

유연생산시스템에서 단기생산계획의 혼성기준(Hybrid-threshold)방법론에 대한 연구

김일용, 손준영

홍익대학교, 경영학과

ABSTRACT

본 연구에서 혼성기준 어프로치의 성과가 기존 방법론들의 성과를 선형결합한 직선보다 상당히 아래에 나타나 기존 방법들보다 우월함을 알 수 있다. 뿐만 아니라 일부의 경우에는 배칭 어프로치보다 짧은 평균 리이드 타임과 유연 어프로치보다 짧은 총생산지체시간을 나타내고 있다.

혼성기준을 선정할 때 모든 상황에 대해서 효율적인 혼성기준이 있는 것이 아니라 전체시스템의 가동률이 높고 낮음에 따라, 즉 기계유형간 작업시간의 불균형의 정도에 따라 유동적으로 선택하여야 한다. 시스템의 가동률이 전반적으로 낮을 때는 혼성기준을 낮게 설정(약 40%에서 65%)하는 것이 바람직하고, 시스템의 가동률이 높을 때(약 65%에서 90%정도)는 혼성기준을 높게 설정하는 것이 바람직하다.

1. 서론

Stecke(1985)는 유연생산시스템에서 관리되어야 하는 생산체계를 디자인, 단기생산계획, 스케줄링, 통제의 4가지 단계로 나누어 설명하고 있는데 각각의 단계에서의 의사결정사항을 살펴보면 다음과 같다.

제품생산이 시작되기 위해서는 일정한 설비용량을 가지고 있는 각 공작기계의 가공공구매거진에 제품생산 작업에 소요되는 모든 가공공구가 적재되어야 한다. 디자인에 이은 단기생산계획 단계에서는 생산개시이전에 이루어져야 하는 이러한 의사결정을 다루고 있고, 생산이 일단 시작되면 시스템 운영과 관련된 스케줄링 문제가 고려되어질 것이다.

유연생산시스템의 단기생산계획 단계에서 고객의 주문, 자회사의 요구, 예상되는 수요에의 대처, 관련부서의 요구 등의 요인에 의해 제품과 관련 하위제품의 생산이 시작되면서 생산할 제품의 선택문제(Part Type Selection), 기계 그룹화 문제(Pooling), 제품의 생산비율 결정문제(Production Ratio), 자원 할당문제(Resource Allocation), 작업(Operation) 할당문제(Machine Loading)의 5가지를 다루게 된다. 시스템 셋업에 대한 이러한 계획문제의 최적해는 선택된 제품의 제조작업에 요구되는 가공공구가 제한된 설비의 가공공구매거진에 적절히 할당될 수 있게 해준다.

① 생산할 제품의 선택문제(Part Type Selection)

여러 가지 요구에 의해 생산해야 할 품목이 선정되면 이러한 품목의 구체적인 형태와 하위제품을 결정해야 한다. 생산할 제품은 여러 가지 규칙에 의해 선택되게 되는데 이에 는 납기일, 유연생산시스템의 가동률을 나타내는 총생산지체시간, 고객의 수요의 대응속도를 나타내는 평균 리이드 타임, 재공품의 수, 공구교환의 횟수, 시스템 가동률, 폐기처분 비율 등이 있다.

일단 생산될 제품이 선택되면, 수집된 일련의 정보에 의해 총 공정 수와 각 유형의 공작기계들로 부터 작업에 필요한 가공공구의 수를 산정해 낼 수 있게 된다. 각 유형의 기계들의 생산능력에 대한 이러한 정보와 관련하여 공정소요시간과 가공공구매거진의 공구보유능력은 두 번째의 기계 그룹화 문제를 해결하는데 도움을 줄 것이다.

② 기계 그룹화 문제(Pooling)

어떤 한 그룹에 소속되어 있는 공작기계들이 동일한 가공공구를 공구매거진에 할당시켜 동일한 가공작업을 수행할 경우에 이를 가르켜 ‘한곳에 묶여 있다(Pooled)’고 하고 이들 각각은 동일한 작업기능을 보유하게 된다. 묶여진 공작기계들은 공작기계의 고장 발생시 시스템의 성과를 향상하는 효과를 가져온다.

③ 생산비율 결정문제(Production Ratio)

유연생산시스템이 출현하기 이전에는 한 제품의 대량생산이 경제적이었으나 이제는 변화하는 시장의 기호에 맞춰가야 하기 때문에 소량의 주문생산이 기업의 이익에 더 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 생산이 결정된 제품을 일시에 대량으로 생산하던 과거와는 달리 이제는 소수의 품목을 일정한 비율로 생산할 필요성이 대두되어 효율적인 생산비율을 결정해야 한다.

④ 자원 할당문제(Resource Allocation)

제품을 가공할 때 팔렛(Pallet)과 치구(Fixture) 가 사용되는데 유연생산시스

템이 보유하고 있는 팔렛과 치구의 개수의 제한과, 전용치구인가 범용치가인가에 따라서 생산할 제품에 효율적으로 할당해야 한다. 이러한 제한된 자원을 할당함으로써 새 번째에서 언급한 생산비율의 결정에 영향을 미친다.

⑤ 작업 할당문제(Machine Loading)

어떤 유형의 가공공구가 어떤 공작기계의 가공공구매거진에 적재되어야 하는가를 결정해야 한다. 이러한 가공작업 의사결정에는 각각의 공작기계들이 수행할 수 있는 작업들이 어떠한 것인가 하는 것과 이렇게 필요공구가 장착된 기계들 중 동일한 기능을 가진 것은 얼마나 많이 있어야 하는가를 결정하게 된다.

유연생산시스템의 단기생산계획이 완료되어 모든 필요 가공공구가 공작기계의 공구매거진에 적절히 장착되면 비로소 생산을 시작하게 된다. 이러한 단기생산계획문제의 해결은 순차적, 또는 반복적, 또는 동시다발적으로 이루어질 수 있다. 그러한 문제해결은 일반적으로 이틀이나 1주일 간격으로 이루어지고, 공작기계가 고장이 났을 때와 생산이 완료된 제품이 발생했을 때에도 단기 생산계획문제의 해를 다시 구하게 된다. 예를 들어, 한 제품의 생산이 완료되어 그 제품을 생산하는데 사용되었던 가공공구가 더 이상 필요치 않는 경우가 발생하는데 이때는 가공중인 제품의 수가 줄어들게 되고 공작기계의 그룹화가 다시 이루어지게 된다. 또는, 제품의 생산이 완료된 후에 생산할 제품 목록에 새로운 제품이 추가되었을 때는 새로운 가공공구의 추가에 의해 기계의 그룹화가 다시 이루어진다.

유연생산시스템의 스케줄링 문제는 생산계획문제에서 시스템 셋업이 일단 이루어지면 유연생산시스템이 리얼타임으로 운영되게 되는데 이때 해결되어야 하는 것들이다. 유연생산시스템에서 제품을 생산하는 스케줄은 매우 다양한 방법들이 있을 수 있다. 각각의 방법들은 여러 가지 상황변수를 고려하여 채택하게 된다.

첫째, 생산할 제품을 시스템에 투입하는 최적순서를 결정해야 한다. 여기에는 조립목적을 달성하기 위해 상대적 비율로 제품을 생산하는 방법, 유연생산시스템에서 자주 이용되는 주기적 입력방법, 제품간의 생산비율을 유지하는 방법, 사전에 결정되어 고정된 입력방법, 리얼타임으로 의사결정이 이루어지는 방법 등이 있다. 둘째, 적절한 스케줄링 기법과 알고리즘이 요구된다. 셋째, 하나의 공작기계에 여러 개의 제품이 대기하고 있을 때 이들 제품간의 작업에 대한 우선순위를 결정해야 한다.

본 연구의 목적은 변화하는 환경에 적극적으로 대응할 수 있는 유연생산시스템에서 단기 생산계획의 새로운 방법론을 구축하고, 이것을 기존 방법론들의 성

과와 비교해 보아 새로운 방법론인 혼성기준 어프로치의 개발과 이의 성과를 분석하려 한다. 즉, 유연생산시스템의 생산계획(생산할 제품의 선택, 선택된 제품의 생산비율 결정, 각 공작기계에 작업을 할당하는 문제와 가공공구의 할당)에 새로운 방법론을 제시하고자 한다.

일반적으로, 생산계획을 수립시에 셋업타임(Set-up time)을 줄이고 적용이 용이한 배칭 어프로치는 제품혼합비율의 점진적인 수정이나 리얼타임 공구교환을 이루지 못하고 있다. 배치 시스템(Batch System)하에서는 각 제품의 수요가 하나의 배치에서 순차적으로 생산되어지게 되는데 셋업타임과 이의 횟수를 최소화하기 위해 제품을 각 배치에 적절히 할당하는 문제를 다루고 있다. 이 분야에 대한 연구는 Hwang(1986), Rajagopalan(1986) 등에 의해 수행되었다.

한편, Stecke와 kim(1991)의 유연어프로치에서는 유연생산시스템 운영동안 시스템 셋업에 대한 계획은 시차를 두고 주기적(Rolling Horizon Basis)으로 수행한다.(예를 들면, 제품구성이 바뀌었을 때, 제품 수요물의 생산이 완료되었을 때, 기계가 고장이 났을 때 등.) 시스템 셋업에 대한 유연 어프로치는 시스템 가동률(System Utilization)을 높일 수 있고, 작업의 동적 상황(기계 고장, 긴급 주문 등)을 적절히 반영할 수 있게 한다. 이것은 유연성이 높은 유연생산시스템일수록 더욱 높은 시스템 가동률에 의해 시스템 코스트를 줄일 수 있다는 것을 의미하는 것이다. 또한 시스템 가동률 면에서 유연 어프로치의 장점은 시스템 컨트롤을 위한 리얼타임 스케줄의 사용을 가능하게 한다는 것이다.

유연 어프로치는 다음과 같은 상황이 발생했을 때 단기생산계획문제에 대한 해를 업데이트하는 것에 의해 도입이 가능하게 된다: 생산이 완료된 제품이 발생할 때, 긴급한 주문이 발생했을 때, 생산해야 할 주문이 바뀌었을 때, 새로운 제품이 생산에 투입되었을 때, 공작기계가 고장났을 때, 예방보수활동이 전개되었을 때 등등.

기존의 배칭 어프로치와 최근에 유연 어프로치간에는 서로 상쇄되는 장단점이 있다. 유연 어프로치는 배칭 어프로치 보다 총생산지체시간(Makespan)이 짧게 걸리지만 상당히 긴 평균 리이드 타임(Average Lead Time)이 소요되고 있다. 여기서 총생산지체시간이란 시스템 가동률의 측정지표로서, 계획된 모든 제품의 모든 수요량의 생산이 완료되는 시점과 이들 제품 중 첫 단위가 투입되는 시점간의 차이를 의미한다. 평균 리이드 타임은 각 제품의 리이드 타임을 산술평균한 값으로 정의되는데, 리이드 타임은 한 제품 주문량의 첫 단위가 투입되었을 때의 시간과 그 제품의 수요량의 마지막 단위의 생산이 완료되었을 때의 시간의 차이에 의해

서 정의된다. 배칭 어프로치가 총생산지체시간 면에서는 성능이 떨어진다.

두 방법론간에 절대적인 우수성이 나타나지 않으므로 이 두 가지 방법을 변형시켜 새로운 방법론의 개발에 대한 필요성이 대두되었다. 배칭 어프로치에 대한 한가지 가능한 도입방법은 아래에 설명되어 있는 바와 같이 일정한 규칙에 따른 주기적 계획방법에 의해 배칭 어프로치를 도입하는 것이다. 만약에 현재 남아 있는 제품들의 수요량만을 생산한다고 할 때, 한 제품의 수요가 한 배치에서 완료되었을 때마다 시스템 가동률을 측정할 수 있을 것이다.(배칭 어프로치) 이렇게 측정된 가동률이 일정한 기준 이상이 아니라면 시스템 가동률을 증대시키기 위해 다음 배치에 새로운 제품을 투입하게 될 것이다.(유연 어프로치) 이것을 혼성기준 어프로치(Hybrid-threshold Approach)라고 한다. 이러한 어프로치는 평균 리이드 타임(Average Lead Time)의 장점을 크게 손상하지 않으면서 배칭 어프로치보다 짧은 총생산지체시간을 유지할 수 있을 것이다.

2. 혼성기준(Hybrid-threshold)방법론의 개념

본 연구에서는 Stecke가 분류한 5개의 생산계획문제 중에서도 제품선택 문제와 선택된 제품의 상대적 생산비율을 중심으로 해서 기존에 좋은 성과를 나타내는 것으로 알려진 방법론과 본 연구에서 새롭게 제시된 방법론을 비교분석할 것이다. 방법론의 비교분석에는 주문에 대한 총생산지체시간과 평균 리이드타임이 성과치로 사용되었다. 총생산지체시간은 시스템 가동률(System Utilization)의 측정지표로서 각 제품이 생산라인에 지체하는 시간을 의미한다. 주문에 대한 리이드타임은 주문의 첫 단위가 투입되었을 때 시간과 주문의 수요량이 모두 완성되었을 때의 시간과의 차이에 의해서 정의되고, 소비자의 수요를 충족시키는 지표로 사용된다.

배칭 어프로치하에서 제품선택과 제품혼합비율결정문제에 대한 Rajagopalan의 자기 발견적 기법이 주문에 대한 평균 리이드 타임을 고려해 볼 때 유연 어프로치와 배칭 어프로치에서 개발된 다른 모델들 보다 좋은 성과를 나타내고 있다.

Stecke와 Kim의 연구(1991)에서 보았듯이 유연 어프로치는 배칭 어프로치 보다 짧은 총생산지체시간을 달성하지만 상당히 긴 평균 리이드 타임이 소요되고 있다. 반대로, 배칭 어프로치가 총생산지체시간면에서는 성능이 떨어지지만 배칭 어프로치를 변형시켜 새로운 방법인 혼성기준모델의 성과측정 면에서는 좋은 결과를 나타낼 것으로 예상된다.

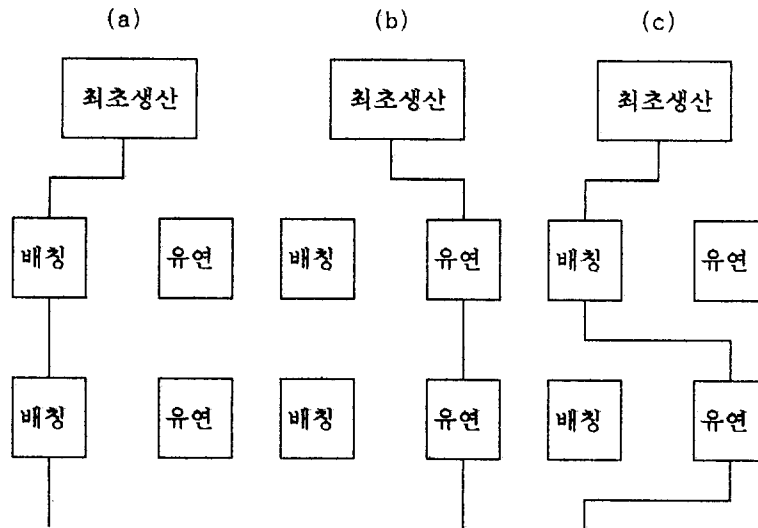
배칭 어프로치에 대한 가능한 도입방법은, 만약에 현재 남아 있는 제품의 수

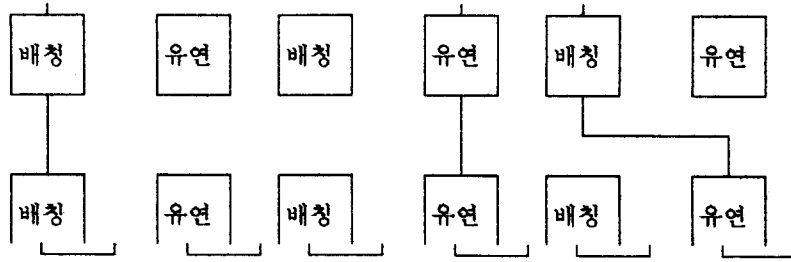
요량만을 생산하는 경우, 한 제품의 수요가 한 배치에서 완료되었을 때마다 시스템 가동률을 측정하여 일정한 기준 이상이 아니라면 시스템 가동률을 증대시키기 위해 다음 배치에 새로운 제품을 투입(유연프로치의 사용)하게 될 것이고, 그렇지 않은 경우는 새로운 제품은 투입하지 않게 된다(배칭어프로치의 사용). 후자의 경우 필요한 가공공구를 할당할 필요가 없어 셋업의 횟수가 증가하지 않는다. 이제부터 이것을 혼성기준 어프로치(Hybrid-threshold approach)라고 일컫고자 한다.

이러한 어프로치는 평균 리이드 타임의 장점을 그리 손상하지 않으면서 배칭 어프로치의 단점인 총생산지체시간이라는 줄일 수 있는 성과를 얻을 수 있을 것이다. 따라서, 이 어프로치는 실제 기업에서 많이 요구되는 다목적합수 즉, 총생산지체시간과 리이드 타임에 대한 만족할 만한 해를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 유연생산 어프로치의 적용 하에서 빈번한 가공공구교환 때문에 발생하는 생산성 손실의 일부도 해결할 것이다.

혼성기준 어프로치의 기준이 너무 낮게 설정되면 <그림 5-3>의 (a)에서와 같이 배칭 어프로치 하의 생산과 같은 방법으로 생산이 이루어지고, 너무 높게 설정되면 <그림 1>의 (b)에서와 같이 유연 어프로치 하의 생산과 같은 방법으로 생산이 이루어지게 된다.

<그림 1> 혼성기준 방법의 생산과정





3. 분석결과

(1) 혼성기준 어프로치는 유연 어프로치의 두 가지 성과치와 배칭 어프로치의 두 가지 성과치를 선형결합한 직선보다 낮게 나타났다.

(2) 각 제품에 대해 기계유형간 가공시간의 차이가 많이 날 때 배칭 어프로치와 유연 어프로치간에 나타나는 성과치인 평균리이드 타임과 총생산지체시간의 반비례 관계가 더욱 심해 지는데, 이렇게 두 성과치 간의 차이가 많이 발생할 수록 혼성기준 어프로치의 성과가 매우 좋게 나타난다. 반면에 기계유형간 가공시간의 차이가 미미할 때는 두 어프로치의 성과치 간에 반비례관계가 약해지는데, 이렇게 두 성과치 간의 차이가 미미할수록 혼성기준의 성과가 배칭 어프로치의 성과와 유연 어프로치의 성과를 선형결합한 선상에 근접하게 된다. 기계유형간 가공시간의 차이가 미미할 때는 정적상황에서 선택대안의 부족으로 인해 유연 어프로치의 총생산지체시간이 배칭 어프로치와 유사하게 되고, 평균 리이드 타임은 현격히 길어지게 된다. 이럴 경우, 혼성기준 어프로치를 사용함으로써 총생산지체시간에는 큰 변화가 없지만 평균 리이드 타임은 상대적으로 크게 줄여 줄 수 있게 된다.

(3) 혼성기준 어프로치의 기준은 유연 어프로치 방식의 생산과 배칭 어프로치 방식의 생산이 교대로 이루어지게 할 수 있게끔 결정되어야 성과치가 좋게 나타난다.

(4) 혼성기준 어프로치의 기준설정은 <그림 5-3>의 (c)와 같은 방법의 생산이 이루어지도록 생산품목들의 평균 시스템 가동률의 높고 낮음에 따라 다르게 선정되어야 한다.

(5) 정적 환경이 아닌 역동적 환경 하에서는 제품의 선택대안이 많아 지기 때문에 배칭 어프로치의 성과치보다 유연 어프로치와 혼성기준 어프로치의 성과치

의 향상이 두드러 진다.

결론적으로, 혼성기준 어프로치의 성과가 기존 방법들의 성과를 선형결합한 직선보다 상당히 아래에 나타나 기존 방법들보다 우월함을 알 수 있다. 뿐만 아니라 일부의 경우에는 배칭 어프로치보다 짧은 평균 리이드 타임과 유연 어프로치보다 짧은 총생산지체시간을 나타내고 있다. 또한, 배칭 어프로치의 성과치와 유연 어프로치의 성과치 간에 반비례관계가 심할 수록 혼성기준 어프로치가 바람직하게 나타난다.

혼성기준을 선정할 때 모든 상황에 대해서 효율적인 혼성기준이 있는 것이 아니라 전체시스템의 가동률이 높고 낮음에 따라, 즉 기계유형간 작업시간의 불균형의 정도에 따라 유동적으로 선택하여야 한다. 시스템의 가동률이 전반적으로 낮을 때는 혼성기준을 낮게 설정(약 40%에서 65%)하는 것이 바람직하고, 시스템의 가동률이 높을 때(약 65%에서 90%정도)는 혼성기준을 높게 설정하는 것이 바람직하다.

< 참고문헌 >

<국내문헌>

1. 강석호, 컴퓨터통합생산정보시스템, (주)양영각, 1994년 9월, pp.154-155.
2. 김일용, "유연생산시스템에 있어서 단기생산계획의 방법론들의 비교연구", 한국생산관리학회, 1994.
3. 손준영, "유연생산시스템의 단기생산계획에 관한 연구", 석사학위논문, 홍익대학교, 1995.
4. 최정상, 노인규, "유연가공셀에서 운반시간을 고려한 일정계획", 한국경영과학회지(제 19권 제 2호), 1994. 8.
5. Takayoshi Ohmi, "Factory Automation and its Future", '93 산업용 로봇 및 자동화 기술 세미나, 한국공작기계공업협회, 한국기계연구원, 한국정밀공학회 주최.

<외국문헌>

1. Areyes, R. U., Haywood, W. and Tchijov, I., *Computer Integrated Manufacturing: Models, Case Studies and Forecasting of Diffusion*, Chapman Hall, 1992.

2. Barker, J. R. and McMahon, G. B., "Scheduling the General Job Shop," *Management Science*, Vol. 31., No. 5, pp. 594-598., 1985.
3. Brooke, A., Kendrick, D., and Meeraus A., *GAMS: A User's Guide*, The Scientific Press, 1988
4. Carlier, J. and Pinson, E. "An Algorithm for Solving the Job-Shop Problem," *Management Science*, Vol. 35., No. 2., pp. 164-173., 1989.
5. Rajagopalan, S., "Formulation and Heuristic Solutions for Parts Grouping and Tool Loading Flexible Manufacturing Systems," *Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems: Operations Research Models and Applications*, Ann Arbor, MI. K. E. Stecke and R. Suri (Editors), Elsevier Science Publisher B. V., Amsterdam, pp. 311-320., 1986.
6. Shannon, M. R. and Adelsberger H. H., "Expert Systems and Simulation," *Simulation*, Vol. 44, No. 6, pp. 275-284(6, 1985).
7. Stecke, K. E., "Design, Planning, Scheduling and Control Problems of Flexible Manufacturing Systems," *Annals of Operations Research*, Vol. 3, pp. 3-12(1985).
8. Stecke, K. E. and Kim, Ilyong, "A Flexible Approach to Implementing the Short-Term FMS Planning Function," *Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing System: Operations Research Models and Applications*(1986).
9. Stecke, K. E. and Kim, Ilyong, "A Study of FMS Part Type Selection Approaches for Short-Term Production Planning," *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 1., No. 1., pp. 7-29., 1988.
10. Stecke, K. E. and Kim, Ilyong, "A Flexible Approach to Planning Function in Flexible Manufacturing Systems," *International Journal of Production Research*, Vol. 29., No. 1., pp. 53-75., 1991.