

생산시스템 혁신을 위한 자가재구성 가능 분산 생산시스템

*류광열¹, 홍원표¹, 송기형¹, 이석우¹, 최현종¹

¹ 한국생산기술연구원 e가공공정팀

A Self-reconfigurable Manufacturing System for Innovating Manufacturing Systems

*K. Y. Ryu¹, W. P. Hong¹, K. H. Song¹, S. W. Lee¹, H. Z. Choi¹

¹ e-Machining Team, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH)

Key words : Self-reconfigurable Manufacturing System, Manufacturing Innovation, Fractal Manufacturing System

1. 서론

최근의 제품생산 시스템은 급변하는 소비자의 요구를 충족시키고 글로벌 시장에서의 유리한 선점을 확보하기 위해 납기단축, 품질향상과 더불어 다양한 제품생산이 가능한 다기능 복합화된 장비 및 시스템의 도입이 요구되어지고 있다. 또한 주어진 시스템 내에서의 생산성 및 품질향상을 위한 다양한 혁신 기법(6-sigma, Value Engineering 등)이 적용되어지고 있다. 그러나 시스템의 구조적 모델은 합리적으로 구성되어 있다는 가정 하에 현 시스템에 발생하는 여러 장애요인에 대한 해결 및 개선을 위한 연구는 자칫 시스템 운영의 근본적인 오류를 범할 수 있다. 다시 말해, 근본적인 개선요인이 바로 생산시스템의 구조적 개선임에도 불구하고 다른 곳에서 이에 대한 해결을 위해 과도한 시간과 비용을 낭비하게 되는 셈인 것이다.

기본적으로 급속한 시장 환경의 변화와 소비자의 불확실한 요구조건에 대응하기 위해서는 생산시스템이 유연하고 능동적으로 대응하여 신속한 제품생산이 가능해야 비로소 선진국 수준의 제조 경쟁력을 확보할 수 있게 된다. 이와 함께 최근 제조장비 또한 전용 부품·장비의 혼용보다는 빠르게 발전하는 신기술을 융합하여 고객 및 신수요산업의 새로운 요구조건에 대응할 수 있는 맞춤형 복합장비가 요구되고 있는 추세이다. 결국 과거 보편적으로 진행되었던 다품종 대량생산의 제조 패러다임 하에서는 전용장비의 활용을 통한 정형화된 생산시스템이 주도했던 반면, 이제는 다양한 제품변화에 능동적으로 대처하여 신속하게 제품을 생산해 낼 수 있는 새로운 시스템의 기능이 요구되어진다고 할 수 있다.

본 논문에서는 생산시스템의 근본적인 구조적 문제를 짚어보고 제조혁신을 위한 방안의 하나로서 제조시스템의 혁신방안에 대해 알아보도록 한다. 이는 자가재구성이 가능한 생산시스템의 도입으로 가능한데 생산시스템이 자가재구성력을 갖기 위해서는 어떠한 기능적 요구조건이 필요한지 또한 알아보도록 한다.

2. 자가재구성 생산시스템의 요구조건

자가재구성력(Self-reconfigurability)이란 시스템 내부·외부의 환경변화에 대해 자율적으로 반응·대처하는 능력을 말한다. 이러한 기능이 생산시스템에 탑재되었을 경우 시스템은 자율적 장비·설비의 논리적 연결구조에 대한 자율적·능동적·지능적 변화가 가능하므로 환경대처 능력이 극대화 되며, 또한 시스템에 발생하는 이상상황에 대한 조기 대처가 가능하므로 생산성 향상에 도움이 될 수 있다. 한마디로 더욱 똑똑한 생산시스템이 구축되어 운영됨으로써 Operator에 의한 실수 및 오류를 줄일 수 있다.

이해를 돕기 위해 누구나 이해할 수 있는 예를 들어보자. 우리나라는 IT 인프라 및 인터넷 망의 급속한 확산으로 인해 거의 모든 가정집에 PC를 한대씩은 보유를 하게 되었다. PC를 사용함에 있어 가장 유용한 기능 중 하나는 바로 Plug-and-Play라는 것이다. 물론 이를 가능하게 하기 위해서는 다양한 장치인식을 위한 기본적인 드라이버가 프로그램 내에 깔려 있어야 하지만 일반인들은 이를 몰라도 쉽게 그 기능을 사용할 수 있다. 그러나 불과 10년 전만 해도 새로운 장치를 PC에 인식하게 하기 위해서는 드라이버 파일을 별도로 인스톨해야 하는 불편함이 존재하였다.

제품생산을 위한 생산시스템의 경우, 시스템 내에 새로운 장비

가 도입되거나 기존에 사용하던 장비를 제거하는 상황을 살펴보면 특정 장비의 설치·제거를 위해 주변 장비의 가동을 중단시켜야만 한다. 또한 장비의 도입 및 제거 후에는 제품생산을 위한 각 프로세스를 담당하는 장비를 새롭게 구성하고 Planning 및 Scheduling을 다시 해야 하는 등 많은 후속작업이 있는 후에야 시스템은 안정적으로 운영될 수 있게 된다. 일반적으로 신제품 생산을 위한 시스템 구성에는 장비 도입 및 설치·운영 등에 많은 비용뿐 아니라 짧게는 수개월에서 길게는 수년이란 오랜 기간이 소요되고 있다. 그러나 앞서 예를 들었던 Plug-and-Play의 기능과 같이 생산시스템이 이러한 기능을 보유하고 있다면 상황은 전혀 다르게 된다. 시스템이 새로 도입되는 장비를 인식하고 자동적으로 생산계획을 새롭게 구성하여 운영될 수 있다면, 또는 시스템에서 제거되는 장비를 자동으로 인지하여 후속 처리과정을 알아서 진행시킬 수 있다면 더욱 신속한 시스템 안정화 및 제품생산이 가능하게 될 것이다. 이러한 개념은 일명 "Plug-and-Produce"라는 용어로 표현될 수 있다. 자가재구성이 가능한 생산시스템은 자율적 논리구조의 변화를 통해 시스템의 구조를 변화시킴으로써 소비자의 요구변화에 따른 제품의 생산을 신속하게 지원할 수 있다(Fig.1).

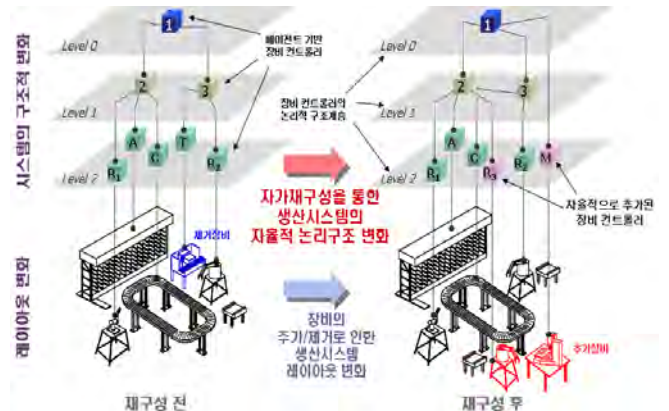


Fig. 1 An Exemplary Self-reconfigurable Manufacturing System^[1]

이처럼 외부의 환경변화에 생산시스템이 능동적으로 반응하게 하기 위한 "Reconfiguration"에 관한 연구는 다양한 시스템을 대상으로 연구되어지고 있다. 가령, 생산시스템의 구성요소를 유기체에 묘사하여 Self-organization기반의 모델을 구성한 Biological Manufacturing System(BMS), 생산시스템의 기본 구성요소를 Holon으로 모델링하여 Hierarchy(Holon을 정의하는 아키텍처) 상에서 구현한 Holonic Manufacturing System(HMS), 생산시스템을 구성하는 구성요소를 Fractal 개념을 적용하여 모델링한 Fractal Manufacturing System(FrMS)은 Reconfiguration에 대한 구현방안에 대한 연구가 진행된 대표적인 시스템이다. 또한 Reconfigurable Manufacturing System(RMS)은 Reconfiguration의 기능을 특징적으로 부각하여 구현된 생산시스템으로 현재 미시건 대학에서 Engineering Research Center for RMS를 통해 활발한 연구를 진행하고 있다.^[2]

자가재구성 기능을 생산시스템에 탑재하기 위해서는 각 장비를 담당하는 컨트롤러가 다음과 같은 요구기능을 포함해야 한다.

- **Self-similarity** : 생산시스템을 구성하고 있는 기본 단위의 구조는 장비를 표현하는 최하위 단위객체로부터 생산시스템 전체를 표현하는 최상위 객체까지 유사하게 모델링이 가능하여야 한다.
- **Self-reconfigurability** : 시스템에 존재하는 모든 컨트롤러는 자율적으로 서로간의 연결 관계를 변경함으로써 논리구조 변화에 따른 시스템의 구조를 변화시킬 수 있어야 한다.
- **Goal-forming** : 생산시스템은 자체적인 구조변화 후 자율적인 생산계획 수립 및 변경이 가능하여야 하며 이를 위해 컨트롤러는 자신이 수행할 업무를 생성할 수 있어야 한다.
- **Modularity** : 컨트롤러는 세부 기능모듈로 구성되어야 이들의 조합에 따른 컨트롤러 자체의 재구성성이 가능하다.
- **Mobility** : 모바일 에이전트 기술을 적용한 컨트롤러 구성으로 자율적 의사결정이 가능하여야 하며 네트워크 부하를 줄이기 위해서는 컨트롤러 기능모듈이 자유롭게 이동할 수 있어야 한다.

3. 자가재구성 생산시스템 : FrMS

개념적으로 자가재구성을 구현하기 위해 가장 우수한 시스템은 BMS, HMS, RMS, FrMS 중 바로 FrMS라고 할 수 있다.^[2] Reconfiguration 측면에서 특화된 시스템이 RMS이지만 자가재구성(Self-reconfiguration)에서 "Self"의 개념이 포함되려면 시스템을 구성하는 컨트롤러가 자율적으로 운영될 수 있어야 한다. FrMS는 자가재구성 기능을 발현하기 위해 필요한 요구조건을 모두 만족시킨다. 가령 Self-similarity는 FrMS의 기본구성 단위인 Fractal을 정의하고 모델링하는데 있어 Observer, Analyzer, Resolver, Organizer, Reporter의 총 5개 기능모듈을 사용함으로써 컨트롤러뿐만 아니라 전체 FrMS 자체도 모델링이 가능하며 이들 기능모듈의 역할정의를 단계별로 정의함으로써 각 Fractal을 제어할 수 있다.^[2] Fig.2는 3단계의 Fractal 구조를 도식화한 것으로 최하위 계층에 존재하는 Fractal은 가공장비, 중간계층에 존재하는 Fractal은 Workstation을, 최상위 계층의 Fractal은 바로 FrMS를 표현하고 있다. 이들 각 계층에 존재하는 모든 Fractal의 구조는 동일하게 모델링되어진다.

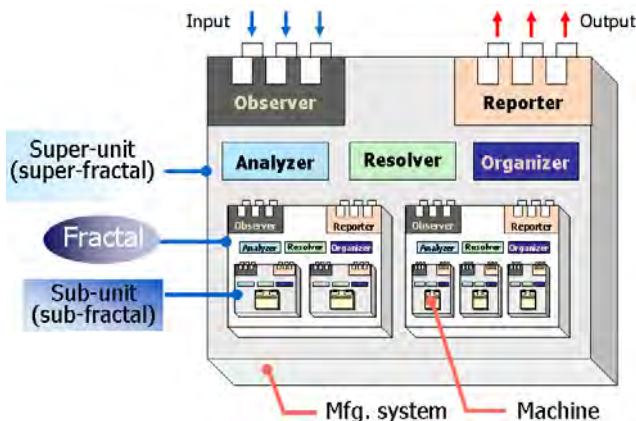


Fig. 2 Multi-level Fractal Structure in a FrMS

FrMS 내에서 Goal-formation Process(GFP)와 궁극적으로 표출하고자 하는 자가재구성은 각 기능모듈을 구성하고 있는 에이전트의 자율적 운영을 통해 이루어진다.^[3] 이를 위해 FrMS에서는 각 기능모듈을 구성하는 Fractal-agent를 정의하여 구현한 바 있다.^[1] 특히, 에이전트들은 Dynamic Restructuring Process(DRP)로 정의된 일련의 프로세스를 수행함으로써 모바일 에이전트간 협력을 통한 시스템 재구성을 수행한다.^[4] 그러나 작업자의 개입이 없는 상태로 컨트롤러의 자율성을 보장하고 지능을 부여하기 위해서는 앞으로 수행해야 할 연구내용이 많다. FrMS는 이러한 측면에서 미래의 생산시스템이 지향해야 할 바를 표현하는 하나의 예가 될 뿐 정답은 아닌 것이다.

4. 한국형 제조혁신을 위한 제조시스템 혁신 방안

제조시스템의 혁신을 통해 궁극적으로 전 제조업의 혁신을 추구하기 위해 현재 정부는 e-매뉴팩처링(한국형 제조혁신) 사업을 추진할 계획에 있다. e-매뉴팩처링 사업에 포함되는 혁신분야는 크게 4가지로, 정보화 혁신, 제조프로세스 혁신, 제조시스템 혁신 및 신제품개발 혁신이 바로 그것이다. 이 중 제조시스템 혁신을 추진하기 위한 목적은 다양한 제품요구에 대응하고 유연하게 재구성될 수 있는 자율적 분산생산시스템 개발 및 제조정보시스템과의 연동성 확보를 통해 다품종 대량 생산체제에 대응하는 것에 있다. 이를 위해 추진되는 내용으로는 크게 두 가지로 생각해 볼 수 있는데 제조시스템 동기화를 위한 생산시스템 통합 운용기술 개발과 신속한 재구성이 가능한 자율적 분산생산시스템 개발이다. 이후 Pilot Plant를 구축·운영함으로써 재구성성이 가능한 생산시스템의 적용업체 및 분야를 점진적으로 확대하여 궁극적으로는 국내 생산시스템의 선진화를 추구하고 나아가 생산시스템 관련기술에 대해 세계적인 선도 기술을 확보해 나가고자 한다.



Fig. 3 A Strategic Plan for Developing a Self-reconfigurable Manufacturing System

5. 결론

생산시스템의 패러다임 변화는 아주 조금씩 변화하지만 끊임 없이 진행되고 있다. 수직적 계층구조로부터 현재는 분산형 구조로, 두가지 구조가 혼재된 Hybrid 형의 구조까지 다양하게 변화하고 있다. 이처럼 생산시스템의 구조는 점차 복잡해지는 반면 시스템 사용자는 점점 더 쉽게 활용할 수 있는 방향으로 생산시스템은 발전하기 마련이다. 자가재구성이 가능한 시스템의 도입은 이처럼 사용자의 개입을 최소화함으로써 공정상의 오류를 방지하고 시스템 내·외부의 환경변화에 신속히 대응함으로써 단납기 생산지원을 통한 기업 경쟁력 향상에 큰 기여를 하리라 기대된다.

후기

본 논문은 산업자원부에서 수행하는 e-매뉴팩처링 기반구축사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Ryu, K., Son, Y., and Jung, M., 2003, Modeling and specifications of dynamic agents in fractal manufacturing systems, Computers in Industry, 52: 161-182
- [2] Ryu, K. and Jung M., 2003, Agent-based fractal architecture and modeling for developing distributed manufacturing systems, International Journal of Production Research, 41:4233-4255
- [3] Ryu, K. and Jung M., 2004, Goal-orientation mechanism in the fractal manufacturing system, International Journal of Production Research, 42:2207-2225
- [4] Ryu, K., Yucesan, E., and Jung M., 2006, Dynamic restructuring process for self-reconfiguration in the fractal manufacturing system, International Journal of Production Research, 44:3105-3129