

# RMS(Reconfigurable Manufacturing System)에 관한 연구 분석<sup>1)</sup>

장일환\*, 홍기성

고려대학교 산업시스템정보공학과

An analytical framework of RMS(Reconfigurable Manufacturing System)

Il-Hwan, Jang and Ki-sung, Hong

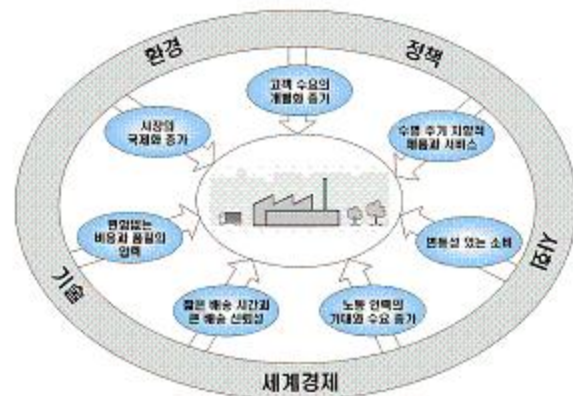
Korea University, Department of Industrial Systems and Information Engineering

Abstract : Recent advancements in technologies shorten product life cycle and demand uncertainty becomes greater. In order to satisfy this rapidly changing demand, firms now consider RMSs(Reconfigurable Manufacturing Systems) that enable mass-customization production. In this paper, we investigate the related literatures on RMS and propose several method of economic evaluation for RMS.

Key word : reconfigurable manufacturing system; mass-customization; economic evaluation;

## 1. 서론

오늘날, 시장 환경은 제조회사들이 점점 더 살아남기 힘든 거친 환경(turbulent environment)으로 변화하고 있다. <그림 1> 과 같이 경쟁자의 수와 행동(the number and the actions of competitors), 고객의 수요 행동(the demand behavior of the customer), 제품의 수명주기(the life-cycles of products), 그리고 기술의 가용성(the available technologies)은 매우 짧은 주기와 다양한 방법으로 빠르게 변화하고 있다 [8].



출처:Wiendahl와 Heger(2003)

그림 1. 제조 회사에 대한 변화 압력

이러한 환경에서 기업은 국제경쟁력을 갖기 위하여 짧은 수명주기의 다품종 제품을 대량으로 요구하는 시장 수요에 대

1) 서울시 성북구 안암5가 고려대학교 자연계캠퍼스, Tel.02-3290-3873, e-mail:zzang7226@korea.ac.kr

응하는 대량맞춤생산(mass-customization production) 체계의 구축이 절실히 요청된다. 1980년대 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System, FMS)은 생산에 대한 효율성은 다소 희생하더라도 다품종 제품을 동시에 생산할 수 있는 유연성을 극대화하려는 생산 패러다임이다. 따라서 이러한 FMS는 오늘날의 환경에서 대량생산에 따른 경제성을 얻기 어려울 뿐만 아니라 제품 수명주기 단축으로 인한 시스템 재편의 요구에 대응하기 어렵기 때문에 짧은 수명주기 다품종 제품의 대량생산에 적합하지 않다. 따라서 이러한 환경 변화에 대응하기 위해서 제조시스템은 짧은 제품수명주기에 따른 최적 재구성을 통하여 급변하는 시장 수요를 만족시킬 수 있어야 하며 동시에 대량생산의 경제성을 추구하여야 한다. 이러한 제조시스템에 대한 연구로써 재구성 가능 제조시스템(Reconfigurable Manufacturing System, RMS)에 관한 연구가 진행되고 있다.

## 2. 관련 연구 동향

1970년대 경제 불황을 유연생산시스템의 도입으로 극복한 경험이 있는 미국은, 이제 다시 대량맞춤생산을 대비하여 재구성가능 제조시스템(Reconfigurable Manufacturing System, RMS)의 개발을 선도하려한다. 미국 국립과학재단(NSF)에서는 RMS에 대한 연구를 국가발전에 반드시 필요한 연구로 선정하였다[1].

Koren, Heisel, Jovane, Moriwaki, Meitzner 등의 많은 연구자들은 RMS를 시장과 규제 변화에 대응하여 생산용량과 기능을 조정 또는 재구성할 수 있도록 시스템 또는 구성품의 구조를 신속하게 변화시킬 수 있는 시스템으로 정의하고 관

련 연구의 필요성을 나타내었다[2,3]. 또한 RMS와 관련하여 사용자 요구에 따라 그 기능을 쉽게 변화시키기 위해 표준 모듈의 집합으로 조립되는 모듈러 또는 재구성가능 공작기계 (Reconfigurable Machine Tool, RMT)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[4, 19].

유럽 각국도 공작기계 산업의 경쟁력을 유지하기 위하여 15년 이상 모듈러 공작기계에 대한 연구를 수행해 왔고, 이제는 실용화 단계에 진입하였다. 최근에 Perez-Turiel et al.(2003), Denkena와 Drabow(2003)는 모듈러 제조시스템에 대해 각각 연구하였으며, Perez-Turiel et al.(2003)는 재구성가능 컨트롤러의 모듈러 설계에 대해, Denkena와 Drabow(2003)는 모듈러 공장 구조에 대해 연구하였다. 이와 같은 연구뿐만 아니라 RMS의 경제적 타당성 분석을 위한 연구도 활발히 진행되고 있는데, 이에 대해 Wiendahl와 Heger(2003), Xiaobo et al.(2000), Ohiro et al.(2003)이 각각 연구를 진행하였다.

이와 같이 국제적 연구 동향을 살펴보면 RMT와 RMS의 기계구조적 설계 및 개방형 컨트롤러에 대한 연구는 상당한 진척이 있었으며, RMS의 경제성 분석과 모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구는 이제 시작 단계임을 알 수 있다.

## 3. 기존 연구의 문제점과 연구의 필요성

기존 연구의 문제점과 본 연구의 필요성은 다음과 같이 요약될 수 있다.

### 1) RMS 설계의 종합적인 경제성을 평가할 수 있는 비용모형에 대한 연구 필요

제조시스템의 설계는 최적설계를 추구해

야한다. 그러나 제조시스템의 최적성을 판단하기는 매우 어려우며, 이를 위해서는 시설투자비, 기술적 가능성, 생산효율, 제품출하가 지연되어 발생하는 기회비용 등을 종합적으로 검토해야한다. 특히 제품수명이 짧은 다품종 제품을 대상으로 설계된 RMS가 재구성하는데 많은 비용과 긴 시간을 소요해야 한다면 그 기간 동안의 생산 차질은 RMS 도입의 경제성을 상쇄하기에 모자랄 수도 있을 것이다. RMS 설계의 종합적인 경제성을 평가할 수 있는 비용모형에 대한 연구는 RMS의 실용화뿐만 아니라 생산시스템 최적설계를 위해서 매우 필요하다.

## 2) 기술적으로 가능한 최적의 RMS를 설계할 수 있는 종합적인 방법론의 개발이 필요

종합적으로 판단할 때 RMS가 실용화되기 위해서는 기업이 이를 도입할 때 얻을 수 있는 이익을 분석할 수 있는 경제성 모형과, 경제성 분석을 기반으로 최적의 RMS 설계 대안을 도출할 수 있어야 하며, 각각의 설계 대안에 대해 신속하게 평가할 수 있어야 한다. 따라서 기술적으로 가능한 최적의 RMS를 설계할 수 있는 종합적인 방법론의 개발이 필요하다.

우리는 다음 장에서 RMS설계에 대한 종합적인 경제성을 평가할 수 있는 몇 가지 방법을 제시한다.

## 4. RMS 설계에 대한 경제성 평가 방법

본 장에서 기업이 새로운 수요에 대응하기 위해 RMS를 설계하려할 때 필요한 경제성 분석에 요구되는 몇 가지 방법을 제시한다. 서론에서 언급한 것처럼 RMS

시스템은 제품들의 짧은 제품수명주기에 대비한 생산용량의 최적 재구성을 가능하게 한다. 이를 통해 급변하는 시장 수요를 만족시킬 수 있고 동시에 대량생산의 경제성을 제공할 수 있다. 즉 RMS시스템은 생산라인의 재구성을 용이하게 함으로써 기존의 생산용량결정문제에 있어서 또 다른 접근방법을 제시한다. 기업은 생산용량을 결정하는 데 있어 다양한 제품들의 수명주기들을 전체적으로 고려해서 최적의 한계 생산용량을 결정하는 RMS 생산라인을 구성할 수 있다. 이런 경우는 동종의 제품들에 대한 경쟁이 치열한 경우 기업들은 시장환경을 고려해서 어느 제품을 기준으로 최대 생산용량을 할당할 것인가? 몇 개의 생산라인을 구성할 것인가? 등에 대한 문제와 관련된다. 또한 신제품의 수명주기를 고려해서 기존의 생산라인을 재구성하거나 조정하는 RMS 생산라인을 구성할 수 있다. 구제품의 수요가 하락하고 있는 경우 기업은 이런 구제품의 생산용량을 재구성해서 신제품을 생산할 수 있도록 할당할 수 있다. 우리는 본 연구에서 이러한 두 가지 경우에 대한 연구방법을 제시한다.

### 4.1 수명주기를 통합적으로 고려하여 전체 생산용량을 결정하는 경우

기업 내의 다양한 제품 생산과 관련된 생산라인의 구성은 모든 제품을 하나의 라인에서 생산하는 유연생산시스템과 각각의 제품들에 대해 각각의 전용라인구성을 통한 생산방법사이에서 다양한 대안이 가능하다. 예를 들어 4개 제품에 대한 예측 수요가 그림 1과 같다고 가정하면 생산라인 구성은 다음과 같은 4개의 대안이 제시 된다.

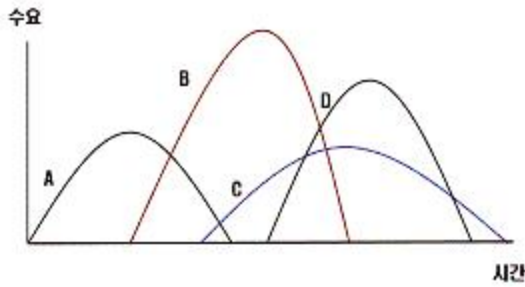


그림 2. 제품 수명 주기 예

- 1) 대안 1. One line : ABC→BCD  
 하나의 생산라인을 통해 제품A, B, C를 생산하다가 A제품의 수요가 소멸되면 생산라인을 재구성해서 제품B, C, D를 생산한다.
- 2) 대안 2. One line : AB→BC→CD  
 하나의 생산라인을 통해 제품A, B를 생산하다가 생산라인을 재구성해서 제품B, C를 생산하고, 제품 B의 생산량이 어느 정도 만족되면 생산라인을 재구성해서 제품C, D를 생산한다.
- 3) 대안 3. Two lines : A→C와 B→D  
 첫 번째 생산라인에서는 제품A를 생산하다가 생산라인 재구성을 통해 제품 C를 생산하고, 두 번째 생산라인에서는 B 제품을 생산하다가 생산라인 재구성을 통해 제품 D를 생산한다.
- 4) 대안 4. Two lines : A→D와 B→C  
 첫 번째 생산라인에서는 제품A를 생산하다가 생산라인 재구성을 통해 제품 D를 생산하고, 두 번째 생산라인에서는 B 제품을 생산하다가 생산라인 재구성을 통해 제품 C를 생산한다.

#### 4.2 수명주기를 개별적으로 고려하여 순차적으로 생산용량을 결정하는 경우

기업들은 구제품의 수명주기에 따라 신제품의 생산시기 및 용량을 결정할 수 있다. 즉 구제품의 수요가 떨어지는 것이 예

상되는 경우 신제품의 출시를 위해 생산용량을 재구성해야 한다. 일반적으로 신제품의 수요는 제품의 출시와 동시에 어느 기간 까지 상승한다고 가정하면 구제품에 할당된 생산용량을 서서히 축소함과 동시에 신제품의 생산용량을 증가시켜야 한다. 그러나 이렇게 기업들이 신제품에 대한 출시시기를 결정한다는 가정 하에서는 구제품과 신제품의 수명주기에 따라 의사결정이 달라진다. 즉 제품 j의 수요가 감소하는 기간과 제품 j+1의 수요가 증가하는 기간의 차이에 따라 다음과 같이 세 가지 경우로 분류될 수 있다.  $H_{L,j}$ 과  $H_{D,j}$ 를 각각 제품 j의 수요가 시간에 따라 증가, 감소하는 기간 말이라 가정한다.

##### 1) $H_{D,j} < H_{L,j+1}$ 인 경우(그림 3)

$H_{D,j} < H_{L,j+1}$ 인 경우 시간에 따라 감소하는 제품 j와 시간에 따라 증가하는 제품 j+1의 고객수요곡선이 겹치는  $H_{L,j} \sim H_{D,j}$ 구간의 경우에는 두 제품에 대한 생산라인을 재구성함으로써 구제품 j에 할당된 생산용량은 축소하고 신제품 j+1에 할당된 생산용량은 확장시킬 수 있다.  $H_{D,j} \sim H_{L,j+1}$ 구간에서 제품 j+1의 만족되지 못한 수요는 라인 추가를 통한 생산용량상향조정 또는 재고비축이나 아웃소싱 등을 통해서 만족시킬 수 있다. 동시에 제품 j를 생산하던 생산라인은 제품 j+2를 생산하기 위해 재구성된다.



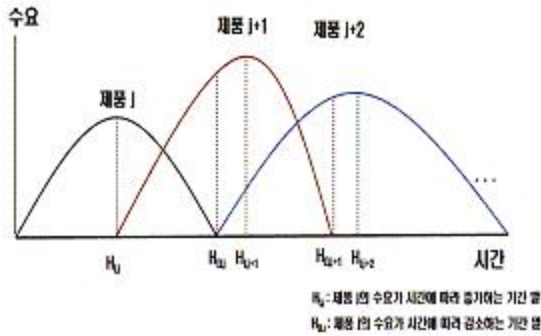


그림 3.  $H_{D,j} < H_{I,j+1}$ 인 경우의 생산용량결정계획

2)  $H_{D,j} > H_{I,j+1}$ 인 경우(그림 4)

$H_{D,j} > H_{I,j+1}$ 인 경우 시간에 따라 감소하는 제품 j와 시간에 따라 증가하는 제품 j+1의 고객수요곡선이 겹치는  $H_{I,j} \sim H_{D,j}$ 구간의 경우에는 두 제품에 대한 생산라인을 재구성함으로써 구제품 j에 할당된 생산용량은 축소하고 신제품 j+1에 할당된 생산용량은 확장시킬 수 있다.  $H_{I,j+1} \sim H_{D,j}$ 구간에서 제품 j와 j+1의 만족되지 못한 수요는 라인 축소를 통한 생산용량 하향조정 또는 재고비축 등을 통해 만족시킬 수 있다.

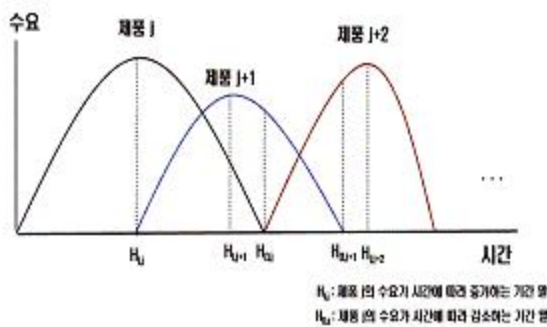


그림 4.  $H_{D,j} > H_{I,j+1}$ 인 경우의 생산용량결정계획

3)  $H_{D,j} = H_{I,j+1}$ 인 경우(그림 5)

$H_{D,j} = H_{I,j+1}$ 인 경우 시간에 따라 감소하는 제품 j와 시간에 따라 증가하는 제품 j+1의 고객수요곡선이 겹치는

$H_{I,j} \sim H_{D,j}$ 구간의 경우에는 두 제품에 대한 생산라인을 재구성함으로써 구제품 j에 할당된 생산용량은 축소하고 신제품 j+1에 할당된 생산용량은 확장시킬 수 있다.

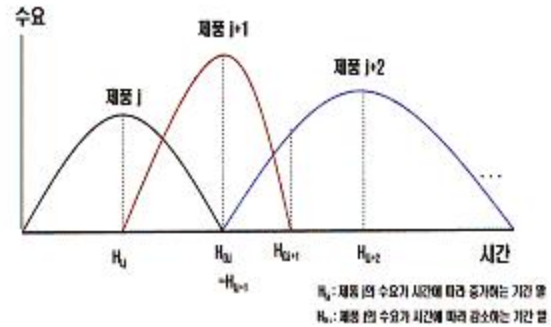


그림 5.  $H_{D,j} = H_{I,j+1}$ 인 경우의 생산용량결정계획

이런 방법을 통해 각 제품들의 수요에 따른 생산계획기간을 고려해서 n제품의 경우로 확장될 수 있다.

생산용량 재구성비용은 생산설비변경(새로운 기계도입 또는 변경, 기술변경)에 따른 고정비와 생산용량의 차이에 비례한 변동비용(단위추가생산비용, 추가인건비, 기타 추가 시설비)으로 구성될 수 있다. 또한 재구성시간은 추가 생산량의 크기에 따라 변한다. 위에서 언급한 두 가지 기업들의 생산용량결정 상황에 대해서 재구성 시간과 비용이 주어진다면 각각의 생산라인에 요구되는 생산용량을 결정할 수 있다. 따라서 시스템의 생산용량과 관련된 시스템 초기비용이 결정되며 수요에 따른 재고비용 및 부족비용들을 계산할 수 있다. 이러한 제반비용들 즉 생산라인 재구성비용, 생산시스템 초기비용, 각 제품들의 단위생산비용, 재고 유지비용 및 부족비용들을 고려하여 <그림 6>과 같이 최소의 비용으로 수요를 만족시킬 수 있는 생산시스템의 설계가 가능하다.

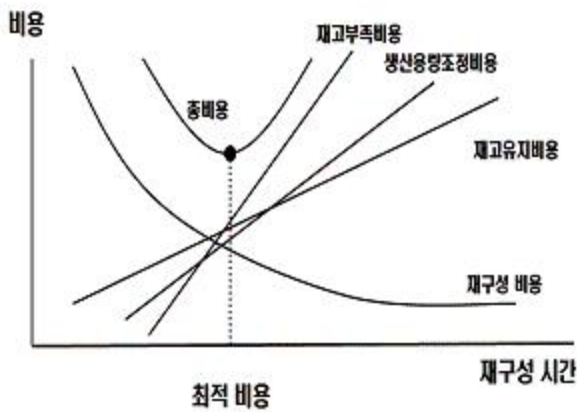


그림 6. 라인 구성 비용 곡선

### 5. 결론

오늘날의 시장 환경은 제조회사들이 점점 더 살아남기 힘들게 변화하고 있다. 이러한 환경에서 제조회사들은 이러한 환경 변화에 대응하여 경쟁력을 강화시킬 수 있는 새로운 제조시스템에 대해 관심을 가지게 되었다. 이러한 제조시스템에 대한 연구로써 RMS에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 이러한 RMS에 대한 연구 동향에 대해 살펴보았는데, 관련된 연구가 아직 시작 단계여서 관련된 연구가 많지 않았다. 따라서 아직 해결되지 못한 과제들이 많이 남아있다.

본 연구에서는 이러한 점들을 바탕으로 현재 진행되고 있는 연구와 추후 연구 방향에 대해 간단히 살펴보았고 RMS설계에 대한 경제성 평가 방법을 몇 가지 제시하였다.

이상에서 볼 수 있듯이 RMS 설계에 관한 연구는 아직 시작 단계이기 때문에 다양한 연구가 가능할 것으로 보여지며 이 분야의 지속적인 연구가 요구된다.

### 참고문헌

- [1] 황문호, Reconfigurable Manufacturing System, 연구보고서, 2004. 3., 한국과학기술정보연구원.
- [2] Koren, Y., U. Heisel, F. Jovane, T. Moriwaki, G. Pritschow, G. Ulsoy, H. Van Brussel., 1999, Reconfigurable manufacturing systems. Annals of the CIRP, 482(2), 527-540.
- [3] U. Heisel, M. Meitzner, 2003, Progress in Reconfigurable Manufacturing Systems, CIRP 2nd International Conference on RMS, Ann Arbor, MI, USA.
- [4] Moon, Y.M., Kota S., 2002, Design of Reconfigurable Machine Tools, Transactions of ASME, 124, 480-483.
- [5] 이찬홍, 유럽의 공작기계 동향, 월간 공작기계, 2005년 2월.
- [6] Perez-Turiel, J., E. Baeyens, J. G. Gonzales, 2003, Modular design of supervisory controllers for reconfigurability, CIRP 2nd International Conference on RMS, Ann Arbor, MI, USA.
- [7] Denkena, B., G. Drabow, 2003, Modular Factory Structures: Increasing Manufacturing System Changeability, CIRP 2nd International Conference on RMS, Ann Arbor, MI, USA.
- [8] Wiendahl, H.-P., C. L. Heger, 2003, Justifying Changeability: A Methodical Approach to Achieving Cost Effectiveness, CIRP 2nd International Conference on RMS, Ann Arbor, MI, USA.
- [9] Xiaobo, Z., Wang J., Zhenbi, L., 2000, A Stochastic Model of a Reconfiguration

- Manufacturing System Part 1~4 , International Journal of Production Research, 38/10, 38/12, 39/4, 39/6.
- [10] Ohiro, T., Myreshka, K. Morikawa, K. Takahashi, 2003, A Stochastic Model for Deciding an Optimal Production Order and Its Corresponding Configuration in a RMS with Multiple Product Groups, CIRP 2nd International Conference on RMS, Ann Arbor, MI, USA.
- [11] Maier-Speredelozzi, V., and Hu, S.J., 2002, Selecting Manufacturing System Configurations Based on Performance Using AHP, Transactions of NAMRI/SME, 637-644.
- [12] Gaimon, C. & Singhal, V., 1992, Flexibility and the choice of manufacturing facilities under short product life-cycles. European Journal of Operational Research, 60/2, 211-223.
- [13] Daghestani, S. F., 1998, Design and Reconfiguration of Manufacturing Systems in Agile Manufacturing Environments, Master's Thesis, Virginia Polytechnic University, Blacksburg, VA.
- [14] Ehmann, K. F., DeVor, R. E., De Meter, E. C., Dornfeld, D., Kapoor, S. G., Ni, J., Rajurkar, K., Shin, Y., Sutherland, J., 1997, A Framework for a Virtual Machine Tool, Trans. of NAMRI/SME, XXI, 143-148.
- [15] Technomatix, eM-Workplace, <http://www.tecnomatix.com>
- [16] Suh, S.H., Seo, Y., Lee, S.M., Choi, T.H., Jeong, G.S., Kim, D.Y., 2003, Modelling and Implementation of Internet-Based Virtual Machine Tools, Int. J. of Adv. Manuf. Tech., 21, 516-522.
- [17] Yoono Seo, Dae-Young Kim and Suk-Hwan Suh, 2005, "Development of Web-based CAM System," Int. J. of Adv. Manuf. Tech., published on-line (May, 2005).
- [18] 홍동표, 서운호, 재구성가능 공작기계 설계를 위한 인터넷기반 시뮬레이터, 2005 대한 산업공학회 추계학술대회.
- [19] Katz, R., Moon, Y.M., 2000, Virtual Arch Type Reconfigurable Machine Tool Design, Report of NSF ERC for RMS.
- [20] McLean, C., Riddick, F., Lee, T. Y., 2005, An Architecture and Interfaces for Distributed Manufacturing Simulation, Simulation, 81/1, 15-32.
- [21] Mönch, L., Rose, O., Sturm, R., 2003, A Simulation Framework for the Performance Assessment of Shop-Floor Control Systems, Simulation, 79/3, 163-170.
- [22] P.J. Ramadge and W.M. Wonham, 1999, The Control of Discrete Event Systems, IEEE Special Issue on Discrete Event Dynamic Systems, 77/1, pp. 81 - 98.
- [23] A. Ramirez-Serrano, C. Sriskandarajah, B. Benhabio, 2000, Automata-based Modeling and Control Synthesis for Manufacturing Workcells with Part-Routing Flexibility, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 16/6, pp. 807-823.
- [24] B.P. Zeigler, et al., 1997, The DEVS Environment for High-Performance Modeling and Simulation, IEEE C S & E, 4/3, pp.61-71.
- [25] B. Logan and Theodoropoulos, G., 2001, The Distributed Simulation of

Multiagent Systems, Proceedings of the  
IEEE, 89/2, pp.174 - 185

- [26] U.S. Defense Modeling and Simulation  
Office, 1998, High Level Architecture  
Interface Specification Draft, Version 1.3.