

품질 변동성이 존재하는 제조공정을 위한 작업투입 방안

신현준^{1*}, 유재필¹, 손민¹
¹상명대학교 경영공학과

A Dispatching Method for Manufacturing Process with Quality Volatilities

Hyun Joon Shin^{1*}, Jaepil Ryu¹ and Min Son¹

¹Dept. of Management Engineering, Sangmyung University

요약 일반적으로 후반부 공정에서의 불량은 전 제조공정에서 누적되어 온 부가가치의 손실로써 거의 완성품 가격에 해당하는 품질비용을 유발하게 되고 제조공정의 효율성에 악영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 품질 변동성이 존재하는 후반부 제조공정을 대상으로 고객이 요구한 납기와 품질수준을 동시에 반영하는 작업투입 알고리즘을 제안한다. 본 연구에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 평균납기 지연을 최소화하는 것을 목적으로 기존에 널리 사용되고 있는 대안들과의 성능 비교를 실시하여 그 우수성을 확인한다. 또한 고객이 요구한 품질요구수준에 따른 공정능력 관점에서도 본 연구에서 제시한 알고리즘이 뛰어난 성능을 보이는 것을 입증하였다.

Abstract In general, fault of a virtually finished product that is value-added one, since it has gone throughout the most of processes, may give rise to quality cost nearly amount to its selling price and can be a main cause that decreases the efficiency of manufacturing process. This paper proposes a dispatching algorithm for manufacturing process with quality volatilities with consideration of due-dates and required quality level. In order to evaluate the proposed algorithm, this paper examines the performance of the proposed method by comparing it with that of the existing dispatching algorithms in terms of minimizing the mean tardiness. In addition, from the perspective of process capability based on required quality level, this study shows the superiority of the proposed dispatching algorithm.

Key Words : Required Quality Level; Tardiness; Due-Dates; Dispatching Algorithm; Process Control

1. 서론

최근 들어 급변하는 글로벌 시장 변화 속에서 기업들은 품질과 납기만족을 중요시하는 시장 환경에서 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 고객 만족을 통한 시장경쟁력 확보를 위해 기업은 과거의 수출향상을 통한 생산성 중심의 생산목표에서 벗어나 품질보증 및 납기만족으로의 변화된 관리방법을 시도하고 있다. 이러한 생산목표의 변화는 수출에 의한 가격경쟁보다는 고객이 느끼는 품질차이에 따른 가격전략을 구사함으로써 얻는 효용이 훨씬 더 크

기 때문인 것으로 해석된다[5]. 실제로 현재 반도체와 TFT-LCD 제품은 제조공정에서 생산되어 얻는 품질수준에 따라 고객들에게 차별화된 가격으로 판매되고 있다.

최근에 품질의 중요성을 반영하여 일반적인 제조 산업에서도 품질 향상에 대한 연구와 노력이 활발히 이루어지고 있다. 특히 제조업체들은 SPC (statistical process control), APC (advanced process control), FDC (fault detection and classification) 등의 통계적 기법들을 도입하여 제조과정에서 정밀한 제어와 관리를 통해 품질을 높이려는 노력을 다각적으로 수행하고 있다[5]. 그러나

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2011-0014126).

*Corresponding Author : Hyun Joon Shin

Tel: +82-10-7148-6786 email: hjshin@smu.ac.kr

접수일 12년 02월 17일

수정일 (1차 12년 03월 23일, 2차 12년 04월 02일)

게재확정일 12년 04월 12일

제조과정은 품질에 영향을 주는 원인들이 무수히 많고 제어할 수 없는 환경요인을 내재하고 있다. 따라서 다양한 노력에도 불구하고 제조업체들은 공정에 영향을 주는 수많은 요인을 정확히 규명하지 못하여 목표하는 품질수준 달성에 많은 어려움을 겪고 있다. 국내외의 기존 연구들에 있어서도 공정 방해요인들에 의한 불안정한 수율을 작업투입 알고리즘에 직접 반영하여 고안한 시도는 극히 드문 실정이며, 이는 일반 제조현장에서 공정 환경에 따른 제품타입과 라인설비간의 세밀한 수율 데이터를 정립하지 못하였거나 수율 데이터를 활용하기 위한 체계적인 접근들이 미비했던 것에 기인한다. 일부 수율을 고려한 연구들 또한 기존의 여러 작업투입 규칙들을 상황에 따라 전략적으로 조합하여 사용하는 방식들이 대부분이며, 작업투입 규칙의 성능을 향상시키기 위해 메타휴리스틱 등의 탐색알고리즘 또는 신경망 기법과 함께 사용하려는 시도가 있었으나 이는 자동으로 제어되는 하이테크 제조현장에서 수율의 변화에 따라 작업의 투입규칙을 동적으로 변화시켜가며 실시간적으로 신속하게 적용하기에는 어려움이 있다[1].

Shin [4]의 연구는 rework 발생확률과 납기 및 순서의 존적인 작업준비시간 등을 고려한 작업투입 알고리즘을 제안하고 기존의 dispatching 규칙과 그 성능을 비교하여 우수성을 보였다. 그러나 그들이 제시한 알고리즘은 작업과 기계간에 존재하는 품질 즉, 공정능력은 작업투입 방안에 고려하지 못하였다. Ko & Baek [2]은 본연구와 유사한 문제를 대상으로 품질과 납기를 고려한 MDDQ를 제안하여 MDD 및 ATCSQ 등의 기존 알고리즘과 비교를 통해 우수성을 보였다. 그러나 이들의 연구는 제조공정에 존재하는 품질이외의 변수들에 의해 초래되는 rework 및 작업과 기계간의 rework 확률을 고려하지 않았다.

이상의 기존연구를 고찰하여 보면 제조공정에 작업을 투입하는 dispatching 알고리즘에 납기와 과거 공정데이터에 기반을 둔 작업과 기계간의 rework 확률 그리고 품질을 동시에 반영한 연구는 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 주문의 납기, rework 확률 그리고 품질수준을 동시에 고려하는 작업투입 방법론을 제안하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 대상이 되는 제조공정을 소개하고 본 연구에서 제안하는 작업투입 방법론에 대해서 설명한다. 3장에서는 실험계획 및 실험데이터를 이용하여 산출한 제안 방법론의 성과를 기존 방법론들과의 비교를 통해 분석하며 마지막으로 4장에서는 결론을 제시한다.

2. 본론

2.1 대상 제조공정의 개요

본 연구에서 다룰 제조 공정의 상황은 다음과 같다. 불안정한 수율이 존재하는 워크센터(work center)는 병렬기계(parallel machines)로 구성되어 있고 다양한 종류의 제품 타입을 갖는 작업들이 각 라인에서 가공되며 특정 라인에 작업이 할당되면 공정 중 다른 라인으로의 이동은 불가능하다. 이때 특정 라인의 설비와 특정 제품 타입 간에는 서로 다른 수율 패턴이 존재한다. 여기서 제품 타입별, 라인 설비별 수율 패턴의 변화는 제조실행시스템이나 생산시점관리시스템에 의해 일정기간 이상 누적된 데이터를 기반으로 얻을 수 있다. 만일 임의의 라인에서 가공을 마친 작업이 품질검사에서 재작업 판정을 받게 될 경우, 그 작업은 양품으로 통과될 때까지 초기화 및 재가공 절차를 거친다. 즉 요구된 품질수준에 도달하여 품질검사를 통과할 때까지 해당 작업이 라인 중 하나로 반복적으로 재투입, 가공과정을 거치게 된다.

2.2 품질수준의 표준화

일반적으로 제조업체에서는 생산 모델의 성능을 측정하기 위해 대기작업의 수, 완료작업의 수, 사이클 타임(cycle time), 가동률, 재투입률(rework rate), 납기 지연 등의 지표를 사용한다. 이와 같은 지표들은 제조공정의 생산성을 평가하는 좋은 지표가 될 수 있다. 그러나 이들 중에서 품질과 관련된 지표는 재투입률 뿐이고, 품질수준과 관련하여 표준화된 지표는 사용되지 않고 있다. 따라서 품질수준에 대한 차이를 나타냄과 동시에 작업의 품질을 측정하거나 비교할 수 있는 표준화된 품질수준의 지표가 필요하다. 본 연구에서 정의하는 품질수준은 목표값과 가공 후의 품질계측값 간의 차이로써 다음의 형태로 표현할 수 있다.

$$Qual_j = (QL_c - AL_j), \quad j \in J_c$$

여기서

j 작업의 인덱스,

c 제품타입의 인덱스,

J_c 제품타입이 c 인 작업들의 집합,

$Qual_j$ 제품타입이 c 인 작업 j 의 품질수준,

QL_c 제품타입이 c 의 공정 품질수준의 목표값,

AL_j 제품타입이 c 인 작업 j 의 실제 품질계측값이다.

작업 품질수준 $Qual_j$ 는 제품타입 c 의 가공에 필요한 공정 품질수준의 목표값 QL_c 와 가공 후의 결과를 계측한 AL_j 와의 차이이다. 작업 품질수준은 가공하는 공정라인설

비가 갖는 값으로, 제품타입에 따른 가공 품질수준으로 정의된다. 가공 품질수준은 분포로 주어지므로 평균만을 사용하기에는 변동성이 존재하고, 정확한 품질수준의 차이를 구별하기 어렵다. 반면에 변동성만으로 평가할 경우 목표치와의 차이를 반영할 수 없게 된다. 따라서 가공 품질수준의 평균과 변동성을 이용하여 품질을 대표함과 동시에 동일 라인설비에서 서로 다른 제품타입의 작업들 간의 품질수준 차이를 나타낼 수 있는 표준화된 품질수준 지표의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 Ko & Baek [2]의 연구를 토대로 공정 전체를 대표하는 표준화된 품질수준 지표로 공정의 안정성을 측정하기 위해 개발된 공정능력지수(CPK: process capability index) 프레임워크를 이용하려고 한다. 공정능력지수는 제품타입별로 설계 시에 규정된 공정관리규격을 기준으로 공정의 품질 능력을 평가할 수 있도록 고안되었고, 이 프레임워크 내의 공정관리규격은 제품타입별로 동일한 평가가 가능하도록 설계 시에 규정된 값이다. 본 연구에서 도입하고자 하는 공정능력지수를 정리하면 다음과 같다.

$$CPK_c = \text{Mfn}\left(\frac{UL_c - \mu_c}{3\sigma_c}, \frac{\mu_c - LL_c}{3\sigma_c}\right)$$

여기서

$$\mu_c = \frac{1}{n_c} \sum_{j=1}^{n_c} Qual_j, \quad j \in J_c,$$

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{n_c - 1} \sum_{j=1}^{n_c} (Qual_j - \mu_c)^2}, \quad j \in J_c,$$

CPK_c 제품타입 c 의 공정능력지수,

UL_c 제품타입 c 의 공정관리규격 상한,

LL_c 제품타입 c 의 공정관리규격 하한,

μ_c 제품타입이 c 인 작업들의 품질수준 평균($LL_c \leq \mu_c \leq UL_c$),

σ_c 제품타입이 c 인 작업들의 품질수준 표준편차($\sigma_c \geq 0$),

n_c 제품타입이 c 인 작업들의 총 완료개수이다.

위의 내용은 공정능력지수를 본 연구의 상황에 맞게 수정한 것으로서, 원래 공정능력지수는 공정관리 상한 및 하한 규격을 중심으로 공정변동에 대한 규격변동의 양적인 표현과 산포의 중심에서 벗어난 정도를 표현하기 위해 고안된 것이다. 공정능력지수는 공정이 최상의 상태에 있을 때 작업들의 변동이 어느 정도인지를 표시하는 값으로 공정이 만들어 낼 수 있는 품질수준에 대한 달성 가능 능력이라고 말할 수 있다. 공정능력지수가 개별 작업의 품질수준을 나타내지는 않지만 공정전반에 걸쳐 제품타입이 c 인 작업들의 목표 품질수준에 대한 달성정도를 나타낸다. 본 연구의 가공 품질수준도 변동성과 목표점에

서의 치우침이 존재하므로 공정능력지수를 이용하면 품질수준에 대한 표준화된 계수를 계산할 수 있다는 점을 착안하였다. 따라서 본 연구에서는 공정능력지수를 표준 품질수준 지표로 사용할 수 있도록 품질인덱스를 정의하도록 한다. 공정능력지수 값은 목표점으로부터 공정 품질수준의 평균이 근접해있으면서 변동이 작으면 높은 값을 갖게 되고, 반면 공정 품질수준의 평균이 떨어져있으면서 변동이 크면 작은 값을 갖게 된다. 그러므로 본 연구에서 도입할 공정능력지수를 이용한다면 작업투입 시점에서 라인설비 별 작업들의 품질수준 분포 및 품질수준 제약을 이용하여 표준 품질수준 지표를 계산하고 비교하는 것이 가능할 뿐만 아니라 완료된 작업들에 대한 품질수준도 표준화된 지표로 표현이 가능하다.

2.3 재작업과 품질수준을 고려한 작업투입 방안

본 연구에서 제안하는 작업투입 규칙의 이름을 CRQ(Critical Ratio with Quality level)라고 정의하고, 그 개요를 설명하면 다음과 같다. CRQ는 앞 절에서 기술한 표준화된 품질수준과 재가공시간 및 셋업시간을 통해 얻어지는 가중치를 CR(critical ratio) 규칙에 반영함으로써 대기행렬(queue)의 부하감소와 워크센터의 산출량(throughput) 증가를 통해 고객 납기만족을 목표로 함과 동시에 일정 규격의 품질수준을 만족함으로써 품질비용을 최소화 하는 것을 목표로 한다. CRQ는 t 시점에 Queue에서 대기하고 있는 모든 작업들을 대상으로 흐름라인 상의 임의의 첫 라인(m)이 유희상태(idle)가 되면, 다음의 우선순위 함수($CRQ_j(t, i)$)의 값을 구하고 가장 작은 값을 갖는 작업을 해당 라인(m)에 투입하는 작동원리를 갖는다.

$$CRQ_j(t, i, m) = CR_j(t, i) \times Reprocess_j(i) \times Quality_j(i, m)$$

여기서

$$CR_j(t, i) = \begin{cases} \frac{d_j - t}{p_j + s_{cc}} & , \text{ if } r_j > t \\ \frac{d_j + r_j - t}{p_j + s_{cc}} & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$Reprocess_j(i) = \begin{cases} 1 & , \text{ if job } j \text{ is new arrived one} \\ \frac{p_j + s_{cc}}{\hat{p}_j + \hat{s}_{cc}} & , \text{ if job } j \text{ is reentered one} \end{cases}$$

$$Quality_j(i, m) = \begin{cases} 1 & , \text{ if } CPK_{cm} > RQL_c \\ e^{-(CPK_{cm} - RQL_c)} & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$CPK_{cm} = \text{Mfn}\left(\frac{UL_c - \mu_{mc}}{3\sigma_{mc}}, \frac{\mu_{mc} - LL_c}{3\sigma_{mc}}\right),$$

i 유희상태가 된 시점(t) 바로 이전에 라인 m 에서 완료된 작업의 인덱스,

d_j 작업 j 의 납기,

p_j 작업 j 를 기계 m 에서 가공했을 때의 가공 시간,
 \hat{c} 작업 i 가 속한 제품타입,
 c 작업 j 가 속한 제품타입,
 s_{cc} 작업 i 가 속한 제품타입(\hat{c})가공완료 후, 작업 j 가 속한 제품타입(c)을 라인 m 에서 준비하는데 필요한 셋업시간(setup time),
 $\overline{s_{cc}}$ 작업 j 가 속한 제품타입(c)이 라인 m 에 투입되기 직전에 그 라인에서 가공을 완료한 임의의 제품타입(\hat{c})에 대한 평균작업 준비시간(average setup time),
 P_{cm} 작업 j 가 속한 제품타입을 기계 m 에서 가공할 때의 재작업 발생 확률,
 \hat{s}_{cc} 작업 j 의 예상 셋업시간 즉, $(1 - P_{cm})s_{cc} + P_{cm}(s_{cc} + \overline{s_{cc}})$,
 \hat{p}_j 작업 j 의 예상 가공시간 즉, $(1 - P_{cm})p_j + P_{cm}(p_j + p_j)$,
 RQL_c 제품타입 c 에 대한 품질 요구수준(required quality level; $RQL_c > 0$),
 μ_{mc} 라인 m 에서 제품타입 c 의 평균 품질수준,
 σ_{mc} 라인 m 에서 제품타입 c 의 품질수준의 표준편차이다.
 요약하면 CRQ는 제품타입과 라인 간의 과거 품질 이력데이터를 이용하여 높은 품질수준이 예상되는 라인에 제품투입 우선순위를 배정하고, 워크센터 앞 대기행렬에 정상적으로 처음 진입한 작업보다 재가공을 위해 재진입하는 작업에 보다 높은 가중치를 부여하게 된다. 이 때 해당 작업의 가공시간과 순서의존적인 셋업시간 그리고 납기까지의 상대 긴급도(CR)를 함께 고려해 줄 뿐만 아니라 해당 작업과 기계간의 과거 재작업 발생확률도 함께 반영한다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 비교대안 및 실험계획

재작업과 품질요구 수준을 동시에 고려한 작업투입 알고리즘에 관한 기존 연구를 찾아 볼 수 없기 때문에, 본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 비교 대안 알고리즘으로 기존에 많이 사용되고 있는 작업투입 규칙들을 이용하기로 한다. 본 연구에서 사용하는 비교 대안은 가장 대표적인 납기관련 할당 규칙인 EDD (Earliest Due-Dates)와 Lee et al.[3]가 제안한 ATCS (Apparent Tardiness Cost with Setups), 그리고 2.3절에서 소개된 CR 규칙이다.

실험에 사용된 데이터의 생성 기준은 다음과 같다. 가공 시간과 작업 준비시간은 U[150,200]의 범위를 갖는 균일분포로부터, 작업투입시점은 0으로부터 평균 최대완료 시간 (Expected Makespan : EM)의 R배까지인 [0, R*EM]의 범위를 갖는 균일분포로부터 생성하였다. 여기서 EM은 평균작업 준비시간과 평균가공시간의 합을 작업수 N 과 곱한 후 기계수 M 으로 나누어준 값이며, R은 작업투입시점의 범위모수로서 본 실험에서는 고정값으로 1.0이 사용되었다. 납기는 다음 식에 의해 생성되며, 수식에 사용된 α 값은 [0, 4]의 범위를 갖는 균일분포로부터 발생된다.

$$d_i = r_i + 2\alpha p_i$$

본 연구의 핵심 요소인 품질요구 수준을 실험에 반영하기 위하여 표 1과 같이 제품타입과 기계간의 공정능력지수 관련성을 매우 안정되어 있음의 'Good', 안정되어 있음의 'Medi', 그리고 불안정함의 'Bad'로 구분하였다. 공정능력지수가 'Good'인 경우에는 가공품질수준 본분에 사용될 기본분포($N(\mu, \sigma^2)$)를 공정능력지수가 1.5 이상의 값을 갖도록 $N(1.5, 1.7^2)$ 로 설정하였고 'Medi'와 'Bad'의 경우는 각각 $N(3.5, 2.9^2)$ 와 $N(4.5, 6.5^2)$ 로 설정하였다. 실험에서 사용한 품질규격상한(UL)과 하한(LL)은 각각 +10과 -10으로 사용하였다. 또한 CRQ 작업투입 방안의 $Reprocess_j(i)$ 항에서 사용되는 제품타입과 기계간의 과거 재작업 발생확률은 실험의 편의를 위하여 2개의 그룹으로 나누었다. 과거 재작업 발생확률은 발생확률이 높음을 뜻하는 'Hi' 그리고 낮음을 뜻하는 'Lo'로 구분하였고 각각의 재작업 발생확률은 0.3과 0.01이다. 본 연구의 실험계획 표 3과 같이 작업수와 제품타입, 그리고 기계수 등 변동될 문제요소의 조합으로 생성된 240개의 문제로 구성되어 있다. 본 연구에서 제시한 알고리즘은 Visual Basic에서 구현하였고, 펜티엄4 2.4 GHz 컴퓨터에서 실험하였다.

[표 1] 제품타입과 기계간의 공정능력지수 관계
 [Table 1] Relationship of CPK between product type and machine

Types	MC	1	2	3	4	5
	A	Bad	Medi	Medi	Good	Good
B	Good	Bad	Medi	Medi	Good	
C	Good	Medi	Bad	Medi	Good	
D	Good	Good	Medi	Bad	Medi	
E	Medi	Good	Good	Medi	Bad	
F	Bad	Medi	Good	Good	Medi	
G	Medi	Bad	Medi	Good	Good	
H	Medi	Good	Bad	Medi	Good	
I	Medi	Good	Good	Bad	Medi	
J	Good	Medi	Medi	Good	Bad	

[표 2] 제품타입과 기계간의 재작업 발생 확률이력
 [Table 2] Historical data of rework probabilities between product type and machine

Types	MC				
	1	2	3	4	5
A	Hi	Lo	Lo	Lo	Lo
B	Lo	Hi	Lo	Lo	Lo
C	Lo	Lo	Hi	Lo	Lo
D	Lo	Lo	Lo	Hi	Lo
E	Lo	Lo	Lo	Lo	Hi
F	Hi	Lo	Lo	Lo	Lo
G	Lo	Hi	Lo	Lo	Lo
H	Lo	Lo	Hi	Lo	Lo
I	Lo	Lo	Lo	Hi	Lo
J	Lo	Lo	Lo	Lo	Hi

[표 3] 실험계획
 [Table 3] Experimental design

	Values	Total
No. of Jobs	100, 300, 500	3
No. of Job Types	5,10	2
No. of Machines	3,5	2
Combination		12
Problems per Combination		20
Total Problems		240

3.2 실험결과 및 분석

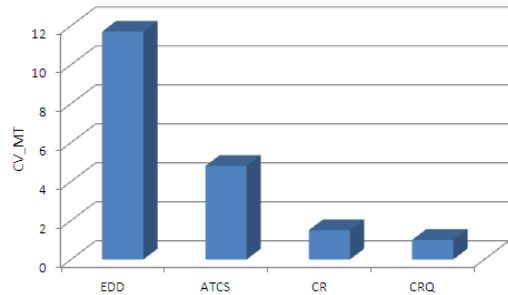
이 절에서는 표 3에서 제시한 240개의 실험 데이터를 사용하여 본 논문이 제시한 CRQ 작업투입 알고리즘의 성능을 평가한다. 이 때 목적함수인 평균지연시간(MT)의 최소화에 대해서 세 가지 대안 알고리즘(EDD, ATCS, CR)과 각각 비교, 분석해 보기로 한다.

해의 질을 가늠하는 척도로서 본 실험에서는 3 가지 대안 알고리즘으로 실험하여 얻은 값을 CRQ 작업투입 알고리즘으로 얻은 값으로 나누어 준 비교 값(comparison value; CV)을 사용한다. 비교 값 CV는 평균지연시간(MT)에 대해 다음과 같이 산출하고, 여기서 Average는 표 3의 작업의 수, 기계 대수 그리고 작업유형에 따른 결과들의 평균을 의미한다.

$$CV_{MT} = \frac{\text{Average MT of Alternatives}}{\text{Average MT of CRQ}}$$

그림 1은 240(12×20)회의 실험결과를 정리한 것이다. 이 결과에서 보듯이 본 연구에서 제시한 알고리즘인 CRQ 작업투입 알고리즘이 대안 알고리즘인 EDD, ATCS, CR보다 모든 경우에서 좋은 해를 제공하는 것을 볼 수 있다. 특히, 납기 이외의 정보를 전혀 고려하지 못하는 EDD 보다는 월등히 좋은 결과를 도출해내고 있고, 순서의존적인 작업준비시간을 반영하는 ATCS 보다는

확연한 성능차이를 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 CRQ 알고리즘은 납기의 촉박함은 물론 투입작업과 기계간의 셋업타임 이외에 품질수준까지 동시에 고려하기 때문에 평균납기지연을 평가하는 목적함수에 있어서 CR 알고리즘과의 성능차이는 크게 발생하지 않은 것으로 분석된다. 즉 납기의 촉박함과 셋업타임 및 품질수준 간의 상충관계가 작용한다고 유추할 알 수 있다.



[그림 1] 제안 알고리즘과 비교대안 간의 성능 (MT) 비교
 [Fig. 1] Performance (MT) comparison between proposed algorithm and alternatives

반면 알고리즘 내에 품질요구수준을 반영하고 있는 CRQ 알고리즘은 다른 비교대안과 달리 그림 2에서와 같이 RQL을 결정모수로 사용하여 공정능력지수를 공정상황에 따라 선택하여 사용할 수 있다는 장점이 있다. EDD, ATCS 그리고 CR과 달리 CRQ는 RQL의 전 구간에서 안정적으로 CPK가 우수한 값을 보여주는 것을 알 수 있다. 참고로 CPK가 1 이상이면 rework 비율이 최대 0.1% 이하로 거의 모든 제품은 가공 후에 양품으로 판정된다고 할 수 있다.



[그림 2] 품질요구 수준에 따른 공정능력지수
 [Fig. 2] CPK according to RQL

4. 결론

본 연구에서는 품질의 변동성이 존재하는 제조공정에서 고객이 요구하는 납기와 품질수준을 만족하기 위한 CRQ 작업투입 알고리즘을 제안하였다. 다양한 실험계획에 기반을 두어 실험을 시행하였고 그 결과 다른 비교대안 알고리즘인 EDD, ATCS, CR 보다 본 연구에서 제안한 CRQ 알고리즘이 평균납기 지연 및 공정능력의 측면에서 매우 좋은 결과를 산출한다는 것을 입증하였다. 또한 작업투입 알고리즘의 특성상 우선순위 산출에 소요되는 시간이 매우 빨라서 효율적인 공정제어에 필수적인 실시간적인 의사결정에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대한다. 추후에는 CRQ 작업투입 알고리즘내의 CR과 rework 그리고 품질요구수준 항목이 전체 우선순위에 미치는 영향을 분석하여 조정할 수 있도록 제어모수를 도입하는 방법에 관한 연구가 계획되어 있다.

Reference

[1] Flapper, S.D.P., J.C. Fransoo, R.A.C.M. Broekmeulen and K. Inderfurth, "Planning and control of rework in the process industries : review", *Production Planning & Control*, Vol.13, No.1, pp.26-34, 2002.

[2] Ko, H.H. and J.K. Baek, "Study on Dispatching for Quality and Productivity with Estimated Completion Time", *Journal of The Korea Academic-Industrial Cooperation Society*, Vol.11, No.3, pp.1095-1100, 2010.

[3] Lee, Y.H. and M. Pinedo, "Scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times", *European Journal of Operational Research*, Vol.100, pp.464-474, 1997.

[4] Shin, H.J., "A Real-Time Dispatching Algorithm for a Semiconductor Manufacture Process with Rework", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol.10, No.1, pp.1-5, 2011.

[5] So, K.C. and Tang, C.S., "Optimal operating policy for a bottleneck with random rework," *Management Science*, Vol. 41, pp. 620-636, 1995.

신 현 준(Hyun Joon Shin)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 고려대학교 산업공학과(공학사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 산업공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 고려대학교 산업공학과(공학박사)
- 2002년 5월 ~ 2004년 4월 : 미국Texas A&M대학교 연구원
- 2004년 6월 ~ 2005년 2월 : (주)삼성전자 책임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 경영공학과 부교수

<관심분야>

금융공학, 최적화, 생산관리, 공급사슬망관리

유 재 필(Jae Pil Ru)

[정회원]



- 2009년 2월 : 상명대학교 산업정보시스템공학과(공학사)
- 2011년 2월 : 상명대학교 경영공학과(경영공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 경영공학과 박사과정

<관심분야>

금융공학, 생산관리

손 민(Min Son)

[준회원]



- 2011년 8월 : 상명대학교 경영공학과(공학사)
- 2011년 8월 ~ 현재 : 상명대학교 경영공학과 석사과정

<관심분야>

금융공학, 생산관리