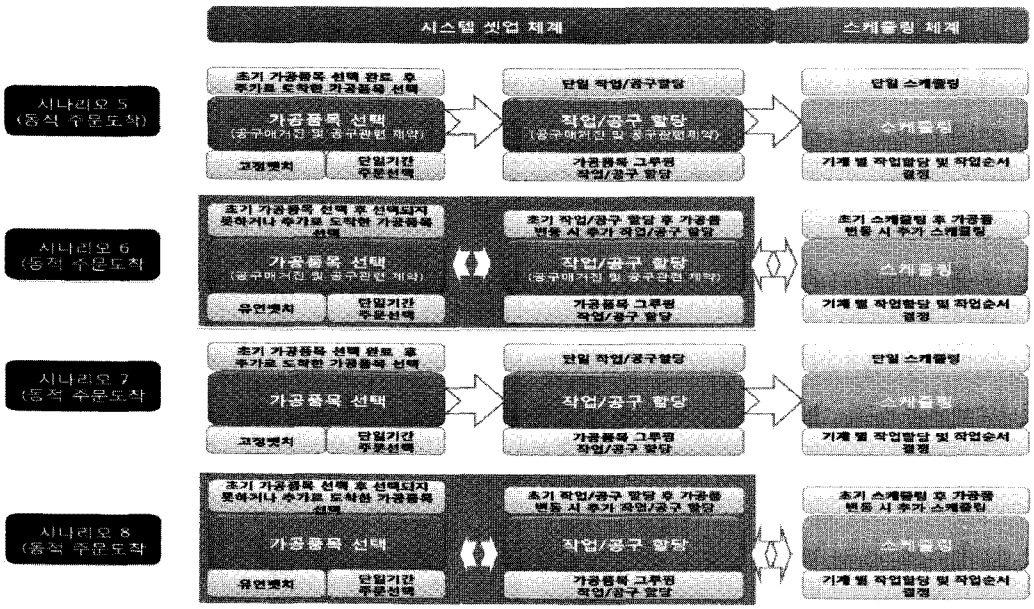

Fig. 6 Scenarios under dynamic order arrivals

기서, 시나리오를 분류하는 기준으로는 RMS 하드웨어 형태와 운용방식을 반영하도록 주문도착 방식(정적/동적), 가공품목 선택 방식(고정 벳치/유연 벳치), 공구 매거진용량(소용량/대용량)을 선택하였다. 그리고 세 가지 분류기준에 따라 8 가지 시나리오를 제안하였으며 각 시나리오 별 접근방법을 개략적으로 제시하였다.

본 논문에서 제안하는 시스템 셋업 및 스케줄링 체계는 하드웨어 중심의 기존연구의 한계를 보완하여 소프트웨어 측면에서의 RMS 운용 체계를 제시하는데 의미가 있다. 특히, 시나리오 기반체계 및 개별 시나리오는 RMS 를 도입하여 운용하는 기업의 환경에 맞게 적용이 될 것으로 기대하며 RMS 사용자의 다양한 제조상황을 반영하여 관련 하부문제들이 재구성 될 수 있도록 하였다.

본 연구와 관련된 추후 연구는 다음과 같다. 첫째, 각 시나리오 별 하부문제들에 대한 모형 및 알고리듬을 개발하고 통합하는 문제를 다루어야 한다. 이를 통하여 개별 시나리오의 한계점 및 개선점을 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 다음으로, 시나리오 간의 관련성을 더욱 구체화해야 할 것으로 판단된다. 마지막으로, 각 시나리오 별 사례연구를 통하여 현실적인 고려사항을 반영한 실질적인 RMS 시스템 셋업 및 스케줄링 체계를 완성해 나가야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술 개발사업 (과제번호: 10033895-2009-11) 지원으로 수행되었으며 한국정밀공학회 2010 춘계 학술대회논문집에 발표한 Lee et al.[21] 의 논문을 확장한 것임.

참고문헌

1. Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwoki, T., Pritschow, G., Ulsoy, A. G. and van Brussel, H., "Reconfigurable Manufacturing Systems," Annals of the CIRP, Vol. 48. No. 2, pp. 527-540, 1999.
2. Park, M. W., "Reconfigurable Manufacturing Systems," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17. No. 2, pp. 15-32, 2000.
3. Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G. and Koren, Y., "Reconfigurable Manufacturing Systems: Key to Future Manufacturing," Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 11, No. 4, pp. 403-419, 2000.
4. ElMaraghy, H. A., "Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems Paradigm," International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 17, No. 4, pp. 261-276, 2006.
5. Wiendahl, H. P., ElMaraghy, H. A., Nyhuis, P., Zah,

M. F., Wiendahl, H. H., Duffie, N. and Brieke, M., "Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation," Annals of the CIRP, Vol. 56, No. 2, pp. 783-809, 2007.

6. Bi, Z. M., Lang, S. Y. T., Shen, W. and Wang, L., "Reconfigurable Manufacturing Systems: the State of the Art," International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 4, pp. 967-992, 2008.
7. Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G., Koren, Y. and Heytler, P., "Trends and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems," Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 13, No. 2, pp. 135-146, 2002.
8. Koren, Y. and Ulsoy, A. G., "Reconfigurable Manufacturing Systems," Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC/RMS) Report #1, 1997.
9. Mehrabi, M. G. and Ulsoy, A. G., "State-of-the-Art in Reconfigurable Manufacturing Systems," Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC/RMS), Report #2, Vol. I, 1997.
10. Bollinger, J. and Rusnak, R., "A Vision for Manufacturing in 2020," NSF Design and Manufacturing Grantees Conference, 1998.
11. Youssef, A. M. and Elmaraghy, H. A., "Modelling and Optimization of Multiple-aspect RMS Configurations," International Journal of Production Research, Vol. 44, No. 22, pp. 4929-4958, 2006.
12. Youssef, A. M. and Elmaraghy, H. A., "Optimal Configuration Selection for Reconfigurable Manufacturing Systems," International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 19, No. 2, pp. 67-106, 2007.
13. Deif, A. M. and Elmaraghy, W., "Investigating Optimal Capacity Scalability Scheduling in a Reconfigurable Manufacturing System," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 32, No. 5-6, pp. 557-562, 2007.
14. Bi, Z. M., Lang, Y. T. and Orban, M. V., "Development of Reconfigurable Machines," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 39, No. 11-12, pp. 1227-1251, 2008.
15. Spicer, P. and Carlo, H. J., "Integrating Reconfiguration Cost into the Design ok Multi-period Scalable Reconfigurable Manufacturing Systems," Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 129, No. 1, pp. 202-210, 2007.
16. Youssef, A. M. and Elmaraghy, H. A., "Availability Consideration in the Optimal Selection of Multiple - aspect RMS Configurations," International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 21 , pp. 5849-5882, 2008.
17. Dou, J., Dai, X. and Meng, Z., "A GA-based Approach to Optimize Single-product Flow-line Configuration s of RMS," IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 654-659, 2008.
18. Liles, D. H. and Huff, B. L., "A Computer based Production Scheduling Architecture Suitable for Driving a Reconfigurable Manufacturing System," Computers and Industry, Vol. 19, No. 1-4, pp. 1-5, 1990.
19. Landers, R. G., Min, B. K. and Koren, Y., "Reconfigurable Machine Tools," Annals of the CIRP, Vol. 50, No. 1, pp. 269-274, 2001.
20. Stecke, K. E., "Design, Planning, Scheduling and Control Problems of Flexible Manufacturing Systems," Annals of Operations Research, Vol. 3, No. 1, pp. 1-12, 1985.
21. Lee, D.-H., Kim, J.-S., Kim, H.-W., Doh, H.-H., Yu, J.-M. and Nam, S- H., "A Framework for System Setup and Scheduling in Reconfigurable Manufacturing Systems," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 105-106, 2010.