

환경친화적 생산시스템의 리매뉴팩처링 환경용
생산통제모형 개발에 관한 연구

A Study of the Production Control Model for a Remanufacturing
Environment of Environmentally Conscious Manufacturing System

김 현 수*

Kim, Hyun Soo

최 용 정*

Choi, Young Jung

Abstract

As one of the developing countries in the world trade market, we have to apply the environmental concept at the development of a product for environmentally conscious manufacturing system(ECMS). Traditionally, production control model has been studied based on a new product manufacturing environment. However, ECMS such as a remanufacturing system should be developed and implemented for highly competitive environment in 21C.

The objective of this study was to extend the research of production control model by applying it at the remanufacturing environment of ECMS and to test the applicability of current production control model at the remanufacturing environment by the simulation experimental study.

1. 서론

근대 산업사회가 소비자 중심의 제품 개발 및 생산으로 빠르게 전환되어가면서 생산자들은 소비자의 다양한 요구조건을 만족시키기 위하여 보다 다양한 종류의 제품을 생산해야만 한다. 그러나, 급격한 소비제품 품목의 확산은 제품의 수명을 심각하게 단축시키고 있어 이들 제품이 수명을 다하게 될 때 폐기처분 되어야 하는 폐제품의 양은 기하급수적으로 증가하고 있다. 그 결과 소각 또는 매립 등을 통한 직접적 폐기처분 활동으로 지구는 환경적으로 엄청난 피해를 입고 있으며, 짧은 기간만 사용되고 폐기처분되는 폐제품을 대체해야하는 신제품의 생산은 제한적으로 매장 되어있는 천연자원 및 에너지를 급속도로 고갈시키고 있다. 이러한 제품생산과 관련된 지구환경의 문제점들을 해결하고자 독일과 스웨덴을 비롯한 일부 선진국들은 자국의 환경문제를 해결하

* 경기대학교 산업공학과

기 위하여 나름대로의 법규정을 제시하고 자국의 기업뿐만 아니라 외국의 관련 기업들에게도 그들의 법규를 준수하도록 요구하고 있다.

21세기에는 환경문제를 고려하지 않은 제품생산은 세계를 상대로한 시장에서 더 이상 경쟁의 대상이 되지 못할 것이다. 국내 기업들도 환경을 고려한 제품을 설계 및 생산해야 할 것이며, 이는 국내기업도 신제품의 생산뿐만 아니라 사용 중 고장 또는 수명의 완료 등의 이유로 반품 및 폐기되는 제품들을 분해하고 특정부분을 수리하여 재사용하거나 재활용할 수 있도록 하는 리매뉴팩처링(remanufacturing) 생산환경을 시급히 구축해야함을 의미한다. 특별히, 국제적인 환경규제뿐만 아니라 경제적인 면에서도 리매뉴팩처링 활동은 신제품 생산에 필요한 에너지의 약 20%만을 사용하기 때문에 약 40% - 60% 정도의 생산비용을 절감시킬 수 있다고 한다[1].

2. 연구목적

리매뉴팩처링 생산은 기존의 생산환경과 그 특성면에서 상이하다. 즉, 회수 또는 수거된 리매뉴팩처링 대상물들은 상태가 각기 다르며, 분해작업을 통하여 어떤 프로세스가 차후에 필요한지를 각 대상물마다 파악하게 된다. 또한, 분해된 모든 부품중 필요한 부품에 대해서만 수리작업을 실시하고, 수리가 불가능한 부품에 대해서는 신형부품으로 대체하여 모든 수리작업이 완료된 후 최종적으로 조립을 통하여 새로운 제품으로 다시 사용될 수 있게 된다.

따라서, 본 연구에서는 리매뉴팩처링 생산환경을 새롭게 정의하고, 새로운 생산환경에 대한 기존의 생산통제모형의 적용성 여부와 리매뉴팩처링 생산환경에서의 적절한 생산통제모형을 시뮬레이션 실험을 통하여 연구하고자 한다.

3. 기존문헌 연구

리매뉴팩처링 생산환경에서의 생산통제방식에 관한 연구는 최근까지도 활발하게 진행되고 있지 못한 상황이다. 리매뉴팩처링 생산환경에 관한 연구는 1984년 Lund에 의하여 처음 시도되었다[2]. 그 후 1991년 Perry는 전통적인 생산환경의 기업과 리매뉴팩처링 생산환경의 기업을 대상으로 로트 크기 및 리드타임에 대한 조사를 실시하였으며, 그 결과 이들 생산환경 사이에는 기본적인 차이가 존재한다는 결론을 발표하였다[3]. Krupp은 1992년 교체부품 생산을 위한 계획에 활용하기 위하여 리매뉴팩처링 일정모형을 개발하여 연구하였다[4]. 그 후 1993년 Krupp은 자동차 부품의 리매뉴팩처링을 위한 기존의 자재소요계획(BOM)의 확장모형을 연구하였다[5].

본격적으로 리매뉴팩처링 생산환경에서의 일정계획에 관한 연구를 시작한 것은 Guide, Jr.와 Spencer에 의해서였다[6]. Guide는 그 후 1996년 drum-buffer-rope 이론을 사용한 리매뉴팩처링 환경에서의 일정계획에 대한 연구를 수행하였다[7]. 그러나, 전통적인 생산환경에서 활용되어왔던 주문납기일결정방식, 생산입력통제방식, 작업우선순위 결정방식으로 구성되는 생산통제모형에 대하여 새로운 리매뉴팩처링 생산환경에서의

적용성과 최적의 생산통제모델에 관한 본격적인 연구는 아직까지 활발히 진행되고 있지 못한 상황이다.

4. 연구모형

본 연구에서 사용된 연구모형은 사용중 또는 사용후 특정한 이유로 고장 또는 폐기된 제품을 대상으로 필요한 수리를 실시하여 제품의 기능 및 수명을 연장시키고, 고객 또는 새로운 판매채널로 다시 전달하는 “환경친화적 생산시스템의 리매뉴팩처링 생산환경”으로 정의한다(그림 1 참조). 환경친화적 생산시스템은 고장난 또는 폐기된 제품이 소각 또는 매립 등으로 곧바로 폐기처분되던 기존의 시스템을 개선하여 폐기화 억제를 통한 자원 및 에너지의 보존, 폐기량 억제를 통한 환경보호, 리매뉴팩처링된 제품의 연장된 수명을 통한 다양한 부분의 비용절감 효과 등을 얻을 수 있는 기존의 생산환경이 새롭게 추구해야만 하는 생산시스템이다[8].

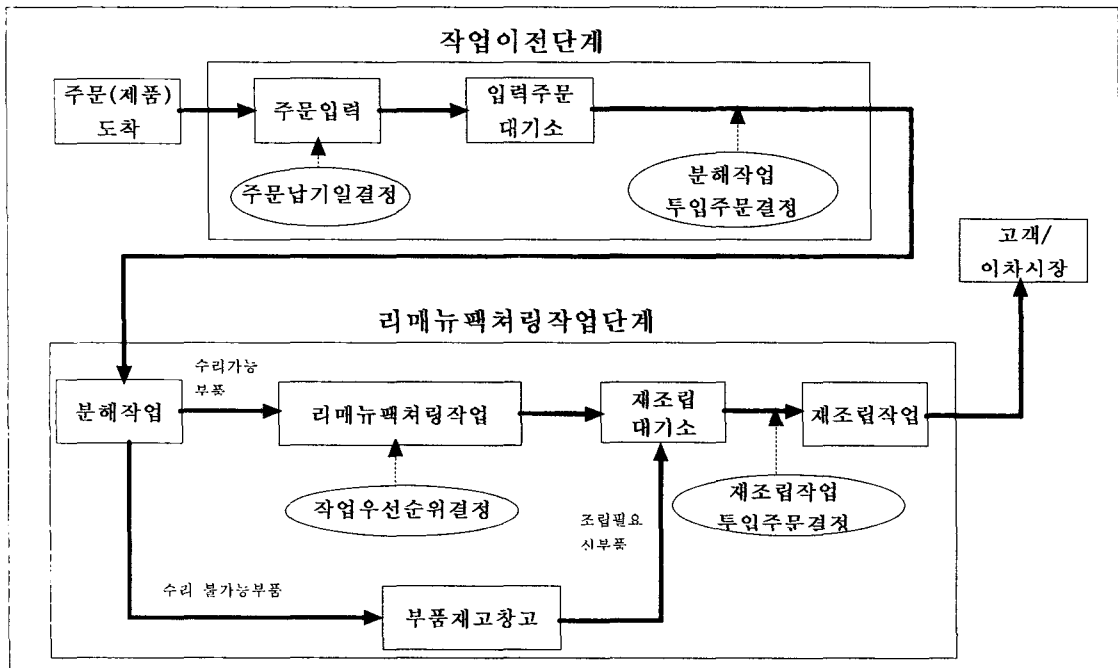


그림 1. 환경친화적 리매뉴팩처링 생산환경

분해작업 투입주문결정들에 따라 선택된 주문은 본격적으로 리매뉴팩처링 작업단계로 투입된다. 투입된 작업은 분해작업이 실시되어 수리 가능한 부품과 수리 불가능한 부품으로 구별된다. 수리 가능한 부품들은 본격적인 리매뉴팩처링 작업을 위하여 리매뉴팩처링 작업소로 옮겨진다.

본 연구에서 사용한 리매뉴팩처링 작업소는 전통적으로 생산환경의 연구모형에서 사용되어온 job-shop 형태로서 여섯 개의 각기 다른 작업을 수행할 수 있는 작업장으로

구성되어 있다. 리매뉴팩처링 작업우선순위결정률은 적절한 작업을 대기장소로부터 선정하여 작업을 실시한다. 각 주문별로 해당 수리 가능한 부품들의 리매뉴팩처링 작업이 모두 완료되면 제조립대기소로 이동하게 된다. 하나 이상의 주문이 제조립작업의 투입대상일 경우에는 제조립작업 투입주문결정률에 의하여 적절한 주문을 선정하고 제조립작업을 실시하게 된다.

본 연구에서는 리매뉴팩처링 생산환경을 포아송 분포를 이용하여 주문의 도착 정도를 세 가지의 서로 다른 상황으로 구분하였다. 또한, 입력되는 주문의 특성을 생산된 이후 사용된 기간(수명)의 상태에 따라 New(15%), Average(50%), Old(35%)로 분류하였으며, 제품구조의 분해 및 조립의 복잡성에 따라 Easy(25%), Average(50%), Hard(25%)로 분류하였다. 각 리매뉴팩처링 작업장에서의 작업시간은 지수분포를 따르며, 주문의 상태 및 복잡성의 특징에 따라 평균작업시간을 가정하였다. 또한, 제조립작업에 소요되는 시간은 상태 및 복잡성의 특징에 따라 상수로 가정하였다.

본 연구에서는 기존의 생산통제 연구에서 주로 사용되어온 (1) WIP, (2) Flow Time, (3) Tardiness 등의 세 가지의 성과측정치를 사용하였다. WIP(공정중 재고량) 성과측정치는 생산환경의 신속한 변화능력을 나타내는 척도로 사용될 수 있으며, Flow Time(리매뉴팩처링 작업시간) 성과측정치는 주문이 접수된 이후 얼마나 빨리 새로운 제품으로 수리될 수 있는가를 나타내는 척도이다. 마지막으로 Tardiness(납기일의 준수 여부) 성과측정치는 고객과의 약속을 얼마나 정확히 준수할 수 있는가를 나타내는 척도로서 기업이 얼마나 현재의 작업상황을 정확히 파악하고 있는가를 나타내고 할 수 있다.

기존의 신제품 생산환경에 대한 생산통제방식은 일반적으로 주문납기일결정, 생산입력주문결정, 작업우선순위결정의 세 가지 룰을 사용하여 왔다. 그러나, 본 연구의 모형인 리매뉴팩처링 생산환경에서는 도착된 주문에 대한 주문납기일결정률과 리매뉴팩처링작업단계로 입력될 주문을 결정하기 위한 분해작업 투입주문결정률, 그리고 리매뉴팩처링 작업이 수행되는 작업소의 각 작업장마다 새로운 작업을 수행하기 위한 작업우선순위결정률이 사용되고 있다. 또한, 리매뉴팩처링 작업이 완료된 작업에 대한 제조립작업을 최종적으로 실시하기 위하여 제조립대기소에 대기하고 있는 주문들을 상대로 제조립작업 투입주문결정률이 추가되어 사용되고 있다.

주문납기일결정률은 “작업장의 현재상태를 알 수 있는 정보를 사용하는 방식이 가장 뛰어난 성과측정치를 얻을 수 있다”는 기존의 연구결과[9]에 따라 현재 작업소의 작업상황을 나타내는 정보와 주문의 특성에 관한 정보를 사용하여 주문납기일을 결정하였다. 분해작업 투입주문결정률은 기존의 생산입력통제방식에 관한 연구에서 많이 사용되고 있는 FIFO(우선 도착한 주문을 우선적으로 투입), EDD(주문납기일이 가장 빠른 주문을 우선적으로 투입), CONORD(리매뉴팩처링 작업환경내의 총 주문수를 미리 설정하여 일정주문수(constant order)보다 적을 경우에만 FIFO룰에 의하여 투입)등의 세 가지 투입주문결정률을 사용하였다.

작업우선순위결정률은 “가능한 한 단순화되어도 생산입력통제방식이 다양한 정보를 사용할 때 우수한 결과를 발생시킬 수 있다”는 기존의 연구결과[10]와 무엇보다도 “실제 작업장내의 작업자들은 복잡한 형태의 작업우선순위결정방식 보다는 이해하기 쉽고, 다루기 쉬운 작업우선순위결정방식을 사용하려한다[11]”는 이유에 근거하여 단순한 형태의 FIFO(우선 도착한 주문을 우선적으로 작업), EDD(주문납기일이 가장 빠른 주문을 우선적으로 작업), SPT(가장 짧은 작업시간이 소요되는 주문을 우선적으로 작업)등의 세 가지 작업우선순위결정률을 사용하였다.

제조립작업 투입주문결정률도 기존의 생산입력통제방식에서 많이 사용되고 있는 FIFO(우선 도착한 주문을 우선적으로 투입), EDD(주문납기일이 가장 빠른 주문을 우선적으로 투입), CR((납기일까지의 기간/총작업시간 비율이 낮을수록 우선적으로 투입) 등의 세 가지 제조립작업 투입주문결정률을 사용하였다.

5. 실험결과

본 연구에서는 세 가지 분해작업 투입주문결정률, 세 가지 리매뉴팩처링 작업우선순위결정률, 세 가지 제조립작업 투입주문결정률을 조합하여 총 27가지 모델을 개발하였다[표 1 참조]. 또한, 이들 27가지 모델은 주문의 도착 정도에 따라 세 가지 상황으로 구분된 리매뉴팩처링 생산환경에 어떤 영향을 미치게 되는가를 ARENA 시뮬레이션 실험을 통하여 분석하였다.

표 1. 27가지 시뮬레이션 모델

(FEER)	(FEE)	(FEF)	(FFCR)	(FFE)	(FFF)	(FSCR)	(FSE)	(FSF)
FIFO	FIFO	FIFO	FIFO	FIFO	FIFO	FIFO	FIFO	FIFO
EDD	EDD	EDD	FIFO	FIFO	FIFO	SPT	SPT	SPT
CR	EDD	FIFO	CR	EDD	FIFO	CR	EDD	FIFO
(EEER)	(EEE)	(EEF)	(EFCR)	(EFE)	(EFF)	(ESCR)	(ESE)	(ESF)
EDD	EDD	EDD	EDD	EDD	EDD	EDD	EDD	EDD
EDD	EDD	EDD	FIFO	FIFO	FIFO	SPT	SPT	SPT
CR	EDD	FIFO	CR	EDD	FIFO	CR	EDD	FIFO
(CEER)	(CEE)	(CEF)	(CFER)	(CFE)	(CFF)	(CSCR)	(CSE)	(CSF)
CONORD	CONORD	CONORD	CONORD	CONORD	CONORD	CONORD	CONORD	CONORD
EDD	EDD	EDD	FIFO	FIFO	FIFO	SPT	SPT	SPT
CR	EDD	FIFO	CR	EDD	FIFO	CR	EDD	FIFO

(분해작업 투입주문결정률, 리매뉴팩처링작업 우선순위결정률, 제조립작업 투입주문결정률)

5.1 27가지 모델의 성과측정치 비교: 도착분포 POIS(6)

본 연구에서 사용된 모델중 가장 빈번하게 주문이 도착하는 경우(POIS(6))에 27가지로 분류되는 시뮬레이션 모델에 대하여 WIP, Flow Time, Tardiness 성과측정치들간에 어떤 유의차가 있는지를 파악하기 위하여 유의수준 95%의 신뢰구간 분석을 실시하였

다. 각 모델에 대한 시뮬레이션 결과는 그림1에 정리되었다. 공정상에서 가장 적은 WIP은 AnyRule + SPT + AnyRule로 구성되는 생산통제방식으로 리매뉴팩처링작업 우선순위결정률만이 시스템의 WIP에 중요한 영향을 미치고 있다.

가장 짧은 Flow Time은 (FIFO 또는 EDD) + EDD + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식으로 파악되었다. 또한, Tardiness 성과측정치의 결과는 (FIFO 또는 EDD) + EDD + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식이 가장 우수하게 납기일을 준수한다고 파악되었으며, 납기일을 가장 맞추지 못한 생산통제방식은 CFR, CFE, CFF으로 파악되어 리매뉴팩처링작업단계에 투입되는 주문의 수를 일정하게 제한하는 CONORD(constant order) 룰에 의하여 미리 설정된 주문의 납기일이 지연된다는 것을 확인할 수 있다.

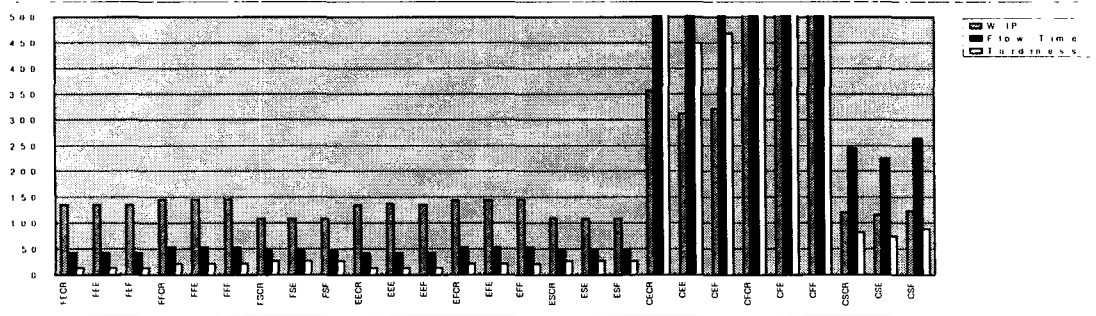


그림 1. 27가지 모델의 성과측정치 결과(도착분포 POIS(6) 경우)

5.2 27가지 모델의 성과측정치 비교: 도착분포 POIS(9)

리매뉴팩처링 작업을 위한 주문의 도착을 상대적으로 조금 늦춘 경우(POIS(9))에 27가지 시뮬레이션 모델에 대한 분석 결과(그림2 참조)에 따르면, 가장 적은 WIP은 AnyRule + SPT + AnyRule으로 구성되는 생산통제방식으로 리매뉴팩처링작업 우선순위결정률만이 시스템의 WIP에 중요한 영향을 미친다는 것을 파악할 수 있다.

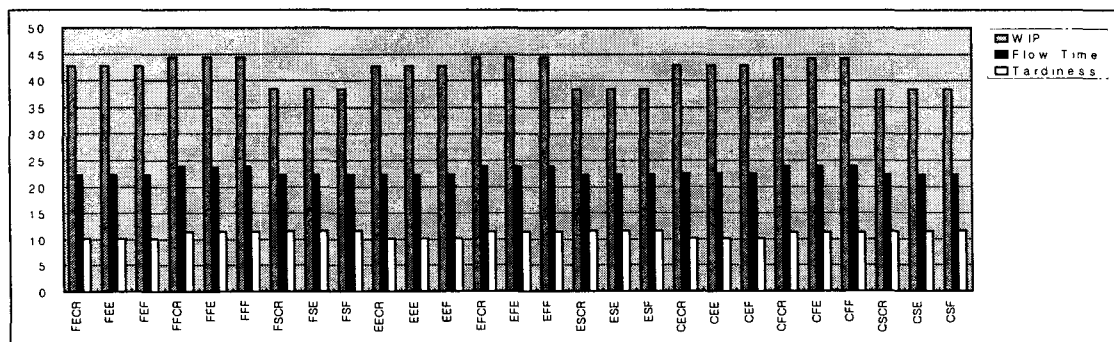


그림 2. 27가지 모델의 성과측정치 결과(도착분포 POIS(9) 경우)

가장 긴 Flow Time은 AnyRule + FIFO + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식이 가장 긴 Flow Time을 발생시킨다는 것이 파악되었으며, 기타 생산통제방식 사이에는 Flow Time에 대한 유의차가 없는 것으로 나타났다. Tardiness 성과측정치 결과는 AnyRule + EDD + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식이 가장 뛰어난 납기일 약속을 준수하고 있다는 것이 파악되었다.

5.3 27가지 모델의 성과측정치 비교: 도착분포 POIS(12)

본 모의실험에서 사용된 리매뉴팩처링 생산환경중 상대적으로 주문의 도착기간이 가장 긴 경우(POIS(12))에 27가지 시뮬레이션 모델에 대한 유의수준 95%의 신뢰구간 분석을 실시한 결과(그림3 참조), 공정상에 가장 적은 WIP은 AnyRule + SPT + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식으로 리매뉴팩처링작업 우선순위결정률만이 생산시스템의 WIP 성과측정치에 중요한 영향을 미친다는 것을 파악하였다.

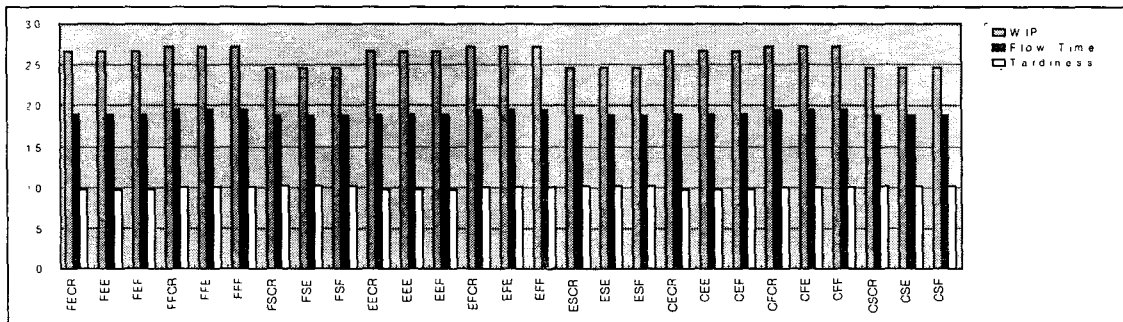


그림 3. 27가지 모델의 성과측정치 결과(도착분포 POIS(12) 경우)

가장 짧은 Flow Time은 AnyRule + (EDD 또는 SPT) + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식이 가장 짧은 Flow Time을 발생시킨다는 것이 파악되었다. Tardiness 성과측정치의 분석 결과 AnyRule + EDD + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식이 가장 우수한 Tardiness 성과를 나타내고 있음이 파악되었다. 반면에 AnyRule + SPT + AnyRule의 조합으로 구성되는 생산통제방식이 가장 부정적인 Tardiness 성과를 나타내는 것으로 파악되었다.

6. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서 수행된 모의실험의 결과 주문의 도착이 가장 빈번한 경우(POIS(6))에서는 다른 두 가지 도착률의 경우에 비해서 분해작업에서의 투입주문결정률과 리매뉴팩처링작업에서의 우선순위결정률의 조합이 리매뉴팩처링 시스템에 중요한 영향을 미치

고있다는 것을 파악할 수 있었다. 그러나, 주문의 도착이 상대적으로 줄어들수록 분해작업 투입주문결정률과 리매뉴팩처링작업 우선순위결정률의 조합은 시스템에 영향을 거의 주지 못하고 있으며, 단지 리매뉴팩처링작업에 대한 우선순위결정률만이 시스템의 성과측정치에 영향을 미치고 있다는 것이 파악하였다.

WIP 성과측정치의 경우 SPT, Tardiness 성과측정치의 경우는 EDD, Flow Time 성과측정치의 경우는 FIFO를 제외한 EDD 또는 SPT률이 리매뉴팩처링작업 우선순위결정률로 사용될 경우 가장 최상의 성과측정치를 나타내고 있다.

본 연구에서 적용한 리매뉴팩처링 생산환경은 기존의 신제품 생산환경에 관한 생산통제모형에서 사용되지 않았던 ‘제조립작업 투입주문결정률’을 추가적으로 사용하고 있다. 따라서, WIP, Flow Time, Tardiness 등의 성과측정치에 대한 제조립작업의 생산통제방식이 어떤 영향을 미치고 있는가를 파악한 결과 본 연구의 시뮬레이션 결과를 통해서 특별한 영향을 미치고 있지 않다는 결과를 얻었다.

따라서, 리매뉴팩처링 생산환경에서의 생산통제모형은 리매뉴팩처링작업에 대한 생산통제방식이 가장 중요한 역할을 수행하며, 그 외에는 분해작업 투입주문결정에 대한 생산통제방식이 이차적으로 영향을 미치고 있다고 결론지을 수 있다. 이 결론 또한 좀 더 빈번한 주문의 도착환경에 대한 향후의 실험을 통하여 제조립작업에 관한 생산통제방식의 영향력에 대하여 다시 한번 확인하는 연구가 실시되어야 할 것이다.

Reference

1. Toensmeier, P. A., 1992, Remanufacture does more than just save on investment, *Modern Plastics*, 69(4), 77-79
2. Lund, R. L., 1984, Remanufacturing, *Technology Review*, 87(2), 18-23.
3. Perry, J. H., 1991, The Impact of lot size and production scheduling on inventory investment in a remanufacturing environment, *Production and Inventory Management Journal*, 32(3), 41-45.
4. Krupp, J. A., 1992, Core obsolescence forecasting in remanufacturing, *Production and Inventory Management Journal*, 33(2), 12-17.
5. Krupp, J. A., 1993, Structuring Bills of Material for Automotive Remanufacturing, *Production and Inventory Management Journal*, 34(4), 46-52.
6. Guide, Jr. V. D. and Spencer, M. S., 1995, Rough-cut capacity planning for remanufacturing firms, *Production Planning & Control*
7. Guide, Jr. V. D., 1996, Scheduling using drum-buffer-rope in a remanufacturing environment, *Int. J. Prod. Res.*, 34(4), 1081-1091.
8. 김현수, “국내 리매뉴팩처링 산업의 활성화 방안에 관한 연구”, 한국산업경영시스템 학회 2001년 춘계학술대회 논문집, pp. 83-90, 2001.

9. Law, A. M., and Kelton, W. D., Simulation Modeling and analysis, Mcgraw Hill, 1991.
10. 김현수, “고객 및 부품공급자를 포함한 개별공정 제조시스템에서의 생산입력통제의 역할에 관한 연구”, 대한산업공학회지, Vol.23, No.3, pp.501-514, 1997.
11. Ragatz, B. L., and Mabert, V. A., “An Evaluation of Order Release Mechanism in a Job-shop Environment”, Decision Sciences, Vol.19, pp.167-189, 1988.