

생산 활동기간 기반 애로공정의 발견

권치명^{1†} · 임상규²

Bottleneck Detection Based on Duration of Active Periods

Chi-Myung Kwon · Sanggyu Lim

ABSTRACT

This paper applies an active period based bottleneck detection method to flow shop manufacturing system with limited buffer size. Manufacturing systems are constrained by one or more bottlenecks which degrades the system throughput. Conventional bottleneck detection methods include the waiting time or queue length of production stations and their utilization. Due to the random events such as production time of items, machine failure and repair times, the systems may change over time, and subsequently bottlenecks shift from one station to another station. Active period of working station may cause other stations to wait for productions. Information when and where active periods occur helps to find bottlenecks in production systems. Based on these informations, we predict bottlenecks in applying AweSim simulation language. We compare the simulation results of conventional methods with those obtained from duration of active period method, and duration ratio method of both sole and shift bottleneck periods. Even though simulation results are from simple flow shop model, they are quite promising for predicting bottlenecks of production stations. We hope this study aids in decision making regarding the improving system production yield and allocation of available resources of system.

Key words : Bottleneck, Active Periods, Sole Bottleneck, Shift Bottleneck

요약

본 연구는 생산 공정 간 버퍼 제약이 있는 flow shop 시스템에 활동기간 기반 애로공정 발견 기법을 적용하여 그 타당성을 분석하였다. 생산 시스템에는 보통 생산성을 저하시키는 1개 또는 1개 이상의 애로공정이 존재한다. 전통적인 애로공정을 발견하는 기준으로 공정의 대기 시간이나 대기 공정의 길이 또는 공정의 이용률이 자주 활용된다. 애로공정은 다른 공정작업을 대기 상태로 만들어 전체적으로 시스템의 생산성을 저하시키는 공정으로 공정 시간과 기계의 고장 및 수리 시간의 확률적인 특성으로 인하여 애로공정은 생산과정에서 수시로 다른 공정으로 변환된다. 어떤 공정이 언제 활동기간으로 변화하는 정보를 이용하여 애로공정을 발견하는 기법을 범용 시물레이션 언어 AweSim에서 구현하였다. 시물레이션 결과, 활동기간 기법과 단독 및 변환 애로공정 기간 비율 기법이 전통적인 기법과 비교하여 애로공정을 발견하는데 효과적인 것으로 나타났다. 간단한 flow shop 모형을 대상으로 얻은 결과이지만 복잡한 시스템에도 적용될 수 있을 것으로 기대되며 애로공정 개선을 통한 생산 시스템 가용 자원의 효과적인 배치는 생산성을 향상시키는데 기여할 것으로 사료된다.

주요어 : 애로공정, 활동기간, 단독애로공정, 변환애로공정

* 이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수일(2013년 7월 5일), 심사일(2013년 8월 20일),

게재 확정일(2013년 8월 23일)

¹⁾ 동아대학교 경영정보학과

²⁾ 경상대학교 산업시스템공학부

주 저 자 : 권치명

교신저자 : 임상규

E-mail; sglim@gnu.ac.kr

1. 서론

대부분의 생산 시스템에서는 1개 또는 그 이상의 애로 공정(bottleneck)이 나타날 수 있다. 공정의 애로수준은 전체 공정의 생산성에 대한 특정 공정의 영향으로 평가되는데 애로공정은 시스템의 전체적인 생산성에 가장 큰 영

향을 미치는 공정이다(Lawrence와 Buss, 1994). 생산이 진행됨에 따라 애로공정은 각 공정의 생산 특성(생산시간, 기계의 고장 발생 및 수리시간 등의 확률적 특성)에 따라 변화하는 동적인 특성을 가지고 있다. 특정 시점에서 애로공정은 공정지연 문제가 해결되어 정상공정으로 복귀하고 다른 공정이 애로공정으로 변환(shift)될 수 있다. 일반적으로 생산 시스템은 1개의 주 애로공정과 애로수준은 주 애로공정보다 낮지만 주 애로공정으로 전환될 가능성이 높은 부 애로공정 그리고 비 애로공정으로 나누어진다. 생산성 향상을 위해서는 주 애로공정에 대한 관리가 가장 중요하지만 경우에 따라서는 부 애로공정의 관리도 비용·효과 측면에서 의미가 있다.

생산 시스템에서 애로공정을 발견하는 문제에 대해서 많은 연구가 되어왔는데 생산 시스템의 애로공정을 일반적으로 발견하는 문제는 수리적으로 매우 복잡하여 연속 생산시스템에서 생산 공정 시간이 Markov 특성을 가지거나 또는 폐쇄 대기행렬 모형 등 제한적인 생산시스템에서만 애로공정을 발견하는 기법이 개발되었다(Adams 등, 1988; Chiang 등, 1998, 2001; Berger와 Kogan, 1999; Uzsoy와 Wang, 2002). 애로공정을 발견하는 수리적인 모형의 제한성으로 인하여 시뮬레이션을 통하여 생산 시스템의 애로공정을 평가하는 방법이 자주 사용되고 있다. 우선 전통적인 방법으로 서로 다른 공정의 가동률을 비교하여 가동률이 가장 높은 공정을 애로공정으로 규정하는 방법을 들 수 있다. 공정의 가동률이 서로 비슷한 경우 어느 공정이 애로공정인가를 가동률만을 기초로 하여 판단하기 어렵다(Law and Kelton, 2000). 이와 유사한 방법으로는 공정의 대기행렬 길이나 대기시간을 비교하여 이들이 가장 큰 값을 가지는 공정을 애로공정으로 규정하는 방법이다. 이 방법은 특정 시점에서 단순히 대기행렬의 길이나 대기시간을 계산하여 애로공정을 결정할 수 있다는 장점이 있으나 대기행렬의 용량이 제한적이거나 0인 경우 애로공정 발견에 적용할 수 없다는 단점이 있다.

이러한 문제를 개선하기 위해 Roser 등(2001)은 생산 공정의 활동기간(active periods: AP)을 정의하고 평균 AP가 가장 긴 공정을 애로공정으로 지정하는 방법을 제시하였다. 이들은 또한 생산 공정의 동적인 특성으로 특정 시점에서 애로공정이 변환될 경우 해당 애로공정을 변환애로공정(shift bottleneck)과 단독애로공정(sole bottleneck)으로 구분하여 정의하고 전체적으로 이들의 합이 가장 큰 공정을 애로공정으로 선택하는 방법을 연구하였다(Roser 등, 2002). 이들은 각 공정의 공정시간이 거의 같아 애로공정을 발견하기 어려운 연속 생산 시스템을 대상으로 제

안된 기법이 매우 효과적으로 애로공정을 발견할 수 있다는 결과를 발표하였다. 이와는 다르게 Senupta 등(2008)은 특정 공정을 완료하고 다음 공정으로 이동하는 공정간 이동 시간(inter-departure time)을 분석하여 애로공정을 발견하고 애로공정의 순위를 부여하는 방법을 제안하였다. Lawrence와 Buss (1994)는 각 공정의 애로공정 변환 측도(bottleneck shiftiness measure)를 개발하고 이로부터 전체 공정의 애로수준을 평가하는 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 생산 공정간 버퍼가 있는 일반적인 생산 시스템을 대상으로 애로공정 발견 기법들의 타당성을 조사하고자 한다. 대부분의 범용 시뮬레이션 프로그램은 전통적으로 애로공정을 평가하는 공정의 가동률, 공정 대기행렬의 길이 및 대기시간에 대한 정보를 제공하고 있다. 애로공정을 발견하는 다양한 평가 기준은 애로공정을 전체적으로 판단하는 유용한 정보를 제공한다고 볼 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 시뮬레이션 범용언어인 AweSim을 사용하여 Roser 등(2001, 2002)이 제안한 기법의 타당성을 검토하고 이를 blocking이 있는 생산 시스템으로 확대하여 범용언어에서 애로공정을 발견하는 방법을 구현하고자 한다.

2. AP에 의한 애로공정의 발견

공정상 기계는 작업대기, 작업 중 또는 수리 중이거나 블록(block)상태에 있다. AP 기법을 적용하여 애로공정을 발견하려면 어떤 기계가 언제 어떠한 상태에 있는가를 조사해야 한다. 공정의 상태를 활동 상태(active state)와 비활동 상태(inactive state), 2개의 그룹으로 나누어 보면 기계가 작업대기 또는 블록 상태가 되면 그 공정은 비활동 상태이며 비활동 상태가 아니면 공정은 활동 상태이다. 활동 상태이면 그 공정은 작업 중이거나 수리 중이며 이는 시스템의 생산성을 향상시키는데 기여한다. 공정은 활동 상태와 비활동 상태를 반복하는데 Fig. 1.에서와 같이 비활동 상태에 의해 중단되지 않는 연속적인 활동기간들은 1개의 활동기간(AP)으로 간주된다.

AP기법에서 애로공정은 전체 공정 중에서 다른 공정

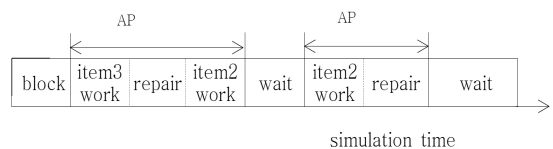


Fig. 1. Machine AP

의 비활동 상태에서부터 평균적으로 가장 적게 운영 방해를 받는 공정이다. 일정 기간 동안 시뮬레이션을 통하여 시간 순차적으로 얻은 공정 i ($i = 1, 2, \dots, m$)의 활동기간을 수집하면 다음과 같다.

$$A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\} \quad (1)$$

여기서 a_{ij} 는 공정 i 의 j 번째 AP이다. 공정 i 의 평균 활동기간, 즉 $\bar{a} = \sum_{j=1}^n a_{ij}/n$ 의 값이 가장 큰 공정이 애로 공정으로 규정된다. a_{ij} ($j = 1, \dots, n$)는 독립적이지 않지만 경험적인 조사에 의하면 독립적으로 가정하더라도 별 무리가 없는 것으로 알려져 있다(Roger 등, 2002). 이로부터 애로공정의 신뢰구간과 정확도를 추정할 수 있다.

3. 단독·변환 애로공정의 발견

임의의 시점 t 에서 어떠한 공정도 비 활동적이면 애로 공정은 존재하지 않지만 만일 1개 이상의 공정이 활동적이면 이 시점에서의 애로공정은 시점 t 까지 AP가 가장 긴 공정, 즉 LAP (Longest AP)를 가지는 공정이 될 것이다. 이 때 애로공정의 LAP는 현재 시점에서의 애로공정 기간이 된다. 애로공정은 생산 활동이 진행됨에 따라 변환(shift)될 수 있으므로 현재 애로공정 직전과 직후에 어떠한 애로공정이 나타나는 지를 조사할 필요가 있다. 직전 애로공정은 현재의 애로공정이 시작하기 바로 직전의 LAP를 가지는 공정이 된다. 이와 비슷하게 현재 애로공정이 끝난 후 바로 다음 발생하는 애로공정도 LAP를 가지는 공정이 된다. 직전 애로공정으로부터 현재의 애로공정으로의 변환과정에서 직전 애로공정과 현재 애로공정 사이에는 중복(overlap)되는 부분이 발생 할 수 있다. 이와 유사하게 현재의 애로공정과 바로 다음 애로공정도 중복되는 부분이 나타날 수 있다. 애로공정이 중복되는 기간에는 두 개의 애로공정 중에서 어느 것이 유일한 애로공정으로 볼 수 없으므로 단독애로공정은 없으며 대신 애로공정이 변환하는 기간으로 볼 수 있다. 즉 이 기간은 변환애로공정 기간이 된다. 만일 애로공정이 바뀌지 않으면 그 애로공정은 현 시점에서 유일한 단독애로공정이 된다. 현재의 애로공정 기간과 중복하여 다른 공정이 비활동적이면 변환애로공정은 존재하지 않는다.

이러한 방법으로 임의의 시점에서 모든 공정들은 비 애로공정(non-bottleneck), 단독애로공정, 변환애로공정으로

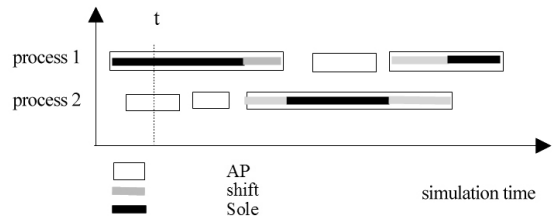


Fig. 2. Bottleneck Shift and Sole in AP

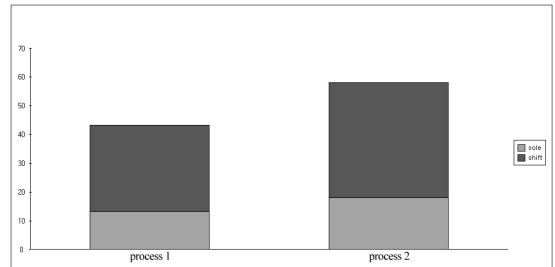


Fig. 3. Shift and Sole Ratios of Bottleneck(%)

로 분류된다. AP를 추적하면 애로공정이 시작 시점과 변환하는 시점, 그리고 종료 시점을 알 수 있으며 이로부터 단독애로공정 기간과 변환애로공정 기간을 계산할 수 있다. Fig. 2는 2개의 공정으로 이루어진 생산 시스템에서 일정 기간 동안 AP의 변화과정을 보여주고 있다. 임의의 시점 t 에서 두 공정은 모두 활동 중인데 공정 1의 AP가 공정 2의 AP보다 길어 공정 1이 애로공정이다. 공정 1의 종료 시점에서 보면 공정 2는 이미 활동 중이며 LAP공정이 된다. 따라서 다음 애로공정은 공정 2가 되며 애로공정 1과 다음 애로공정 2가 중복되는 기간은 변환 애로공정 기간이 된다. 이와 유사하게 공정 2가 종료되는 시점에서 애로공정은 2에서 1로 변환되며 애로공정 2와 1이 중복되는 기간은 변환애로공정 기간이 된다. 시뮬레이션 도중에 각 공정의 AP로부터 언제 어떤 공정이 LAP가 되는 정보를 수집하면 단독애로공정 기간과 변환애로공정 기간을 계산할 수 있다.

일정한 기간 동안 얻어진 시뮬레이션 결과로부터 각 공정의 단독 및 변환 애로공정 기간을 누적하여 전체 공정기간에 대한 백분율(%)을 구하면 Fig. 3과 같은 최종 결과를 얻게 된다. 단독 및 변환 애로공정 기간이 길수록 그 공정은 시스템의 전체 생산 효율성을 저하시키게 된다. Fig. 3에서 공정 2가 전체적으로 애로공정이 된다. 따라서 공정 2의 생산성 향상이 공정 1에 비하여 전체 시스템의 생산성 향상에 더 많이 기여하게 된다.

4. 시뮬레이션 실험

4.1 시뮬레이션 모형

본 연구에서는 Roger 등(2002)이 제안한 AP 기반 기법의 타당성을 분석하기 위해 이들이 예시한 Flow shop 모형을 대상으로 기계의 고장 및 수리 과정을 추가하여 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 실험은 공정 간 버퍼에 대한 제약이 없는 경우와 제약이 있는 경우 두 부분으로 나누어 실행하였다. Fig. 4는 4대의 기계 M1, M2, M3, M4로 구성된 Flow Shop에서의 생산 공정 흐름을 보여주고 있다. Entity의 시스템 도착과정은 도착 간 시간이 평균 5인 지수분포를 따르며 4대 기계의 공정시간은 모두 지수분포를 따르고 평균 공정시간(mean processing time: MPT)은 Table 1과 같다. 도착 Entity는 공정 M1, M2, M3, M4를 순차적으로 거쳐서 생산된다. 생산 도중에 기계의 고장 발생 간 시간과 고장 수리시간은 모두 지수분포를 따르며 각 기계의 고장 간 평균시간(mean time between failures: MTBF)과 평균 수리시간(mean time to repair: MTTR)은 Table 1과 같다. 생산 도중 기계의 고장이 발생하면 기계 수리 후 잔여 공정시간만 수행하는 것으로 가정하였다.

다음으로 생산 공정간 버퍼에 제약이 있는 생산 시스템을 대상으로 애로공정 발견 기법들의 타당성을 조사하기 위해 기계 M2와 M3 사이에 크기 5인 공정 버퍼를 가정하였다. 버퍼에 여유 공간이 없을 경우에는 공정 M3에 blocking이 발생하여 기계 M2가 idle 상태로 변환된다. 위의 2 가지 실험 조건에서 애로공정을 평가하는 공정의 가동률, 공정 대기행렬의 길이 및 대기시간, 애로공정 변환측도 기준과 평균 AP와 단독애로공정 및 변환애로공정의 비율에 의한 기준을 비교 평가해보고자 한다.

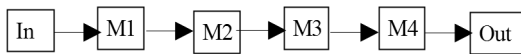


Fig. 4. Flow Shop Machine Layout

Table 1. MPT, MTBF and MTTR of Machine

Machine	MPT	MTBF	MTTR
M1	4.0	400	10
M2	4.0	400	10
M3	4.1	400	10
M4	4.0	400	10

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 공정 간 버퍼의 제약이 없는 경우

시뮬레이션 언어 AweSim (Pritsker and O'Reilly, 2001)을 이용하여 10,000 단위시간 동안 시뮬레이션 런을 수행하였으며 초기 실행 편의를 없애주기 위해 warm-up 기간은 1,000단위 시간으로 설정하였다. Table 2는 공정 사이에 버퍼 제약이 없는 경우에 공정별 평균 대기시간 및 평균 대기행렬 길이와 공정 이용률에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. Table 3은 공정의 평균 AP, 단독 및 변환 애로공정 기간과 두 기간의 합을 나타내고 있으며 괄호 안의 숫자는 전체 시뮬레이션 기간에 대한 애로공정 기간의 백분율(%)을 계산한 결과이다.

Lawrence와 Buss (1994)는 각 기계의 애로공정 확률(bottleneck probability)을 이용하여 식 (2)의 애로공정 변환 측도(bottleneck shiftiness measure) β 을 개발하고 전체 공정의 애로수준을 평가하였다. 측도 β 는 0과 1 사이의 값을 가지는데 1에 가까우면 전체 공정이 비슷한 애로수준이고 0에 가까우면 공정간 애로수준이 큰 차이를

Table 2. Mean Waiting Time, Mean Queueing Time Length and Utilization of Machine

Machine	Mean Waiting time	Mean Queue Length	Utilization
M1	14.11	2.81	0.78
M2	13.33	2.66	0.77
M3	19.80	3.97	0.80
M4	13.31	2.68	0.76

Table 3. Mean AP, Bottleneck Period and Its Ratio of Machine

Machine	Mean AP	Sole Bottleneck Period(%)	Shift Bottleneck Period(%)	Total Bottleneck Period(%)
M1	19.58	1394 (15.4)	2659 (29.5)	4053 (45.0)
M2	18.13	947 (10.5)	2298 (25.5)	3245 (36.0)
M3	23.23	1250 (13.8)	2973 (33.0)	4223 (46.9)
M4	19.22	1331 (14.7)	2565 (28.5)	3896 (43.2)
Bottleneck Shiftiness Measure, β		0.92	0.95	0.94

나타내는 것으로 볼 수 있다.

$$\beta = 1 - c_v / \sqrt{m} \quad (2)$$

여기서 m 은 시스템에서 공정의 수이며 c_v 는 애로공정 확률 $p_i (i = 1, \dots, m)$ 의 변이계수(coefficient of variation)로 $c_v = s_p / \bar{p}$ (\bar{p} 와 s_p 을 각각 p_i 의 평균과 표준편차)이다. 위 식에서 $\beta = 1$ 인 경우는 c_v 가 0인 경우로 모든 공정의 애로공정 확률이 모두 같을 때이다. 단독 및 변환 애로공정 기간과 전체 애로공정 기간, 그리고 변환측도 β 의 값은 Table 3의 마지막 행에 표시하였다.

시뮬레이션 결과 공정 M3이 주 애로공정으로 평균 대기시간과 대기행렬의 평균길이가 가장 길며 공정의 이용률 또한 0.80으로 가장 높게 나타나고 있다. 공정 3의 평균 AP 또한 23.23으로 가장 높으며 단독 애로공정 수준은 13.8%, 변환 애로공정 수준은 33.0%이고, 전체 애로공정 수준은 46.9%로 다른 공정에 비해 3% 이상 높게 나타나고 있다.

전체 공정의 애로공정 변환 측도 β 는 0.94로 전반적으로 전체 공정의 애로 수준은 낮은 편임을 알 수 있다. 공정 M1은 부 애로공정으로 공정 평균 대기시간 및 대기행렬의 길이, 가동률에서 공정 M3 다음으로 높게 나타났으며 이러한 결과는 AP 기준, 전체 애로공정 기간 비율 기준과 일치하고 있다. 공정 M1이 공정 M2나 M4보다 애로공정 기준이 다소 높게 나타나는 것은 도착 Entity가 어떠한 지연 없이 바로 공정에 투입되는 이유로 사료되며 이는 Entity의 시스템 도착율과 관련이 있는 것으로 추정된다. 위의 결과로부터 AP 애로공정 평가 기준과 전체 애로공정 기간 비율 기준은 전통적인 애로공정 기준과 일치하고 있음을 알 수 있다.

시뮬레이션 모형에서 공정 3의 평균 공정시간이 4.1로 공정 1, 2, 3의 4.0보다 0.1 만큼 길어 모형의 특성상 시물

레이션을 통하지 않고도 쉽게 애로공정을 예측할 수 있지만 본 연구의 목적이 애로공정을 발견하는 기법들의 타당성을 분석하는데 있는 만큼 이러한 결과는 의미가 있다고 판단된다. Table 3의 결과로부터 단독 및 변환 애로공정의 비율은 Fig. 5와 같다.

4.2.2 공정 간 버퍼의 제약이 있는 경우

공정간 버퍼에 제약이 있는 경우 공정의 가동률이나 공정 대기시간과 같은 측도는 애로공정을 효과적으로 발견하는데 어려움이 있다. Table 4는 공정 M2와 M3 사이에 크기가 5인 버퍼 제약이 있는 경우에 공정별 평균 대

Table 4. Mean Waiting Time, Queuing Time and Utilization of Machine

Machine	Mean Waiting time	Mean Queue Length	Utilization
M1	17.64	3.57	0.80
M2	51.50	10.47	0.91
M3	11.54	2.34	0.83
M4	11.80	2.41	0.79

Table 5. Mean AP, Bottleneck Period and Its Ratio of Machine

Machine	Mean AP	Sole Bottleneck Period(%)	Shift Bottleneck Period(%)	Total Bottleneck Period(%)
M1	20.07	1440 (16.0)	2926 (32.5)	4366 (48.5)
M2	19.08	906 (10.0)	2607 (30.1)	3513 (39.0)
M3	25.74	2177 (24.1)	2932 (28.9)	5109 (56.7)
M4	18.86	606 (6.73)	1969 (21.8)	2565 (28.5)
Bottleneck Shiftness Measure, β		0.73	0.92	0.86

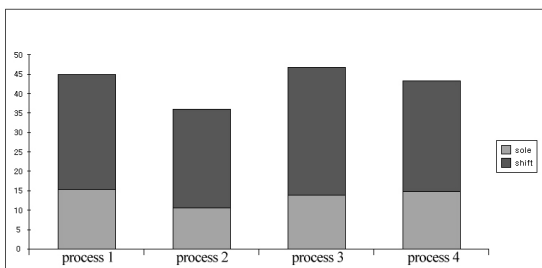


Fig. 5. Shift and Sole Ratios of Bottleneck(%)

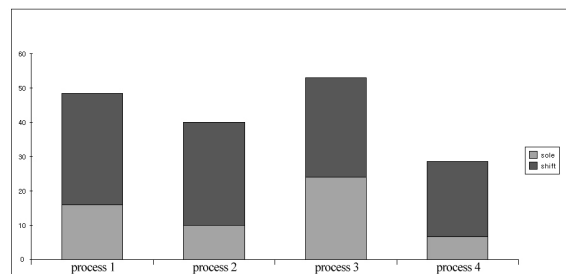


Fig. 6. Shift and Sole Ratios of Bottleneck(%)

기시간 및 공정 대기시간과 이용률에 대한 시뮬레이션 결과이다. 직관적으로 공정 M3이 주 애로공정임을 쉽게 알 수 있으나 시뮬레이션 결과는 공정 M2가 주 애로공정으로 판별하고 있다. 이와 같이 공정 간에 버퍼가 있는(대기행렬의 크기가 제한적인) 경우 공정 대기시간이나 대기행렬의 평균 길이와 이용률은 애로공정을 발견하는 적합한 기준이 될 수 없음을 보여주고 있다.

이러한 문제를 개선하기 위해 제안된 애로공정 판별기준인 공정별 평균 AP 기간과 애로공정 기간 비율 측도에 대한 시뮬레이션 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 주 애로공정은 M3으로 평균 AP는 25.74이며, 단독 및 변환 애로공정, 그리고 전체 애로공정 비율은 각각 24.1%, 28.9%, 56.7%로 나타났다. 이러한 시뮬레이션 결과는 공정간 버퍼가 있는 경우에도 AP와 애로공정 기간 비율 기준이 효과적으로 애로공정을 발견하는 기준이 될 수 있음을 보여주고 있는 것으로 사료된다. 이 경우에도 공정 M1은 부 애로공정으로 볼 수 있는데 이는 공정간 버퍼 제약이 없는 경우와 비슷한 이유로 여겨진다. 애로공정 변환 측도는 전체적으로 0.86으로 나타났는데 Table 3의 β 값, 0.95와 비교하여 공정 간 버퍼의 크기 제약이 있는 경우 전체 공정의 애로 수준이 높아지고 있음을 보이고 있다. 단독 및 변환 애로공정의 비율을 막대그래프로 표시하면 Fig. 6과 같다.

5. 결론 및 토의

시뮬레이션은 다양한 형태의 생산 시스템에 적용되어 생산 시스템의 효율성을 평가하는 도구로 광범위하게 사용되고 있다. 생산 시스템에서 애로공정을 판별하여 애로공정을 개선하는 생산 자원의 분배·배치는 생산성 향상에 기여한다. 본 연구에서는 애로공정을 판별하는 AP 기법과 애로공정 기간 비율 기법의 타당성을 공정 간에 제한적인 buffer가 있는 flow shop 모형을 대상으로 조사하였다. 공정 간 buffer에 제약이 없는 모형에서 AP기법과 애로공정 기간 비율 기법은 전통적인 애로공정 판별 기준과 일치하는 시뮬레이션 결과를 보였으며 buffer 제약으로 공정에서 블록킹(blocking)이 발생하는 모형에서도 애로공정을 효과적으로 판별하는 결과를 보였다.

범용 시뮬레이션 언어에서 애로공정 판단 기준으로 제공하는 공정 대기시간이나 대기행렬의 길이, 또는 공정의 이용률과 같은 정보는 공정 간의 버퍼 크기 또는 대기행렬의 크기가 제한적일 경우에는 적용하기 어려운 점이 있

지만 AP와 애로공정 기간 비율 기법은 이러한 제약조건과 상관없이 적용할 수 있는 장점이 있다. 이러한 측면에서 범용언어에서 애로공정을 판별하는 프로그램 개발에 본 연구는 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

공정의 이용률은 공정 순서와 관계없이 전체 생산 기간에 대한 공정의 활동 기간만을 계산함으로써 애로공정 발견에 오류가 발생할 수 있다. 예를 들어 Flow shop 생산 시스템에서 처음 공정에 투입되는 부품이 공정 능력 이상으로 많이 공급되면 그 공정은 이용률이 100%가 되지만 애로공정이 아닐 수 있다. Roger 등(2002)의 연구결과에 의하면 대기행렬의 길이는 AP보다 일정 기간 동안 변동하는 폭이 훨씬 큰 것으로 나타난다. 짧은 기간 동안 대기행렬의 길이가 가장 긴 공정을 애로공정으로 규정하는 경우 애로공정의 변화가 자주 발생하여 공정 관리 비용이 증가할 수 있다. 이러한 점에서 실시간으로 애로공정을 추적하여 자원 재배치를 통한 애로공정 개선에는 애로공정을 발견하는 다양한 기준을 전체적으로 판단하는 노력이 필요하다고 사료된다. 본 연구는 간단한 flow shop 모형을 대상으로 AP 정보를 활용하여 애로공정을 발견하는 문제를 다루었지만 AVG 시스템 등 다양한 형태의 생산 시스템에서도 AP 기반 애로공정 발견 기법의 적용은 가능할 것으로 기대하며 이는 전체적인 시스템 성과를 개선하는데 의사 결정자에게 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. Adams, J., Balas, E. and Zawack, D., "The Shifting Bottleneck Procedure for Job Shop Scheduling", *Management Science*, Vol. 34, No. 3, pp. 391-401, 1988.
2. Berger, A., Breman, L. and Kogan, Y., "Bottleneck Analysis in Multiclass Closed Queuing Networks and Its Application", *Queueing Systems*, Vol. 31, pp. 217-237, 1999.
3. Chiang, S. Y., Kuo, C. T. and Meerkov, S. M., "Bottlenecks in Markovian Production Lines: A Systems Approach", *IEEE Transaction on Robotics and Automation* Vol. 14, No. 2, pp. 325-359, 1998.
4. Chiang, S. Y., Kuo, C. T. and Meerkov, S. M., "e-Bottlenecks in Serial Production Lines: Identification and Application", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 7, pp. 543-578. 2001.
5. Law, A. M. and Kelton, D. W., *Simulation Modeling and Analysis*. MacGraw Hill 2000.
6. Lawrence, S. R. and Buss, A. H., "Shifting Production

- Bottlenecks: Cause, Curse and Conundrums”, Journal of Production and Operations Management”, Vol 3, No 1, pp. 21-37, 1994.
7. Pritsker, A. A. B. and O'Reilly, J., Simulation with Visual SLAM and AweSim, John Wiley & Son, 2001.
 8. Roger, C., Nakano, M. and Tanaka, M., “A Practical Bottleneck Detection Method”, Proceedings of the Winter Simulation Conference, pp. 949-953, 2001.
 9. Roger, C., Nakano, M. and Tanaka, M., “Shifting Bottleneck Detection”, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, pp. 1079-1086, 2002.
 10. Senupta, S., Das, K. and VanTil, R. P., “A New Method for Bottleneck Detection”, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, pp. 1742-1745, 2008.
 11. Uzsoy, R. and Wang, C. S., “Performance of Decomposition Procedures for Job Shop Scheduling Problems with Bottleneck Machines”, International Journal of Production Research, Vol. 38, No. 6, pp. 1271-1286, 2000.



권치명 (cmkwon@dau.ac.kr)

1978 서울대학교 산업공학과 학사
 1981 서울대학교 산업공학과 석사
 1991 VPI & SU Dept. of ISE 공학박사
 1983~현재 동아대학교 교수

관심분야 : 시스템 모델링, Output Analysis, Simulation Optimization



임상규 (sglim@gnu.ac.kr)

1978 서울대학교 산업공학과 학사
 1986 미국 조지아공대 산업시스템공학과 석사
 1990 미국 조지아공대 산업시스템공학과 공학박사
 1991~현재 경상대학교 산업시스템공학부 교수

관심분야 : Material Handling, 생산관리