

제어 기법의 생산시스템 적용의 동향 및 전망

黃 春 植

(육군사관학교 부교수)

■ 차 례 ■

- 1. 서 론
- 2. 일반적인 전망
 - 가. 복잡성 (Complexity)
 - 나. 계층구조 (Hierarchy)
 - (1) 단위기계 레벨 제어
 - (2) 셀레벨제어
 - (3) 공장레벨 제어
 - 다. 규 칙 (Discipline)
 - 라. 생산능력 (Capacity)
 - 마. 불확실성 (Uncertainty)
 - 바. 휘드백 (Feedback)
- 3. 제어기법의 실제적 적용 및 최근경향
 - 가. 공장레벨 제어
 - (1) 전통적인 방법
 - (2) 생산제어의 최근 경향
 - 나. 셀레벨 제어
 - (1) 전통적인 접근법
 - (2) 셀 설계 및 제어의 최근 개발 동향
 - 다. 기계레벨 제어
 - (1) 전통적 접근법
 - (2) 최근의 개발 현황
- 4. 최근의 연구 방향 및 결론

1 서 론

최근 마이크로프로세서를 포함한 저가의 고성능 컴퓨터의 급속한 보급 및 이용으로 인하여 품질관리, 자동 조립 공정, 동작기계제어, 로봇트 제어등의 제조업분야에서 큰 관심을 얻고 있는 공장 생산설비의 자동화가 생산성을 높이기 위한 획기적인 수단으로 각광을 받게 되었다. 이렇게 새로 도입되고 있는 제조수단이 단시일내에 급속한 발전을 하고 있는 것은 사실이나 그 이면에는 아직 확립되지 못한채로 적용되고 있는 시스템공학적인 문제들이 있다. 이와같은 문제들 중에는 생산계획 (production planning and scheduling)의 문제와 작업공정의 제어등이 있다.

이런 문제들은 제품생산환경의 불규칙한 변화(예를들면 기계의 고장 또는 불확실성, 요구생산량의 변화 등)라든가 방대한 자료의 필요성, 다중계층구조(multilevel hierarchies) 등으로 인하여 더운 복잡한 양상을 띠게 된다.

本考에서는 제어공학의 관점에서 본 생산시스템의 최근의 발전을 이해해 보고자 한다. 제어공학¹ 또는 더 넓게는 시스템공학적인 기본이론들이 이와같은 생산시스템의 성능향상을 위한 기업의 기초가 되고있기 때문이다.

현재 적용되고 있는 몇가지 기법을 요약하여 소개하고 진행되고 있는 연구의 방향을 피력하기로 한다. 어떤 기법은 이미 국내에서도 실제의 시스템으로 실현되어 사용되고 있는 것도 있고 많은 생산시스템들이 큰 관심을 가지고 그 실현을 기대하고 있는 분야도 있다.

2] 일반적인 전망

생산시스템의 제어가 여타의 다른 제어시스템과 비교하여 본질적으로 특이한 점은 없다. 복잡한 시스템을 요구하는 방향으로 동작하도록 하는 것이 그 목적임에는 동일하다. 전통적 제어이론과 이것의 실제의 응용사이에는 상당한 차이가 있긴 하지만 제어이론의 많은 부분들이 생산시스템의 제어에도 변형된 형태로써 적용된다.

생산시스템에서의 중요한 특징들로는 복잡성, 계층구조, 규칙성(discipline), 생산 능력(Capacity), 불확실성 그리고 휘드백등이다. 한편 제어이론에서의 중요한 개념들은 狀態(State) 및 제어변수(control variables), 목적함수, 플랜트모델, 제한조건(constraints) 등이다. 이러한 개념들이 실제의 생산시스템의 특성에 어떻게 투영되고 있는지를 살펴보자.

가. 복잡성(Complexity)

생산시스템은 대규모시스템이다. 이런 시스템을 모델링하기 위해서는 많은 양의 데이터가 필요하다. 따라서 최적화는 불가능하다. 여러 계층으로의 분리(decomposition)에 의한 준최적화가 가장 바람직한 실제적 접근 방법일 것이다.

나. 계층구조(Hierarchy)

생산계획을 결정하는 데는 여러 단위의 시간 스케일이 있게 된다. 가장 긴 시간대를 잡아야 할 것에는 자본의 사용 또는 자본의 재배치등이 있겠고 가장 짧은 시간간격을 요하는 결정으로는 조립제품에 부품삽입시간 또는 로봇 팔의 운동 등이 있겠다. 이들의 결정은 서로 독립된 것처럼 보이지만 사실은 서로 관련을 갖고 있다. 장기간의 결정사항들은 그보다 짧은 기간의 결정사항들에 대한사항으로 작용하기 때문이다. 생산계획을 결성할 때에는 암암리에 생산능력을 고려하여야 한다. 생산능력이라는 말도 어떤 시간대(Scale)에서 사용되느냐에 따

라 그 의미가 달라지는데 단시간대에서는 어떤 순간에 있어서의 동작중인 기계갯수의 함수이지만 장기간대에서는 이와같은 단기간대 생산능력의 평균치이다. 시간 스케일에 따라 좀 더 세분하여 보면 다음과 같은 단위 기계레벨에서의 제어, 몇개의 기계들이 그룹이 되는 셀(cell) 수준에서의 제어, 다시 여러 셀들이 조합되는 공장레벨에서의 제어로 구분된다.

(1) 단위 기계레벨 제어

가장 단기간의 시간대에 있는 것으로서 여기에는 로봇트판케지의 계산 및 이의 구현, 릴레이나 마이크로스위치, 모터에서의 "ladder diagram" 디자인, 기계공구에서의 수압장치, 반도체 제조공정에서의 로(furnace)나 기타 기계 장치의 제어등이 포함된다. 적응능력이 구비된 절단기에서의 미세조성등도 이에 해당되겠다. 구체적으로 어떤 정도의 시간을 단기간제어라고 정의하는 기준은 없다. 로봇트판이 움직이는 데에는 수초가 걸리기도하고 반도체 웨이퍼 표면을 산화시키는 데는 수시간이 걸리기도 한다. 단위 기계수준에서의 제어의 주된 문제는 각각의 동작을 최적화하는 것이다. 구분동작이나 자재를 운반하는데 걸리는 시간과 드는 비용을 최적화 하자는 것이다. 각각의 동작들간의 자세한 관계를 취급할 수도 있다. 선형균형(line balancing)의 문제는 이의 한 예이다. 즉 한 생산라인의 각 스테이션에서 수행되어야 할 동작들을 그 임무에 따라 그룹으로 묶는 것이다. 그 목적은 한 스테이션에서 걸리는 시간의 최대값을 최소화 하자는 것이다. 그리하여 최대의 생산율을 기 하고자 하는 것이다. 여기에 속하는 또 다른 제어의 예로서는 기계공구에서의 마모나 파손의 감지, 爐의 온도나 부분압력의 제어 인쇄회로기판에 부품삽입동작의 자동제어 등을 들 수 있다.

(2) 셀레벨 제어

다음 단계의 시간스케일로서는 몇개의 기계들의 상호동작을 생각해야 하는데 이를 통상 셀레

벨제어라 하며 여기에는 소규모 복합제조 시스템의 운전도 포함된다. 이 레벨에서 중요한 문제로는 routing 과 scheduling이다. 여기에서 해야 할 것은 실제로 원하는 양의 제품이 계획된 대로 생산되도록 하는 것이다. 그렇게 하기 위해서는 기계도 부품도 불필요하게 남는 시간(idle time)을 최소한도로 줄일 수 있도록 부품을 기계에 적절히 공급해 주어야 하는데 routing 은 부품이 어떻게 어떤 순서와 경로로 정해진 기계들을 방문해야 하는가를 결정하는 것이고 Scheduling은 언제 부품이 기계에 삽입 또는 공급되어야 하는가를 결정하는 것이다.

Routing에 있어서 가장 중요한 고려 요소중의 하나는 정해진 임무를 수행하는데 필요한 기계들이 가용한가 하는 것으로서 이때 주의할 것은 특정한 임무만을 수행할 수 있는 전용기계(dedicated machine)자리에 그 일도 할 수 있고 다른 임무도 할 수 있는 복합기계(flexible machine)를 갖다 놓는 것은 바람직하지 않다는 사실이다. 그것은 복합기계는 전용기계가 없는 장소 또는 임무에 쓸 수 있기 때문이다.

Scheduling 문제에 있어서는 각 부품들이 필요한 기계를 적시에 방문할 수 있음이 보장되어야 함과 동시에 요구되는 생산량을 만족시킬 수 있어야 한다. 이 레벨에서 문제는 기계, 수송수단, 저장장소등 시스템의 자원들을 가장 효율적인 방법으로 배분하는 것이다.

이 레벨에서의 제어의 문제는 또한 한 장소에서 발생한 장애가 공장전체의 가동에 미치는 영향이 최소화되도록 조절하는 것이다. 여기서 장애란 기계고장, 운영자의 부주의, 필요한 자재가 가용치 못할 경우, 수요가 갑자기 팽창하는 경우, 또는 사전에 예측하지 못한 불가피한 사건등을 말한다. 마치 항공기를 제작하는데 있어서 갑작스런 돌풍에도 적응력 있게 대응토록 한다든지 또는 몇개의 엔진중 하나, 둘이 고장난다 하더라도 정상비행을 할 수 있도록 한다든지 하는 것과 견주어 볼 수 있다.

(3) 공장레벨제어

상위레벨로 갈 수록 시간스케일은 더 길어지고 고려해야 할 분야는 더 넓어지게 된다. 셀레벨의 상위레벨은 몇개의 셀들이 합쳐진 단위를 취급하는 공장레벨의 제어이다. 예를들어 인쇄회로기판을 생산하는 제조공장이라면 이 레벨에서의 첫 단계에서는 보드를 준비하는데 필요한 작업들이고 보드표면의 금속부분이 불필요한 부위의 금속을 제거하고 필요한 곳에 구멍을 뚫는 등 일련의 작업공정이 다음 단계가 되겠고 그 다음 단계는 부품을 삽입하고 그 다음은 납땀을 실시하는 단계가 되겠으며 그 다음에는 보드가 시험되고 필요하다면 재작업이 이루어질 것이다. 마지막으로 그들이 모여져서 생산품으로서 조립되겠는데 이과정은 더 긴시간과 공간을 차지하게 된다.

이 레벨에서도 routing과 scheduling은 중요한 문제인데 준비(setup)하는데 걸리는 시간이 무엇보다 중요하다. 즉 한 기계나 셀에서 한 세트의 같은 종류 혹은 몇개의 상이한 종류의 부품에 대하여 해야 할 일들이 끝나면 종종 시스템을 다른 형태로 재배치해야 할 경우가 생기는데 예를 들면 기계공구에서 절단기를 다른 것으로 교체해야 한다든지 등이다. 인쇄회로기판의 조립의 예에서 보면 부품삽입기에 남아있는 잔여물들을 제거하고 다른 타입의 보드에 필요한 새로운 부품세트로 교환해 넣는 것과 같은 것이다. Scheduling 문제는 여기에서는 이와 같은 새로운 세트의 부품을 언제 갈아 넣어야 하는가를 선택하는 문제로서 때로는 이를 tooling문제라고도 한다.

긴 시간스케일을 요하는 몇가지 중요한 문제들이 남아있는데 그 중 하나는 이미 사전에 계획이 수립되어 시스템이 정상적으로 가동되므로서 생산중인 것과 생산요구가 새로이 들어와 추가된 것을 여하히 조합하느냐의 문제이다. 또 다른 결정해야 할 사항은 종업원들이 몇 교대를 실시해야 하는가와 향후 수개월 동안 고용원의 계약과 같은 中期결정사항들을 결정하는 것이다. 마지막으로 공장의 자본재 증감에 대한 결정을 해야 한다. 이것은 가장 중요하고도 어려운 결정사항으로서 시장점유율, 판매량, 생산품

의 품질관리, 소비자로부터의 반응등과 같은 전략적 결정들도 이 레벨에서 결정할 사항들이다.

다. 규칙(Discipline)

복잡한 시스템에서는 구체적으로 정해진 운용규범 또는 규칙이 요구된다. 생산, 통신, 수송등과 같은 대규모 작업군에 있어서 이런 규칙이 준수되지 않거나 부적절한 것일때 전체 시스템은 큰 혼란을 초래한다. 생산의 측면에서 보면 모든 생산종사자들은 작업규범에 맞도록 행동해야 한다. 여기에는 공장의 하부조직에서 일하는 일용 고용자로부터 상부 구조의 관리자에 이르기까지 모든 사람에게 해당된다. 일용 고용자는 필요시에 제 위치에서 요구하는 일을 할 수 있어야 하고 관리자는 시스템이 생산해 낼수 있는 최대생산량을 초과해서 생산화라고 강요해서는 안되는 등을 말한다. 구조의 각 레벨에서 허용되는 행동의 범위를 엄격히 정하고 그 범위 내에서 행동하도록 엄히 제한함이 중요하다. 이와같은 제한에는 물론 각 레벨의 결성권자들에게 전체 시스템에 유익한 결정이 되도록 충분한 선택상의 자유도를 허용해 주어야 하며 정상적 동작을 저해하도록 해서는 안된다.

라. 생산능력(Capacity)

시스템 규범중 중요한 요소중의 하나는 그 시스템의 생산능력이다. 생산요구는 이 생산능력의 범위안에 있어야 하며 그렇지 못할때 긴 대기라인이 형성되거나 추가적인 비용이 발생하기도 하며 때로는 오히려 생산성을 저하시키는 요인이 되기도한다. 고위 관리자는 그 휘하에 있는 시스템에 대하여 능력을 초과하는 초과생산을 요구하도록 허용해서는 안된다. 물론 하부구조에서는 그들의 적정 생산능력을 줄여서 보고하는 등의 오류가 있어서도 안된다.

모든 기계에서의 작동에는 얼마만큼의 시간이 소요된다. 다시 말하면 모든 기계의 시간당 생산을 즉 생산능력이 결정 된다는 것인데 이 능력보다 더 빨리 생산 할 수는 없기때문에 이에 초과해서 공급되는 부품은 저장장소나 운반기계에 쌓이게 마련이고 그렇게 되면 오히려 이들의

치리에 부가적인 일이 소모되어 결과적으로 보면 유효생산능력을 떨어뜨리게 된다. 초과 공급부품이 많으면 많을수록 그에 비례하여 생산성은 떨어지게 될 것이다. 따라서 온라인 계획에 있어서 이 생산능력을 정확히 결정하는 것은 무엇보다 중요한 문제이다.

생산시스템에 있어서 또 하나의 복잡한 문제는 사람이 개입된다는 문제로 부터 연유하는데 기계의 생산능력을 측정하는 것은 비교적 용이하나 인간의 생산능력을 측정한다는 것은 지극히 어려운 문제이다. 특히 일이 창조성을 요하는 분야에서는 더욱 그렇다. 인간의 능력이란 주위의 환경에 따라 또는 그 변화에 따라 크게 달라지기 때문이다.

계층구조의 모든 레벨에서의 생산능력을 정의하고, 측정하고, 고려하는 것은 매우 중요하다. 시스템의 생산능력을 초과하는 생산요구는 잘해야 쓸모없는 것이요 최악의 경우는 시스템에 오히려 손실을 가져온다. 반면 학습활동(learning process)을 통해서는 오히려 생산능력을 증진시킬 수가 있는데 이것이 일본의 생산시스템에서 오랫동안 추구해온 적시 적접근법(Just-in-time approach)의 주 목적이다.

요약하여 어느 정도의 생산능력이 그 시스템에 적합한 능력인가를 결정하는 일과 그 능력을 그대로 유지하기 위해서는 어떤 규칙이 필요한가를 개발하는 일, 그리고 더 나아가서는 능력을 신장시킬 수 있는 학습활동을 하는 것이 생산성을 증대시키는 요체이다.

마. 불확실성(Uncertainty)

모든 실제적 시스템은 불규칙교란(random disturbance)에 의하여 영향을 받는다. 교란이 일어나는 정확한 시간이나 그 강도는 모른다 하더라도 확률에 의한 대략적인 값은 알 수가 있다. 시스템이 정상적으로 동작하려면 이 교란현상에 대하여 민감하지 않도록 하는 어떤 수단이 필요하다.

세어이론에서는 때로 불규칙사건과 미지의 파라미터를 구분하는 내 이 경우 각각에 대처하는 방안도 각기 다르다. 생산시스템에서 기계

고장, 운용자의 부주의, 자재의 부족, 요구 생산량의 변화등이 불규칙 사건들이고, 기계의 신뢰도가 미지파라미터의 한 예이다. 이런 불확실성에 대하여 시스템이 둔감하도록 하는것이 운용규칙의 한 기능인데 특히 시스템의 생산능력을 결정할 때에는 이와같은 불확실한 사실들을 고려에 넣어야 한다. 시간스케일의 각계층 레벨에 따라서 고려해야 할 교란의 종류도 달라지는데 예를들면 가장짧은 시간스케일에서는 한 기계의 고장이 다음에 삽입되어야 할 품목이 어떤 것이어야 하는가에 영향을 미치게 되며 가장 긴 스케일에 있어서는 사회의 경제동향과 기술의 변화나 발전이 시장의 결정과 자본투자에 영향을 미치게 된다.

믿기에는 그와같은 교란이 공장의 가동에 중요한 요인이 된다. 계획과 기획에는 어렵겠지만 이들 사건들을 고려해야만 한다.

바. 휘드백(Feedback)

불확실성 하에서도 적절한 결정을 하려면 현재의 시스템상태를 정확히 알아야하며 또 이것을 잘 이용해야 한다. 단기간 스케일에서는 기계들의 운전상태, 소모된 재료의 양등이 시스템상태가 되겠다. 제어공학을 공부한 사람은 좋은 휘드백전략을 세우는 것이 일반적으로 어렵다는 것을 안다. 더구나 이와같은 휘드백의 결정을 신속하면서도 장기적 목적에 부합해야 한다. 최적의 휘드백을 결정하는 것과 이런 휘드백을 구하는데 요구되는 컴퓨터 계산량의 증대비는 좋은 연구소재가 되고 있다.

3. 제어기법의 실제적 적용 및 최근경향

제조업분야가 제어응용을 적용해 불만한 중요한 분야임에는 틀림없다. 그러나 최근까지 고전적제어나 현대제어쪽에서 모두 크게 관심을 가지지 않는것도 사실이다. 그 한 원인로서는 제조업쪽에서 제어이론이 별 도움을 주지 못할 것이라고 느꼈던것 같다. 그러나 최근에 이르러 상황이 많이 달라지고 있다. 국내와 해외

에서 극심한 경쟁에 부딪치게 되자 많은 생산시스템에서는 생산원가를 최대한도로 줄여서 이 경쟁에서 이기어 살아남기 위하여 생산라인의 자동화, 공장의 무인화 재고관리, 나아가 제품의 품질관리 등의 면에서 제어기법을 유용하게 적용할 수 있음을 알고 큰 관심을 가지게 된것이다.

반대로 제조업분야가 제어공학을 하는 사람들의 주의를 끌지못한 것도 사실인데 그 이유는 제조업 분야가 제어학자들이 볼때는 그들의 제어기법을 적용해 볼만한 적합한 분야가 아니라고 여겨온 때문이다. 대규모의 복잡한 시스템을 모델링 하는 것은 대단히 어렵기도 하고 휘드백 제어량을 구하기 위해 필요한 정확하고도 최근의 현실성있는 데이터를 구하기 어렵다고 보기 때문이다. 상당부분에서 제어이론은 대상 공장이 자동으로 제어된다고 묵시적으로 "가정"하고 있지만 실제의 생산공장은 대부분 자동이 아닌 수동으로 제어되고 있다.

그러나 이런 모든 점들이 현재는 변모하고 있다. 그것은 저렴한 가격으로도 성능 좋은 컴퓨터를 획득 가능하고 자동화된 시스템의 설치가 "턴키"방식으로 가능케 되었으며 한편으로는 더욱 융통성이 있으면서도 고품질을 요하는 시대적 요청에 따라야 하는 필연성이 있기 때문으로 보인다.

산업에 있어 계획이나 기획을 위한 여러가지 방법들이 가용하다. 본 절에서는 이와같은 방법들을 개관 검토해 보고 앞에서 논한 기준에 입각하여 이들을 평가해 보고자 한다. 생산시스템에서의 대표적인 방법을 택하므로써 독자들로 하여금 이 분야의 현주소를 파악케 하고자 한다.

가. 공장레벨 제어

(1) 전통적인 방법

생산분야에서는 생산제어 문제를 특별히 하나의 완성된 틀(framework)로서 생각해 왔다. 생산활동을 위해 필요한 모든 계획이나 생산기

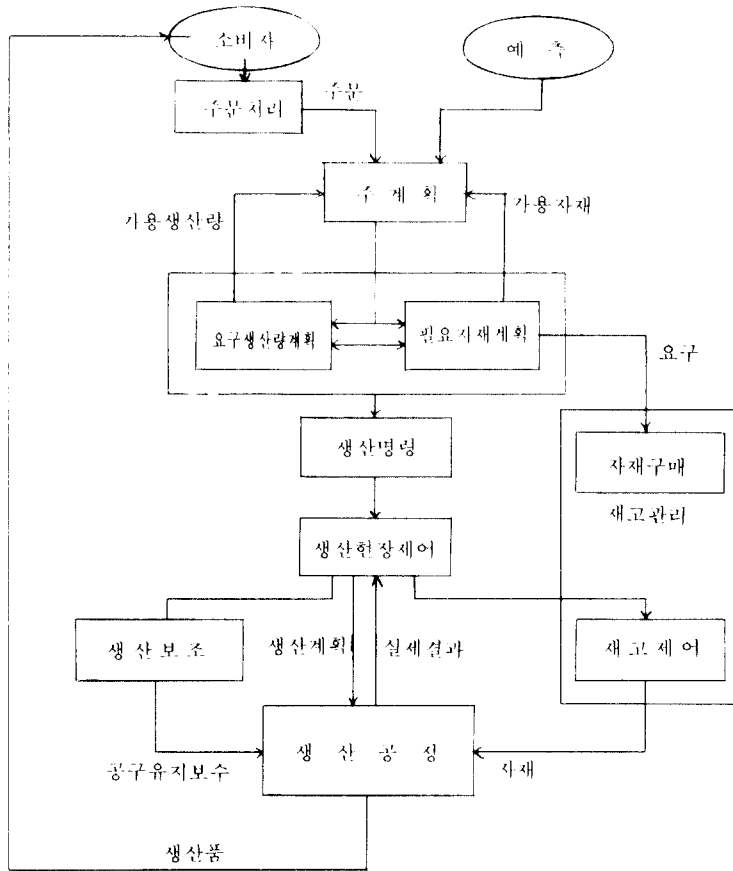


그림 1 전통적인 생산제어 계통도

능을 최대의 생산성을 기할 수 있도록 몇개의 큰 그룹으로 묶어서 생각했다. 이들의 구성과 그룹간 상호관계를 그림 1에 나타내었다.

이 그림은 서로 다른 그룹이 상호간에 정보를 전후로 주고 받으며 많은 양의 상호작용을 하고 있다. 또한 그림은 생산제어의 관점에서 볼 때 주로 자원의 분배문제를 다루고 있다. 성공적인 제어 시스템이 되기 위해서 여기에 추가해야 할 분야로서 단가계산 및 조달, 채권·채무등과 같은 제정에 관한 사항이 있다. 그림의 이해를 돕기 위하여 수행 기능별로 몇 그룹에 대한 간단한 설명을 추가한다.

- **예 측** : 제품의 수요를 장·단기간별로 예측한다. 수요예측에는 여러가지 모델이 사용될

수 있다.

- **주계획** : 실제 공장의 생산능력에 새로운 생산계획이 미치는 영향을 알기 위하여 대략적 요구생산능력을 분석 계산한다. 예측된 수요와 실제 판매부서로부터의 주문을 비교하고 예상 생산량과 실생산량과도 비교한다.
- **필요자재계획** : 외부발주자재와 내부생산자재 모두에 대하여 이들이 필요한 시기와 양을 결정한다. 각종 중간재에 대하여 최종생산품이 나와야 할 시기로부터 역산하여 그 중간재들이 생산되어야 할 날짜를 계산한다. 또한 중간조립품에 대해서는 언제까지 생산 또는 주문이 이루어져야 하는가를 결정한다. 그러기 위해 상세한 요구생산량이 결정되어야 하며

이들을 생산하기 위한 절차가 결정되어야 한다. 물론 창고나 야적 장소의 크기도 나와야 한다. 한편 이 과정에서는 상당히 상세한 계획은 이루어지지만 우발적이고 불규칙한 사건이나 미지변수의 영향은 고려되지 않으므로 과대한 컴퓨터사용시간, 부정확한 계산결과, 계획의 지연 등이 있을 수 있다.

- **요구생산량계획** : 기 계획된 생산량과 새로 추가된 양을 합하여 작업장이 생산해야 할 생산량을 결정하고 이것과 가용한 생산능력을 비교한다.
- **생산명령** : 이것은 생산계획과 그의 실제 실행을 연결하는 기능이다.
- **생산현장제어 (shop floor control)** : 여기에서는 생산계획을 실시간으로 제어하는 하부구조이다. 우선순위선정, 생산품, 부속자재, 공구 등을 추적한다. 생산품의 배열, 생산라인의 성능 등에 관한 자료를 수집한다.

○계획의 절차

위 그림의 기능들은 이미 잘 정립이 된 상태이며 많은 회사들이 이와 매우 비슷한 기능별 구조를 가지고 조직되어 있다. 예를들면 어떤 그룹의 사람들은 재고의 제어만을 책임지고 있으며 어떤 그룹은 주계획 분야만을 책임지고 있다.

컴퓨터의 발달로 위에 보인 각 기능을 거의 그대로 수행하는 소프트웨어가 잘 개발되어 있다. 기능별로 소프트웨어가 모듈화 되어 있어 따로따로 구입할 수도 있다.

계획을 수행하는 데는 많은 어려움이 수반하기도 한다. 어려움을 잘 나타내 주는 경험적 예를 하나 들어본다. 침대카바를 생산하는 A업체가 있는데 시트, 베개 및 베게카바, 기타의 악세사리들을 생산하고 있다. 이들 품목들은 상당히 유행에 민감한 것들이라 다양한 사이즈와 색상, 무늬, 모양이 필요하다. 그런데 이들 상품을 생산하는 기본 원동력은 장기 수요의 예측에 의거하여야 하는데도 실제에 있어서는 그렇지 못할 것이고 단기 또는 길어야 중기 소비자들의 그때그때 수요에 맞도록 제품을 만들어야 했다. 즉 판

매부서에서 언제까지 어떤 제품을 얼마 만들어 달라는 요구가 있으면 장기계획은 목살되고 우선 여기에 맞출 수 밖에 없었다.

문제는 제품이 창고에 가득한데도 어떤 품목은 많이 부족하다는 것이었다. 즉 재고는 많지만 필요한 시기에 필요한 제품이 없다는 것이다.

종류가 다양한 제품을 생산해야 할 때에 생산원료는 모든 제품에 고루 할당해야 할 것이고 생산능력의 한계를 고려해야 하고 제조시스템 다이내믹스의 구현에 필요한 지연시간을 생각할 때 위의 회사는 분명 문제가 있는 것이다.

실제 많은 회사들이 그렇다. 그래서 크게 성공한 회사에서는 그렇게 하지 않는다. 성공하는 회사에서는 생산제어를 함에 있어 우선 소량의 상품을 만들어 출하하여 사용자의 반응을 보고 나서 수요를 비교적 정확히 예측하여 대량생산을 하므로써 재고를 줄이면서 유행에 맞는 제품을 내놓게 된다.

(2) 생산제어의 최근경향

① 유한-생산능력 자재요구 계획 (Finite-

Capacity Material Requirement Planning :MRP)

전통적인 MRP는 자재량의 전산화 또는 그로 인한 필요자원을 계획하는 정도였다. 피상적으로 밖에는 생산계획과 제어에 있어서 실제적 자원의 능력을 고려하려는 시도가 없었다. 대부분이 반복적인 수동처리로 이루어져 왔다. 그러나 수동으로 하는 것은 때로 불가능하기도 하고 사람을 진력나게도 한다. 요구되는 생산량을 고려한 실제적인 자원의 능력을 총괄적으로 다루는 개선된 공장레벨의 모델링에 관심이 집중되고 있어 실제적으로 지난 몇년 새에 한두개 정도의 모델이 상품화 되어 시장에 나와 있다. 아직은 이들 유한능력계획모델이 매우 제한적이기 때문에 대단한 호응은 얻지 못하고 있는 실정이다. 모델화와 이에 부수하는 최적화과정은 비교적 수월한 편이지만 이 모델을 한정된 컴퓨터타임으로 푸는 것은 매우 어려운 문제이므로 실제적인 접근 방법으로 많은 "가정"을 하므로써 문제

를 간단히 줄여서 계산한다.

(2) Just-in-Time 접근법

생산제어에 있어 Just-in-Time(JIT), 또는 Kanban 접근법은 위에서 언급한 방법의 일본식 접근방법이다. 최근에 개발된 이 접근법의 목적은 자재 또는 중간조립자재를 저장하기 위한 고가의 대규모 창고시설을 줄여보자는 것인데 이것은 内·外部로부터 공급되는 자재를 적시에 적소에 필요한 품목을 공급하므로써 가능하다는 것이다. Kanban이란 조립공정의 부품에 부착하는 표식으로써 해당부품이 실제로 조립품이나 부속조립품에 부착되면 이 표식이 제거되어 원래 그 부품을 생산한 곳으로 되돌려 보내져서 그 숫자만큼을 다시 생산하도록하는 것이다. 따라서 제어변수는 이 시스템 내에 있는 표식의 숫자가 되는 것이다.

보유자재의 부족으로 인하여 생산활동이 중단될 위험부담은 제조 각 분야에서의 제반 규정을 엄히 지키게 하므로써 이를 줄일 수 있다는 것이다. 설비의 유지보수 절차와 생산계획을 철저히 관리하므로써 부품들이 유통되는 과정에서 정지되는 일이 없게 한다. 외부에서 발주 공급된 부품들은 그들을 다시 검사해야 한다든지 유통중 변화되지 않도록 특별히 높은 품질을 유지케 한다. 특별히 JIT 프로그램에 참여하는 부품 공급 관련자들은 공급받는 쪽과 긴밀한 연락을 유지하도록 해야하며 수송에 소요되는 시간을 정확히 예측할 수 있어야 한다. 이와같이 엄격한 규정을 적용 했을때 그 결과로서는 비단 재고유지에 필요한 비용을 절감할수 있다는 잇점 외에도 장기적으로는 생산성을 증가케 된다.

통상 JIT 시스템의 구현으로 인하여 자재수송이 더 적은 분량으로 더 빈번하게 이루어지는 결과를 가져온다. 따라서 이로 인하여 자재관리 임무를 더욱 복잡하게 하여 비록 제로상태 창고를 유지토록 하는 것이 최종의 목적이긴 하지만 이를 달성키 위한 경비는 다소 증가하는 것을 감수해야 한다.

생산제어를 JIT방법으로 하려면 요구 생산량이 알려져 있고, 상당히 사전에 그 양이 확정되

고, 생산공정간에 발생될 수도 있는 생산소요시간의 변화에 대처하기 위한 완충작용이 필요없는 곳에 사용함이 좋다. 마지막에 지적한 점은 복합제조시스템(flexible manufacturing systems)이나, 잡샵(job shops), 또는 같은 기구나 기계부품 등 자원을 사용하면서 제조하는데 소요되는 시간이 각기 다른 상품을 만드는 곳에서의 자재흐름 등이 그 예가 되겠다.

JIT 접근법은 냉장고나 자동차와 같이 그 판매량이 예측가능한 제품을 생산하는 제조업체에서 사용함이 가장 적합하다. 이와같은 분야에서는 가능한 최대 생산율을 얻기위한 중간 완충장치가 필요할만큼 불확실성이 없기 때문이다.

나. 셀레벨제어

(1) 전통적인 접근법

셀레벨에 있어서의 제반 활동의 계획에 관한 성공적인 접근법은 매우 드물다. 계획에 관한 정책, 조립공장 내부의 배치, 기타문제들의 결정에 관한 시뮬레이션이 널리 사용된다. 그러나 시뮬레이션이 신뢰성 있게 되게하기 위해서는 시뮬레이션을 하는 사람이나 컴퓨터 모두에게 너무 긴 시간이 걸리고 복잡하며 또 많은 양의 데이터가 소용된다. 하나의 결정을 얻기 위해서도 많은 횟수를 돌려야 하고 파라미터 하나를 변화시켜 최적치 또는 적어도 만족할만한 결과를 얻을 때까지 변화시켜 가면서 컴퓨터를 돌려야 하기 때문이다.

(2) 셀 설계 및 제어의 최근개발 동향

자동화와 제조공정의 복잡화에 관한 최근의 발달로 인하여 전통적인 셀의 개념과 이들 셀들의 제어에 관한 개념들이 변하고 있다. 발전의 한 방향은 소위 그룹-기술셀(group-technology cells), 유선(flowlines) 또는, 셀제조(cellular manufacturing)라 불리는 기법으로서 일본의 성공에 관한 보고서로부터 자극되어 시작되었다. 제조에 동작순서를 요하는 제품군은 제조과정의 처음부터 완결될 때까지 한 셀에서 제조되게 하는 것이다. 이는 생산품의 흐름과 조립설치등

을 간략히 하게 할뿐 아니라 동작간의 협조를 긴밀히 하게하고 더욱 작은 양의 부품재고를 가지고도 가능케하며 작업자간의 높은 협조도를 발휘케 한다.

다른 한 방향은 역시 자동화와 제어기법의 발달에 자극되어 개발된 것으로서 복합제조시스템(FMS)이라는 것인데 다음에 이를 간단히 소개한다.

○복합제조시스템제어(FMS control)

현대화된 셀의 한 예가 복합제조시스템인데, 이것은 몇대의 기계와 부속된 저장시설로서 구성되어 있으며 그 사이는 자재를 운반하기 위한 장치로 연결되어 있는 구조로 되어 있다. 시스템은 컴퓨터나 망으로 연결된 여러 컴퓨터에 의해 제어되는데 복잡성 또는 다양성을 갖는 목적은 생산수요의 변화나 기계고장과 같은 갑작스런 이상이 발생시에도 생산목표를 차질없이 달성하기 위해서이다.

FMS에서는 다음과 같은 두가지 요인때문에 개별부위에서의 공정은 실질적인 것이 되어야 하는데 그 하나는 자동화된 운반시스템 때문이고 또다른 하나는 한가지 일을 끝내고 다른 일로 전환하기 위한 소위 “준비시간” 때문이다. 이 두 부분이 조화되어야 FMS의 다른 부분간에 생산능력을 신속하게 재조정할 수 있게 한다. 그리하여 잘 제어되는 FMS에서는 다양하게 변화하는 변화에 효과적으로 적응력있게 대응하는 시스템이 되는 것이다.

이 시스템규모는 대략 5대로부터 25대 정도의 기계의 범위를 갖는다. 그들 기계들은 몇개의 서로 다른 부분품(대개 5~10개의 고유한 형태의 것들)을 깎고 구멍을 뚫고 불링하는 등의 여러 공정을 거쳐서 제품을 제작하기 위한 필요한 공정을 수행할 수 있도록 특별히 제작된 것들이다.

FMS는 사전에 수립된 주 생산계획을 달성하는 것을 주된 목적으로 하는 단순한 셀이다. 동작에 필요한 결정사항들이 몇가지 있는데 다음과 같은 것이 이에 포함된다.

- 일견 모순되는 것처럼 보이는 다음과 같은 사

항들을 달성키위해 필요한 일들의 각 기계로의 배분

- 해야할 일들이 기계나 자재운반시스템에 따라 큰 차이가 지지 않도록 균형있게 배분할 것.
- 기계고장이 다른 기계의 동작에 최소의 영향을 미칠 것.
- 해야할 작업동작의 수요가 가능한 적게할 것.
- 일의 진행상 가능한 여유도(redundancy)를 가지도록 할 것(복수의 공구를 준비하는 등의 방법으로)

- 기계에 고장이 발생했을 때 위의 목적들이외에 공구의 교환에 필요한 노력이 최소화하도록 동작이나 공구를 기계에 재배분 하는 일.
- 부분품들이 다음과 같은 조건을 만족하도록 자원을 실시간으로 배분.

- 해야할 일들이 기계나 운반시스템에 따라 큰 차이가 없도록 균형을 맞추고
- 생산품의 품질이 최고상태가 되도록 한다.

앞의 두분야에 대해서는 별로 상품화 되어 시장에 나와 있는 것이 없어서 FMS를 채용하려는 사용자가 격제되는 주된 어려움이 되고 있다. 상충되는 목적들이 서로 타이트한 제한사항들을 만족시키면서 할일들을 각 자원에 수동적으로 배분하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 최근 이 문제를 해결키 위해 노력중이지만 FMS 제어에 보편적으로 쓰일 수 있을만큼 그 능력이 소프트웨어 적으로 구현되지 못하고 있다.

그러나 부품들을 실시간스케줄로 기계에 배분하는 문제를 실현하는 소프트웨어는 상품화되어 시장에 나와 있다. 그러나 제품마다 고유한 방식을 택하고 있는데다 구현방법을 자세히 공개하고 있지 않고 있다. 그럼에도 불구하고 대개의 FMS들은 그 동작을 장시간 분석해 보면 다음과 같은 것을 알 수 있다.

제반 FMS 활동을 스케줄화 하기 위한 제어 변수나 결정요소들은 다음에 열거하는 바와 같다. FMS 제어의 실무에 밝은 사람들이 주로 사용하는 접근법은 파견 스케줄(dispatch scheduling) 법이라는 것인데 여기에서 결정(decision)은 필요에 따라 이루어진다. 결정을 내릴시 정

보는 그리 많지 못하다. 이 방법에 관련된 문제들에 가해지는 규칙이나 제한사항들은

- FMS에 공급되는 부품의 공급순서: 한 FMS는 여러 개의 상이한 부품들을 처리하고 개개의 부품이 소요되는 비율이 각기 다르므로 이들 부품의 공급절차 및 순서가 제어되어야 한다.
- 조립순서: 많은 부품들은 조립라인의 여러면을 수차에 걸쳐 지나가야 한다. 이들의 통과순서는 시스템성능을 향상시킬수 있도록 그 순서가 결정되어야 한다.
- 동작의 순서: 한 부품이 완전히 조립 결합이 완료되기 위해서는 때로 여러대의 상이한 기계를 되는 것도 있다. 어떤 기계를 먼저, 어떤 기계를 나중 방문해야 할지의 순서도 시스템성능을 향상시키도록 결정되어야 한다.
- 운반기구(cart)선택: 많은 FMS에서 부품들이 한 기계에서 다른 기계로 옮겨갈 때 상이한 운반기구를 택할 수도 있다. 이때 카트의 선택에는 다음을 고려해야 한다.
 - 카트의 이동: 카트는 짐을 싣고 내릴때나 대기중인 카트에 밀려 기다릴때를 제외하고는 항상 움직인다. 가장 가까운 길을 택하여 목적지에 도달되도록 한다. 주기적으로 카트들이 제대로 이동되고 있는지를 체크한다.
 - 카트의 요구: 부품소모간격을 계산하여 공급한다. 예비부품은 잔고를 파악해야 한다. 부품을 카트에 적재시에는 해당 조립라인 가용 카트중 가장 가까운 것을 택한다.
- 품질검사주기 선택: 구현된 많은 FMS는 좌표측정기(Coordinate Measuring Machine; CMM)를 장비하고 있다. 이 장치는 조립에 사용되는 부품의 품질 및 크기를 측정하므로써 조립과정에서의 착오의 본질(공구마모, 기계의 조정불량, 조립간의 불균형 등)을 알아내게 된다. 가용한 CMM숫자가 제한되어 있을 것이므로 품질표준에 적합하면서도 착오는 필히 즉각 발견되게 하기 위하여 부품을 어떤 주기로 측정할 것인가와 어떤 과정을 거쳐 잴 것인가를 지혜롭게 선택해야 한다.

다. 기계레벨 제어

제조구조에서의 기본은 실제적기계가 아니면 개인작업자로(수동조립인 경우)구성되는 개별 작업장에서 이루어 진다. 기계레벨제어에서는 자재의 흐름이나 스케줄문제, 수송문제는 포함되지 않는다. 이들은 셀이나 공장레벨의 문제들이다.

기계레벨에서는 고전적 또는 현대제어에서 다루는 문제들이 주를 이룬다. 또한 이산적(discrete)이기 보다는 시간연속인 경우가 많고 휘드백을 가진 全自動化된 기계의 경우도 많다.

(1) 전통적 접근법

초기에는 기계라야 수공구가 전부였다. 모든 휘드백제어는 단지 人間の 눈과 손의 협력으로 이루어 졌다. 이와같은 상황은 대부분 근래(1950년대)까지 계속되었다. 공구들(선반, 드릴, 프레스 등)은 커지고 복잡해 졌다. 그러나 동작의 근본원리는 큰 변화가 없었다. 컴퓨터가 도입되고 나서부터 수치제어되는 기계공구들이나 왔다. 여기에서는 부품에 대한 공구의 위치라든가 접근속도 등이 표준화된 휘드백제어 기법에 입각하여 이루어 진다. 부가하여 하나의 부품을 만드는데 한 기계에서도 서로 다른 동작이 요구될 때 이들 동작들의 순서와 방법 등이 프로그램에 따라 적절히 자동으로 이루어진다.

동작순서는 일반적으로 개루프적으로 수행되어 왔다. 순서를 바꾸어야 할 경우가 극히 드물기 때문이다. 그러나 자동화가 이루어 지는 현재는 이것도 바뀌고 있다. 만일 조립중인 반제품이 기계를 잠시 떠났다가 다시 돌아와야 할 경우(품질체크나 파손된 공구의 제거등의 이유로)어디에서 일이 중단되었는지를 알 길이 없기 때문이다.

(2) 최근의 개발현황

최근까지 공구위치나 이의 부품으로의 접근속도 또는 부품의 공급속도 등은 개루프적으로 제어되었다고 했다. 어떤 일이 있어도 이들 변수들은 변치않도록 고립되어 있었다. 그러나 이

것도 바뀌고 있다. 예를들면 어떤 면을 절단하는데 필요한 힘을 감시하므로써 사용중인 공구의 상태를 알수가 있고 또한 이것을 다시 조정할 수가 있게 된다.

기계레벨에서의 제어에 휘드백이 유용하게 쓰이게 하는 수단중 하나는 電子視覺장치(electronic vision devices)의 활용에 의하여서이다. 이 시스템은 어떤 위치에 기계가 와 있는지 아닌지를 감지할 수가 있고 공구가 마모되었는지 또는 얼마나 마모되었는지도 알 수가 있다.

4 최근의 연구방향 및 결론

제조시스템의 분석 및 최적화의 최근의 연구개발 상황을 간략히 요약하고 결론을 맺고자 한다.

시스템의 모델링기법에는 발생적(generative) 방법과 평가적(evaluative) 방법이 있다. 前者는 시스템에 가해져야할 범주와 각종 제한 사항들을 고려하여 이들을 만족시키는 결정(decision)을 도출해내는 것이고 後者는 우선 결정을 먼저 실시해 놓고 이결정을 했을 때의 시스템의 성능을 평가 또는 예측하는 방법이다. 생산 계획에 있어 발생적인 접근법은 다수의 이산적이고도 서로 상이한 부품으로 이루어지는 시스템의 요구생산량을 충족시키기 위하여 주로 수학적으로 문제해결을 시도하는 것이 특징이다. 따라서 여기에는 너무 많은 컴퓨터타임을 요하고 기계고장이나 제품 수요변동 등의 불규칙성을 고려하지 않는 확정적(deterministic) 시스템에만 잘 적용되는 문제점을 가지고 있다. 한편 평가적인 접근법에 의한 모델링은 전통적인 M/M/1 이나 M/G/1 같은 대기이론모델(queueing-theoretic model)을 사용하여 생산과정의 불규칙한 요소들을 제대로 나타내는 불확정적(stochastic) 특성을 갖는다. 제조업에 있어 대기이론의 사용은 대기망이론(network-of-queues theory)의 발달로 한층 보편화 되었다. 평가적 모델의 또 다른 한 발전방향은 시스템평가에 Monte Carlo 방법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 방법이다. 강력한 성능의 컴퓨터 보급과 시뮬레이션이론 및

소프트웨어의 개발이 이 분야의 발전을 재촉하였다.

지면의 제약 및 본 난의 본래의 취지를 고려할 때 이론적 연구의 최근경향에 대한 것은 이를 좀더 구체적으로 설명할 여유를 갖지 못하였다.

결론적으로 우리는 지금까지 제어공학과 시스템공학을 공부한 사람들의 연구의 관심이 요청되는 제조시스템에의 적용의 중요한 이슈들을 살펴보았다. 현재 나와있는 기법들이 이들 문제들을 어떻게 해결하는지를 살펴보았으며 어떤 특징과 장단점을 가지는가를 보았다. 실질적 응용의 측면에서 연구개발되고 있는 최근의 경향을 소개하였다. 이런 노력의 최종 목적은 물론 제어이론을 공부한 사람들로 하여금 실제 응용에의 중요한 분야인 제조업에의 응용 및 앞으로의 발전에 모델링 및 분석을 통해 큰 도움을 줄 수 있도록 하기 위한 것이다.

참 고 문 헌

1. R. Akella, Y. Choong, and S.B. Gershwin, "Performance of Hierarchical Production Scheduling Policy," IEEE Trans. on Compon., Hybr., and Manuf. Tech., Sept. 1984.
2. J.P. Bevans, "First, Choose an FMS Simulator," American Machinist, pp.143-145, May 1982.
3. S.B. Gershwin, R.R. Hildebrandt, R. Suri, and S. K. Mitter, "A control perspective on Recent Trends in Manufacturing Systems," IEEE Control sys., Magazine, Apr. 1986.
4. M.C. Burstein and M. Talbi, "Economic Justification for the Introduction of Flexible Manufacturing Technology," Annals of Oper., Res., 1985.
5. J.A. Buzacott, "Optimal Operating Rules for Automated Manufacturing Systems," IEEE Trans. on Auto Control, Vol. AC-27, no.1, pp.80-86, Feb. 1982.
6. Y.C. Ho, "A Survey of the Perturbation

Analysis of Discrete Event Dynamic Systems," Annals of Oper. Res., 1985.

7. C.K. Whitney and R. Suri., "Algorithms

for Part and Machine Selection in Flexible Manufacturing Systems", Annals of Oper. Res., 1985.



黄 春 植

저자약력

- 1948년 10월 5일생
- 1968~1972 : 육군사관학교 전자공학과 (B. S.)
- 1974~1976 : 서울대학교 공과대학 전기공학과 (B. Eng.)
- 1978~1980 : 美 Oregon State Univ. 전기및 계산기 공학과 (M. S.)
- 1982~1985 : 美 Oregon State Univ. 전기및 계산기 공학과 (Ph. D.)
- 1976~1978 : 육군사관학교 전자공학과 강사
- 1980~1982 : 육군사관학교 전자공학과 전임강사
- 1983~1985 : 美 Naval Postgraduate School 전기공학과 연구원
- 1985~현재 : 육군 사관학교 전자공학과 부교수