

TFT-LCD 공장의 라인 밸런싱을 고려한 MPS 수립에 관한 연구

원대일¹ · 백종관^{2*} · 김성식¹

¹고려대학교 산업시스템정보공학과 / ²고려대학교 정보통신기술공동연구소

A Study of Master Production Scheduling Scheme in TFT-LCD Factory considering Line Balancing

Dae-Il Won¹ · Jong-Kwan Baek² · Sung-Shick Kim¹

¹Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University, Seoul, 136-701

²Research Institute for Information and Communication Technology, Korea University, Seoul, 136-70

In this study we consider the problem of MPS(master production planning) of TFT-LCD(Thin Film Transistor - Liquid Crystal Display) production factory. Due to the complexities of the TFT-LCD production processes, it is difficult to build effective MPS. This study presents an algorithm having a concept of IDPQ(Ideal Daily Production Quantity) that considers line balancing of TFT-LCD production process. In general, the MPS building procedure does not consider line balancing in non-bottleneck processes. MPS without considering line balancing may make ineffective schedule. We present algorithms for building MPS considering factory capacity and line balancing according to the sales order.

Keywords: MPS, TFT-LCD, due-date, line balancing

1. 서론

세계 디스플레이 시장은 CRT(Cathode Ray Tube) 이후 차세대 평판 디스플레이(Flat Panel Display)로 전환되면서 TFT와 LCD 기술을 이용한 TFT-LCD가 디스플레이 시장을 주도하고 있다. 박막 트랜지스터 액정 표시장치(TFT-LCD; Thin Film Transistor - Liquid Crystal Display)는 빛의 편광현상 유도에 박막 트랜지스터를 이용한 LCD의 한 종류로 미래지향적인 고부가가치 산업이다.

최근 가격 하락과 신제품 개발로 인해 TFT-LCD가 빠르게 확산됨에 따라 수요의 급증과 시장의 확대로 기업의 경쟁이 더욱 심화되고 있다. 특히, TFT-LCD 시장의 중심축이 노트북에서 PC 모니터, LCD TV 및 애플리케이션 분야로 확대 이행됨에

따라 TFT-LCD로 미래 성장분야를 공략하려는 기업들의 움직임이 활발하게 전개되고 있다. 이에 따라 제조업체는 신규라인의 투자 및 기술 분야의 개발과 더불어 생산성 향상을 위한 생산관리 분야에 대한 연구를 진행중이다. 이는 고객층이 넓어짐에 따라 제품의 종류가 다양해지고 짧은 납기를 가지는 주문이 많이 발생하고 있기 때문이다. 21세기 메가트렌드(Megatrend)로 세계화가 진행되고 시장의 단일화가 형성됨에 따라, 고가의 설비와 첨단 기술이 요구되는 TFT-LCD 산업은 경쟁력 강화와 시장우위를 점하기 위한 효과적인 설비 투자와 효율적인 생산 관리가 이루어져야 한다.

이처럼 TFT-LCD 산업의 치열한 경쟁 속에서 살아남기 위해 수요와 공급이 고객 중심으로 이루어지는 만큼 최상의 고객서비스는 기업의 가장 중요한 목표이다. 이는 고객이 요구에 대

*연락처 : 백종관 교수, 136-701 서울시 성북구 안암동 5가 1번지 고려대학교 산업시스템정보공학과 자동화연구실,

Fax : 02-929-5888, E-mail : jkbaek@korea.ac.kr

2003년 5월 접수, 2003년 10월 게재 확정.

한 빠른 응답과 원하는 장소, 원하는 시간에 제품을 제공하는 것에서 출발한다. 고객의 요구에 빠르게 대응하기 위하여 판매 부서에서는 다양한 제품과 많은 양의 안전재고를 필요로 할 것이다. 하지만 생산 부서에서는 단위 비용의 절감과 단가를 낮추기 위해서 생산 효율을 극대화하기 위한 정책을 통해 재고를 최소화하고, 변화가 적은 단일 물량을 지속적으로 생산하여 투입되는 모든 비용을 최소화하려고 할 것이다. 이처럼 고객 만족도 향상과 함께 생산성의 향상이 동시에 요구되어지고 있다.

고가의 장비로 이루어진 TFT-LCD 공장의 생산성 향상을 위해서는 장비의 이용률(utilization)을 높여야 한다. 특히 TFT-LCD 공장과 같이 복잡한 프로세스를 가지는 현장의 경우 공정 및 라인의 균형(line balancing)을 유지하는 생산 계획을 수립해야만 장비의 이용률을 높일 수 있다. 라인 간 균형을 고려하지 않은 생산 계획은 일부 라인에 대한 과도한 부하와 일부 라인에 대한 많은 작업 여유 시간(idle time)을 허용함으로써 생산성을 저하시킨다. 따라서 TFT-LCD 공장의 생산계획의 목표는 생산성 향상과 함께 고객 납기 만족을 우선적으로 고려해야 하며, 생산계획을 수립함에 있어 현장 능력에 맞는 생산능력의 산출과 병목공정을 중심으로 공정별 균형 생산이 우선 되어져야 한다(Gianesi, 1998; Porter, 1999).

상충(Trade-off)되는 부서간의 목표를 조정하고 생산능력에 맞는 균형 잡힌 생산을 위해 기준 생산계획(MPS; Master Production Schedule)의 역할이 중요하다. 기준 생산계획은 전사 레벨(corporate level)에서 주주/영업·판매 부서에 기능 납기를 회신하여 판매계획과 고객 납기 관리를 지원함으로써 고객 만족도 향상을 위한 중요한 역할을 수행하게 되며 공장레벨(factory level)의 세부 생산 계획 수립을 위한 목표 생산량을 결정함으로써 전체 생산계획 시스템의 중심적인 역할을 수행하게 된다. 따라서 고객 만족도 및 생산성을 향상시키는 효과적인 생산계획을 위해서는 고객의 납기를 최우선으로 고려하고 라인 간의 균형을 유지시켜 줄 수 있는 기준 생산계획을 수립하는 것이 중요하다. 특히 TFT-LCD와 같이 복잡한 프로세스 흐름과 병목공정을 가진 공장에서 기준 생산 계획 수립은 더욱 중요하며 납기와 라인 간 균형을 동시에 고려하는 기준 생산 계획의 산출은 어려운 일이다.

TFT-LCD 공장은 TFT 기판을 제조하는 어레이(Array) 공정, CF(Color Filter)를 조립하고 TFT 기판과 결합한 후 액정 셀을 주입하는 셀(Cell) 공정과 PCB(Printed Circuit Board) 기판과 주요 부품을 부착하는 모듈(Module) 공정으로 나뉜다. 이 세 공정 중에서 어레이 공정은 세정, 감광물질 도포, 노광, 현상, 감광물질 제거, 검사, 증착 등의 과정을 레이어의 수에 따라 반복적인 공정을 거치게 되며, 레이어의 특성에 따라 장비를 선택하는 Job shop의 형태로 분류되기도 한다. 이러한 과정은 반도체 제조공정의 웨이퍼 펌(Wafer Fabrication) 공정과 유사한 흐름을 가진다. 펌 공정은 어레이와 유사한 매우 복잡한 공정 프로세스를 가지고 있기 때문에 많은 연구가 진행되었으며 대부분의 반도체

체 및 TFT-LCD 공장에 대한 연구에서 연구 대상이 된다(Na, 2002).

TFT-LCD 공장에 대한 연구는 반도체 공정에 비해 많지 않으며 어레이, 셀, 모듈 등의 세부 공정에 대한 연구가 대부분이다. 어레이 공정에 대한 연구는 앞에서 언급하였듯이 반도체 펌 공정에 대한 연구의 응용 단계로써 연구되었으며 TFT-LCD만을 대상으로 한 독자적인 연구는 거의 찾아보기 힘들며 조립 공정에 대한 연구는 Jeong(2001)이 있다. 본 논문에서는 TFT-LCD 공장을 어레이 공정과 조립 공정으로 구분하였으며 반도체 공장에 비해 전체 생산 관리에서 중요한 역할을 하는 조립 공정에 대하여 평균 생산 시간(mean flow time)을 줄이는 것을 목표로 생산계획 수립 알고리즘을 개발하였다. TFT-LCD에 관한 연구로 셀 공정에서 Jeong(1997) 등은 TFT-LCD 기판과 CF 기판이 결합할 때 불량률을 최소화하기 위한 조합 방법을 제시하였다. 또한 조합을 위해 CF의 경제적 lot 크기를 결정하는 방법을 제시하였다.

반도체 펌 공정에 대한 연구로는 웨이퍼를 펌에 어떻게 투입하는 것이 효과적인지를 연구한 투입 제어 방법(release control method)과 기계에서 어떤 순서로 작업을 수행하는 것이 효과적인지를 연구한 분배 방법(dispatching rule)에 초점이 맞춰 연구되어왔으며 주문 납기(due date)를 고려하지 않고 산출률(throughput rate)과 생산 시간 단축에 초점을 맞추어 진행되었다(Uzsoy, 1992, 1994; Glassey, 1988; Leachman, 1994; Wein, 1988; Mason, 2002; Johri, 1993).

Leachman(2002)은 반도체 공장에서 WIP 운영 계획을 중심으로 각 공정에서의 생산 계획을 수립하였다. 일반적으로 생산 계획이 납기를 기준으로 각 lot에 대한 계획을 수립한 반면 병목공정에서의 WIP를 이용하여 각 공정에서의 생산 계획을 수립하였다. SLIM(ShOrt Cycle Time and Low Inventory in Manufacturing)에서 IPQ(Ideal Production Quantity)라는 개념을 사용하였는데 이는 각 공정에서 일정 기간 동안 필요한 웨이퍼의 양을 나타내는 것이다. IPQ는 공정별 WIP와 Cycle Time에 의해 결정되는 이상적 생산량으로 상황에 따라 음의 값도 가질 수 있는 이상적인 양을 의미한다. 즉, IPQ는 생산능력이 무한하다고 가정하고 요구를 만족하기 위한 생산필요량이다.

TFT-LCD 공장에서 전사 레벨의 생산계획에 관한 연구로는 공장수준을 정의하고 전략적인 구조를 제시하는 연구로 진행되었다. Aghezzf(1995) 등은 혼합 흐름 공정(hybrid flowshop)에서 생산계획을 수립하는 경험적인 방법을 제시하였다. 일반적으로 흐름 공정은 NP-complete 문제로 알려져 있다(Maes, 1991; Milar, 1993). Aghezzf는 흐름 공정에서의 생산계획 문제를 해결하기 위하여 LP를 이용한 경험적 알고리즘을 제시하였다. 하지만 제시한 경험적 알고리즘은 절차가 매우 복잡하고, 라인 간의 균형을 고려하지 않았다.

기준 생산 계획(MPS)에 대한 연구로는 Song (2000)의 연구가 있다. Song은 TFT-LCD 공장에서 라인의 부하 균형을 유지하기 위해, 매일 생산되면 이상적인 제품의 수를 계산한 이상적 일

일 생산량(IDPQ; Ideal Daily Production Quantity)을 제안하고 후진전개(backward) 방식으로 기준 생산계획을 수립함으로써 납기를 유지하면서 라인 간의 균형을 유지할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 하지만 IDPQ만큼 할당 후 최대 생산량을 할당하는 방식으로 생산 계획을 수립하였기 때문에 생산량이 많고, 주문제품이 다양하지 못할 경우 EDD 방식과 같은 결과를 산출하였다.

Chen(1999) 등은 두 개의 펌을 가진 반도체 공장에서 공정의 부하를 안정시키고 기준 생산 계획의 요구를 만족시키면서 펌 공정의 균형을 유지해주는 풀 시스템(pull system) 개념의 CPS (Capacity Planning System)을 개발하였다. 실험에서 기준 생산 계획의 분산은 전체 생산 계획의 수행도에 많은 영향을 미쳤다. 본 연구에서 기준 생산 계획의 분산이 적을수록 효율적인 세부 생산 계획 수립이 가능하였다.

Na(2002) 등은 TFT-LCD 공장에 대한 생산계획 시스템을 개발하였다. Song(2000)의 IDPQ 방식을 이용해 기준 생산계획을 수립하고, 기준 생산계획을 만족하기 위해 모듈 공정에서부터 어레이 공정까지 후진 전개 방식을 이용한 납기를 생성하고 어레이 공정부터 생산계획을 확정해가는 생산계획 알고리즘을 제안하였으며 제안된 알고리즘을 이용한 생산계획 시스템을 개발하였다.

일반적으로 기준 생산계획은 병목공정의 생산능력만을 고려해 수립된다. 하지만 TFT-LCD 공장과 같이 제품의 종류가 다양하고 생산 프로세스가 복잡하며 생산량이 많은 경우에는 공정 설계상의 병목공정이 아닌 공정이 일시적 병목 공정이 될 수 있다. 본 연구에서는 TFT-LCD 공정의 특성을 반영해 납기를 만족시키면서 라인 간 균형을 고려한 기준 생산 계획 수립방법을 제시하였다. IDPQ 방식을 이용해 주문 제품을 공정에 고르게 할당함으로써 납기 만족을 최우선의 목표로 하면서 라인 간 부하 균형을 유지할 수 있는 경험적 알고리즘을 제시하였다. 즉, 일반적인 형태를 가진 TFT-LCD 공장을 대상으로 납기 만족뿐만 아니라 라인 간의 균형을 고려한 기준 생산계획을 수립하는 알고리즘을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 TFT-LCD 공장의 기준 생산계획

TFT-LCD 제조공정은 <그림1>과 같이 크게 어레이, 셀, 모듈 공정으로 구분된다. 어레이 공정은 반도체 펌 제조 공정과 유사한 생산 과정을 거치며 박막 증착(deposition), 사진(photo lithography), 식각(etching) 등의 복잡한 공정으로 이루어져 있다. 각각의 공정 전후 결과 및 이상 여부를 확인하기 위한 검사(testing)와 청정도를 유지하기 위한 세정(cleaning)을 포함하는 반복적(cycling) 생산 공정의 형태를 가지며, 가장 복잡하고 고가의 장비들로 이루어져 있어 TFT-LCD 공정의 병목 공정으

로 알려져 있다.

셀 공정은 TFT 기판과 CF를 조립하는 공정과 기판을 절단하고 액정을 주입하는 공정으로 나눌 수 있다. CF는 일반적으로 TFT 제조 장비를 그대로 사용하여 제조하거나 외주를 주는데, 본 연구에서는 CF에 대해 외주를 주어 공급하는 것으로 가정하여 본 연구의 대상에서 제외하였다. 따라서 셀 공정을 TFT 기판과 CF를 조립하는 셀1 공정과 조립된 기판을 절단하고 액정을 주입하는 셀2 공정으로 나눴다. 이는 셀1 공정에서 글라스(glass)의 크기에 따라 생산 흐름이 진행되지만 셀2 공정부터는 잘려진 크기와 사양에 따라 다른 생산 흐름을 가지게 되기 때문이다. 따라서 일반적으로 셀 공정은 하나의 공정으로 분류되지만 본 연구에서는 셀1 공정과 셀2 공정을 다른 공정으로 구분하였다.

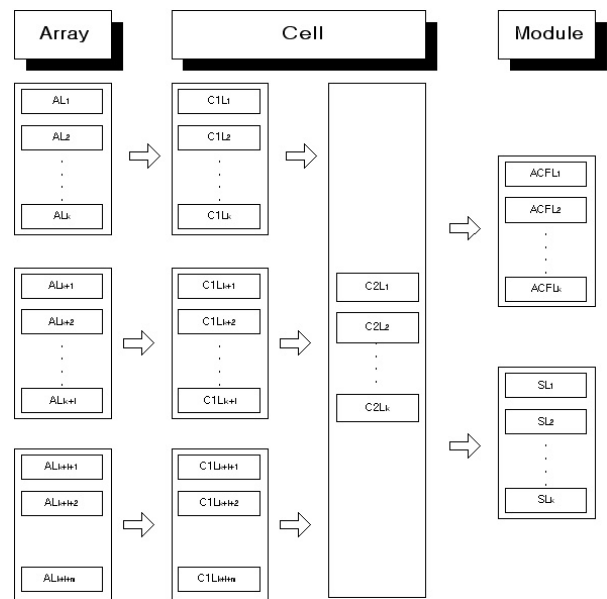


그림 1. TFT-LCD 공정의 흐름도.

TFT-LCD 공장의 마지막 단계인 모듈 공정은 액정이 주입된 기판에 백라이트(back light) 및 구동 기판 등의 여러 가지 옵션 사항들을 사용자의 요구에 따라 부착하는 단계로 PCB를 부착하는 방법에 따라 솔더링(soldering) 방식과 ACF(Anisotropic Conduction Film) 방식으로 나누어지고, 각 공정은 전혀 다른 방법으로 생산을 진행한다. 또한 여러 개의 모듈 라인이 존재할 수 있다. 모듈 공정은 셀에서 들어온 제품이 주문자의 요구에 따라 여러 가지 다양한 제품으로 분기되는 공정으로 제품간의 작업 준비시간을 줄이면서 제품의 납기를 만족시켜야 한다. 따라서 본 연구에서는 기준 생산 계획을 수립하기 위해 공정의 특성에 따라 어레이, 셀1, 셀2, 모듈의 네 가지 공정으로 구분하였다.

TFT-LCD 공장의 생산 관리 시스템에서 기준 생산 계획은 전사 레벨의 계획으로서 최종 제품의 일별 또는 월별 생산 수량을, 주문 납기를 기준으로 결정하게 된다. 수립된 기준 생산 계

획(최종 제품의 산출 계획)을 기준으로 수주/영업 또는 판매부서는 가능 납기를 계산하고 판매 계획의 생산량과 납기를 확정하는 의사결정의 중요한 역할을 수행한다. 또한, 기준생산계획으로 자재 소요계획(MRP; Material Resource Planning)을 작성하여 구매 부서에 소요자재에 대한 구매 계획을 작성하게 되며 기준 생산계획은 공장의 세부 생산계획의 기준이 되는 목표 생산량을 결정함으로써 전체 생산계획 시스템의 중심적인 역할을 하게 된다.

이러한 기준 생산계획은 지속적으로 고객의 주문과 수요의 예측을 통해 최종 제품의 생산계획을 수립하게 되며, 공장의 생산능력을 고려하고 가동률을 최대로 할 수 있는 계획을 수립하게 된다. 즉, 수요와 공급의 균형을 맞추어주는 중심적인 역할을 수행하게 되는 것이다. 일반적으로 기준 생산계획은 최대 부가가 걸리는 병목공정의 생산능력을 기준으로 수립된다. 각 공정의 세부적인 라인의 생산능력을 파악하기 보다는 병목공정에서의 일 단위 생산 능력을 파악하여 공장 전체의 기준 계획을 수립하는 것이다.

TFT-LCD 공장의 병목공정은 고가의 장비들로 이루어져 있으며 사이클 타임이 길고 반복 공정이 존재하는 어레이 공정으로 알려져 있다. 하지만 병목공정인 어레이 공정만을 고려하여 기준 생산계획을 수립하면 각 공정 및 생산 라인의 균형을 고려한 계획을 수립할 수 없다. 제품마다 다른 생산 흐름을 가졌기 때문에 셀1 라인과 모듈 라인의 불균형이 발생하게 되며 라인의 비효율적 운영, 생산능력 초과, 작업 준비시간의 증가 등으로 인해 효율적인 생산관리가 어려워진다.

<그림 2>에서처럼 각 제품은 다양한 생산 흐름을 가진다. 같은 어레이 라인을 지나는 제품이라 할지라도 다른 셀 라인 및 다른 모듈 라인을 거쳐 생산되어질 수 있다. 제품 P11, P12, P13는 어레이 공정의 a1 라인에서 생산되지만 셀1 공정과 셀2 공정, 모듈 공정의 각각 다른 라인에서 생산되어질 수 있다.

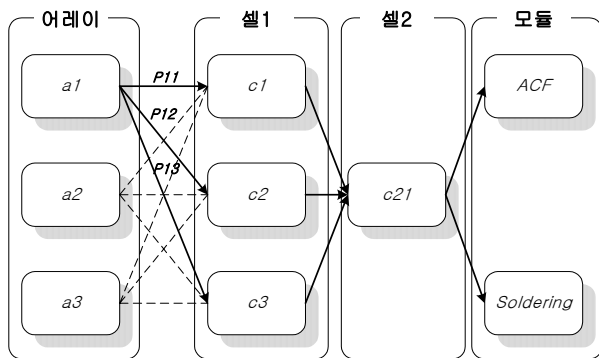


그림 2. TFT-LCD 공장에서의 생산 흐름.

라인 간 균형을 고려하지 않고 병목공정인 어레이 라인 능력만 고려하여 기준 생산계획을 수립하면 <그림 3>과 같이 어레이 라인의 능력은 충분히 고려되었지만 셀 라인과 모듈 라인에서는 일부 라인으로 치우친 계획이 수립되어 일부 라인

은 기계 유휴 현상이 발생하고 일부 라인에서는 작업 지체 현상이 발생할 수 있다.

<그림 3>에서 어레이 공정의 각 라인은 제품 P11, P21, P31으로 인해 라인 간 균형과 생산의 효율성이 높게 계획되었으며 효과적인 기준 생산계획을 수립한 것으로 생각된다. 하지만 병목공정이 아닌 셀1 공정과 모듈 공정에서는 한쪽 라인으로만 부하가 집중되고 있다. 이런 경우 병목공정인 어레이 공정보다 일시적으로 셀1 공정 및 모듈 공정이 병목공정이 되어서 작업 지체를 유발할 수 있으며 부하가 없는 다른 라인들은 기계 가동률이 낮아지게 된다.

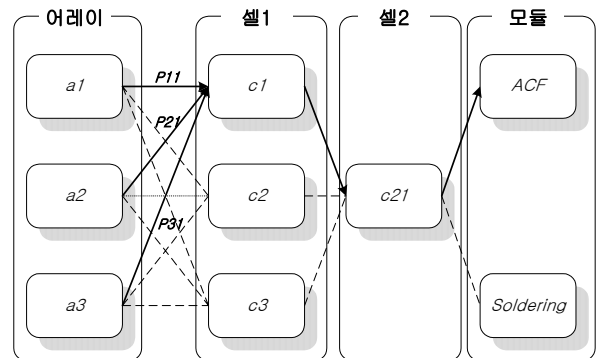


그림 3. 어레이 공정만 고려한 기준 생산계획.

따라서 TFT-LCD와 같이 복잡한 생산 흐름을 가지는 공장에서는 병목공정뿐만 아니라 비병목공정들의 생산능력을 고려한 기준 생산계획을 수립함으로써 납기를 만족시키면서 라인의 균형을 유지하는 계획이 수립되어야 한다. TFT-LCD 공장에서의 효과적인 기준 생산계획 수립을 위해 고려되어야 할 특성들은 다음과 같다.

- TFT-LCD 공정은 크게 어레이, 셀, 모듈 공정으로 구분되며, 다시 셀 공정을 셀1과 셀2 공정으로 구분하여 어레이, 셀1, 셀2, 모듈의 4개 공정으로 정의할 수 있다.
- 어레이 공정은 고가의 장비로 이루어져 있으며 사이클 타임이 길고, 반복 공정이 존재하는 병목공정이다.
- 병목공정만을 고려한 기준 생산계획은 라인의 균형을 유지하지 못하게 되며 비효율적인 계획이 된다. 따라서 TFT-LCD 공장에서는 병목공정뿐만 아니라 각 라인의 생산능력을 모두 고려한 생산 계획을 수립하는 것이 효과적이다.
- 각 공정은 생산되는 제품의 종류에 따라 여러 라인으로 구성되며, 납기를 만족하는 범위 내에서 라인 균형을 만족하는 기준 생산 계획을 수립하는 것이 중요하다.

2.3 기준 생산계획 수립 알고리즘

TFT-LCD 공장에서 기준 생산계획은 납기를 만족하면서 라인 균형을 유지하는 것이다. 즉, 주어진 납기 내에 모든 제품이

생산될 수 있으며 납기를 어기지 않는 범위 내에서 모든 공정의 라인 균형을 만족시키는 것이다. 따라서 고객의 서비스 수준을 유지하면서 생산 공정의 효율을 최대로 할 수 있는 기준 생산계획을 수립해야 한다. 먼저 고객의 납기 만족을 위해 납기 지연 작업의 수를 줄이는 기준 생산계획을 수립해야 한다. 따라서 본 연구의 기준 생산 계획 수립 알고리즘은 납기 지연 작업 비율의 최소화를 첫 번째 목적 함수로 가진다.

두 번째 목적 함수는 라인 간 가동률 분산을 최소화하는 것이다. 본 연구에서 기준 생산계획 수립의 두 번째 목적적인 라인 간 균형을 유지하는 것이다. 라인 간 균형을 유지하는 계획을 수립하여야 장비의 이용률을 높여 공장의 생산성을 높일 수 있다. 라인 간 균형을 유지한 계획을 수립하게 되면 각 라인의 가동률이 비슷한 값으로 유지된다. 이처럼 라인의 균형을 유지시키는 생산계획을 수립하기 위해 라인의 가동률에 대한 분산 최소화를 두 번째 목적함수로 가진다. 따라서 본 연구에서는 납기 지연 최소화를 최우선의 목표로 하면서 라인 균형을 유지하는 기준 생산 계획 수립 알고리즘을 개발한다.

본 연구에서 제시한 알고리즘은 다음과 같이 두 단계의 절차를 통해 이루어진다.

- Step 1. 라인별 일간 생산능력 산출과 제품의 이상적 일일 생산수량 결정
- Step 2. 이상적 일일 생산수량을 기준으로 기준 생산계획 확정

첫 번째 단계는 라인 간의 균형을 유지하는 기준 생산계획을 수립하기 위해 이상적 일일 생산량을 구하는 단계이다. IDPQ는 특정 공정에 생산이 집중되어 생산효율이 낮아지는 것을 막기 위해 정의된 개념이다. 각 제품에 대해 생산이 진행되는 라인을 점유하는 부하 수치를 미리 계산하여 일일 적정 수준의 생산 수량을 결정한다. Leachman(2002)의 IPQ와 IDPQ의 가장 큰 차이점은 IPQ는 생산능력이 무한하다고 가정하고 요구를 만족하기 위한 생산필요량이고, IDPQ는 생산능력이 유한한 경우에 가동률의 편차를 최소화하기 위한 생산 필요량이라 할 수 있다.

IDPQ의 기본 개념을 설명하기 위해 <그림 4>와 같은 간단한 형태의 공장을 가정한다. 각 제품은 <그림 4>에서처럼 A, B 공정을 거쳐 생산되며 다른 공정을 거치는 제품 P1(a1b1)와 P2(a1b2)가 있다. a1 공정의 일별 최대 생산 가능량이 400이고 b1, b2 공정의 일별 최대 생산 가능량을 각각 200과 300이라고 할 때 a1 공정은 병목공정이 된다. a1 공정이 병목공정이기 때문에 a1 공정에서 가장 많이 생산할 수 있도록 기준 생산계획이 수립된다. 즉, 제품 P1을 400개 생산하거나 제품 P2를 400개 생산할 수 있다. 하지만 이런 계획은 B공정에서의 한쪽 라인에는 부하 초과가 발생하고 한쪽 라인은 쉬게 된다. 따라서 a1 공정에 제품을 할당할 때 B공정을 고려해 B공정의 각 라인 능력을 고르게 사용할 수 있도록 계획이 수립되어야 한다.

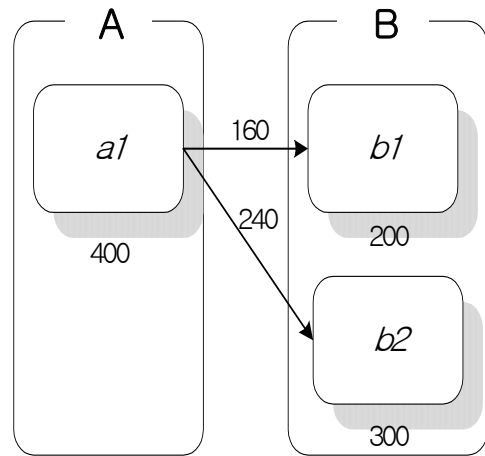


그림 4. IDPQ 계산의 예.

IDPQ는 b1, b2 공정의 생산능력 비율에 따라 제품의 이상적 일일 생산량을 결정한다. <그림 4>에서 제품 P1의 IDPQ는 160개, 제품 P2의 IDPQ는 240개가 된다. 이상적 일일 생산량에 따라 제품을 할당하게 되면 병목공정인 A공정의 능력을 최대로 이용하면서 B공정의 각 라인에 대한 생산능력을 고르게 이용할 수 있는 계획을 수립할 수 있다. 이처럼 IDPQ는 각 제품 생산 능력 비율을 미리 계산하여 라인간의 균형을 유지하기 위한 방법으로 사용한다(Song, 2002).

IDPQ를 계산하는 방식은 다음과 같다. 먼저 IDPQ를 계산하기 위해 계획기간 동안의 각 라인별 일일 생산능력을 산출한다. 그리고 산출된 일일 생산능력을 바탕으로 제품별 IDPQ를 계산할 수 있다. 라인의 평균 생산 능력은 각 라인의 계획기간 동안의 작업시간을 일일 평균 작업시간으로 환산하여 각 제품의 일일 생산 가능 수량을 계산한다. 즉, 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$WH_k = \sum_{j=1}^d wh_{jk} / d$$

$$AP_k = (\sum_{i=1}^n pl_{ik} / n) WH_k / 24$$

단, wh_{jk} : j일 라인 k에서의 작업시간

pl_{ik} : 라인 k에서 제품 i의 일일 생산량

라인 k의 일일 평균 생산수량 AP_k 을 구하기 위해 라인 k에서 일일 평균 작업시간을 WH_k 로 정의하고 계획 기간 동안 라인 k에서의 작업시간을 합하여 계획기간 d로 나누어 구하였다. 일일 평균 생산수량 AP_k 는 라인 k에서 생산 가능한 제품을 모두 합하여 생산 가능한 제품의 수 n으로 나눈 값을 WH_k 의 비율을 곱하여 계산할 수 있다.

위 식에서 구한 공정별, 라인별 일일 평균 생산능력을 이용하여 각 제품별 IDPQ를 계산할 수 있다. 예를 들어 어레이 공정 n개, 셀 공정 m개, 모듈 공정 한 개의 공정에 흐르는 제품은

$n \times m \times 1$ 개이다. 어레이 공정에서 제품이 3개의 라인으로 이루어져 있다고 가정하고 각각에 대한 일일 최대 생산 가능량을 a_1, a_2, a_3 로 정의하였다. 셀1 공정의 일일 최대 생산 가능량을 c_{11}, c_{12}, c_{13} , 셀2 공정의 일일 최대 생산 가능량을 c_{21}, c_{22}, c_{23} , 모듈 공정의 일일 최대 생산 가능량을 ma, ms 로 정의하면 총 18종류의 생산 흐름으로 제품을 구분할 수 있다. 이렇게 나누어진 각 라인의 생산 능력을 고려하여 라인의 균형을 유지할 수 있는 제품의 생산 비율을 계산하여 각 제품의 IDPQ를 결정한다. 제품 $p_1(a_1, c_{11}, c_{21}, ma)$ 을 어레이 공정의 라인 a_1 과 셀1 공정 c_{11} , 셀2 공정의 c_{21} , 모듈 공정 ma 라인을 거치는 제품이라고 하면 제품 p_1 의 이상적 생산 수량 IDP_{p_1} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$IDP_{p_i} = \frac{B a_i c_{1j} c_{2k} ma}{\sum_i a_i \sum_j c_j \sum_k c_k \sum_{l \in a, s} ml}$$

단, $B = \text{Min}(\sum_i a_i, \sum_j c_j, \sum_k c_k, \sum_{l \in a, s} ml)$

이와 같은 각 제품의 IDPQ는 라인의 균형을 유지하기 위한 생산 수량으로 주문제품의 납기와는 상관관계를 가지지 않는다. 하지만 공장의 생산능력을 향상시키고 생산품을 늘리고자 한다면 각각의 제품을 IDPQ만큼 할당함으로써 라인의 균형을 유지하며 생산성을 향상시킬 수 있을 것이다. 만일 IDPQ를 고려하지 않고 병목공정만을 고려한 생산계획을 수립하면 <그림 3>과 같이 비병목공정에 특정 제품의 생산량이 집중되는 경우가 발생하게 되어 생산 효율을 떨어뜨리고 납기에도 큰 영향을 미치게 될 것이다. 이를 해결하기 위하여 전 제품에 대한 IDPQ를 미리 결정하여 기준 생산 계획을 수립하면 각 공정에 고르게 할당된 생산계획을 수립할 수 있을 것이다.

두 번째 단계에서는 이상적 일일 생산 수량에 따라 주문을 할당하여 기준 생산계획을 확정하는 단계이다. 주문을 할당하기 위해 납기일이 같은 주문군을 형성하고 납기일이 빠른 순서부터 IDPQ를 할당하게 된다. 주문군은 납기일이 같은 주문들로, 하나의 제품이 될 수도 있고 모든 제품이 될 수도 있다. IDPQ에 의해 할당할 때 다음과 같이 우선순위를 두어 라인 간 균형을 유지하도록 하였다.

1. 후진 전개 방식에 의한 IDPQ만큼 할당
2. 주문의 일일 최소 생산 수량만큼 할당
3. 라인의 최대 생산 수량만큼 할당

주문에 대한 생산량은 다음과 같은 단계를 거쳐 진행된다. 먼저, 처음 주문 제품의 할당은 제품 정보를 통해 제품의 IDPQ만큼 할당하는 것이다. 라인의 균형을 유지하며 제품을 생산하기 위하여 미리 계산되어진 제품의 IDPQ만큼 생산하게 함으로써 공정마다 적정량을 생산할 수 있게 해준다. 이때 납기를 기준으로 후행전진 방식으로 할당해주며 IDPQ만큼 할당하고도 주문을 완료하지 못하면 주문의 일일 최소 생산량을 계

산하여 나머지 수량을 할당하여준다. 주문의 일일 최소 생산량은 주문 수량을 납기일로부터 계획 기준일을 뺀 값으로 나눠 계산할 수 있다. 라인의 균형을 유지하며 납기를 맞출 수 없으면 주문 제품을 일단위로 나누어 납기일까지 고르게 생산하게 함으로써 특정일에 생산량이 몰리는 것을 방지할 수 있다. 이와 같은 방법으로도 납기를 준수할 수 없으면 납기 내에서 공정의 최대 생산량만큼을 할당하게 된다. 이 단계부터는 주문의 납기를 고려하여 생산량 결정함으로써 균형적인 생산이 어렵게 된다. 납기를 준수하지 못하는 주문에 대해서는 납기일 이후 최대 생산량으로 생산할 수 있도록 함으로써 납기를 맞출 수 없어도 빠른 시일 내에 주문 제품을 생산할 수 있도록 하였다. 기준 생산계획을 수립하기 위해 IDPQ를 계산하고 주문을 할당하는 전체 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

- Step 1. 각 공정별로 평균 생산능력을 계산하고, 병목공정을 선정.
- Step 2. 각 제품에 대한 이상적 일일 생산 수량 (IDP_{p_i})을 결정.
- Step 3. 주문을 납기가 같은 주문군으로 형성.
- Step 4. 계획이 이루어지지 않은 주문군 중 납기가 가장 빠른 주문군을 선택.
- Step 5. 만약 선택된 주문군이 존재하면 Step 6로, 그렇지 않으면 알고리즘을 종료.
- Step 6. 납기를 기준으로 후행전진 방식으로 주문 제품의 IDP_{p_i} 만큼씩 할당.
- Step 7. 만약 선택된 주문을 모두 할당했다면 Step 4로, 그렇지 않으면 Step 8로 진행.
- Step 8. 주문의 일일 최소 생산량을 결정.
- Step 9. 납기를 기준으로 후행전진 방식으로 주문 제품의 일일 최소 생산량만큼 할당.
- Step 10. 만약 선택된 주문군을 모두 할당했다면 Step 4로, 그렇지 않으면 Step 11로 진행.
- Step 11. 주문을 최대생산 능력 만큼 할당.
- Step 12. 만약 선택된 주문군을 모두 할당했다면 Step 4로, 그렇지 않으면 Step 13로 이동.
- Step 13. 납기를 어기면서 최대 생산량으로 할당.
- Step 14. Step 5로 진행.

위와 같은 절차를 통해 기준 생산 계획을 수립함으로써 라인의 균형을 유지하면서 납기를 준수하는 기준 생산 계획을 수립할 수 있다.

3. 결론 및 추후 연구

3.1 모의실험

본 연구에서 제시한 기준 생산 계획의 효과를 검증하기 위

하여 모의실험을 수행하였다. 실험을 위해 각각의 공정의 수는 어레이 공정에 세 개의 라인과 CF와 TFT를 부착하는 셀1 공정에 세 개 라인, 절단과 셀을 주입하는 셀2 공정에 한 개 라인, 모듈공정은 ACF와 솔더링 두 개의 라인으로 구성하였다. 제품의 종류는 각 라인의 조합으로 18개의 제품 종류를 만들었다.

주문은 하나의 제품으로 가정하였으며 주문의 발생은 공장의 생산능력을 고려해 공장 평균 생산능력의 80%에서 95%까지 5%씩 증가하도록 실험하였다. 주문의 납기는 평균 주문의 수에 따라 납기가 고르게 발생할 수 있도록 지수분포(exponential distribution)를 이용해 산출하였는데, 계획 기간 동안의 평균 주문 수에 따라 지수분포의 평균을 정해주었다. 주문 제품은 균일 분포(uniform distribution)를 사용하여 18개의 제품이 고르게 발생할 수 있도록 하였다.

매달 공장의 평균 생산능력의 80±10%에서 95±10%의 주문이 발생할 수 있도록 1년에 대해 모의 실험하였고 각 실험은 100번 반복 실험하여 결과를 산출하였다.

본 연구에서 제안한 알고리즘을 IDPQ-Min이라 하고 IDPQ-Min과 비교하기 위해 새로운 대안 EDD-A, EDD-B, EDD-C, IDPQ를 개발하여 비교하였다. 기존 생산계획을 수립하기 위한 대안으로는 납기 준수를 목표로 하는 EDD 방식을 사용하였으며 EDD 방식을 병목공정만 고려한 EDD-A, 특징적 공정을 모두 고려한 EDD-B, 모든 공정을 고려하고 일일 최소 생산수량을 결정하여 납기가 빠른 순으로 계획을 수립한 EDD-C의 세 가지 방식으로 수정하였다.

대안 EDD-A는 일반적으로 기존 생산 계획을 수립하는 방식으로 병목공정만을 고려하여 생산 계획을 수립하는 방식이다. 주 공정인 어레이 공정만을 고려하여 기존 생산계획을 수립한다. 병목공정인 어레이 공정만을 고려하였을 경우 다른 공정을 모두 고려한 기존 생산계획과 비교하기 위해 수립되어진 생산 계획을 다시 다른 공정의 생산능력을 고려하여 수정하였다.

대안 EDD-B는 다른 공정의 부하까지 고려하여 기존 생산 계획을 수립하였다. 납기가 가장 빠른 주문을 우선 선택하여 모든 공정의 부하를 초과하지 않는 범위에서 최대 생산량으로 할당하여 기존 생산 계획을 수립하였다. 대안 EDD-C도 다른 공정의 부하까지 고려한 기존 생산계획을 수립하였으며 주문의 일일 최소 생산수량을 이용해 기존 생산계획을 수립하였다. 주문의 일일 최소 생산수량은 계획 기준일로부터 납기일까지 생산량을 고르게 할당하여 기존 생산계획을 수립하는 방법이다.

대안 IDPQ는 Song(2002)의 연구에서 제시한 방법으로 IDPQ를 계산하고 후진 전개 방식으로 IDPQ만큼 할당하여 기존 생산계획을 수립하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘(IDPQ-Min)과 달리 대안 IDPQ 알고리즘에서는 할당된 결과가 납기를 준수할 수 없으면 IDPQ를 초과해 최대 생산량까지 할당하여 납기를 지킬 수 있도록 하였다.

표 1. 모의실험 대안

병목공정의 생산능력	500
비병목공정의 생산능력	병목공정 × R
병목공정 대비 비병목공정의 생산능력(R)	1.2, 1.4, 2.4
주문 납기	$\exp(\lambda)$, $\lambda = N / 30$
주문 수 (N)	5, 10, 15
제품 수	18
평균 생산능력 대비 투입량	80%, 85%, 90%, 95%

<표 1>은 모의실험 수행 조건이다. <표 1>에서 병목공정의 생산능력은 어레이 공정의 생산능력을 나타내며, 비병목공정의 생산능력은 셀1, 셀2, 모듈의 각각의 생산능력을 나타낸다. R은 병목공정 대비 비병목공정의 생산능력을 나타내는 것으로서 비병목공정의 생산능력을 병목공정의 생산능력으로 나눈 값을 나타낸다.

즉, <표 1>에서 라인별 생산능력은 병목공정인 어레이 공정의 각 라인의 생산능력의 합이 500이고, R은 1.2일 때 비병목공정인 셀1, 셀2, 모듈 각 공정들의 생산능력은 600이 되는 것이다. 각 실험의 대안은 병목공정 대비 비병목공정의 생산능력의 차이(R)와 주문 수(N), 평균 생산능력 대비 투입량의 변화에 따른 성능의 변화를 알아보기 위한 것이다. 모의실험에서 제안한 알고리즘(IDPQ-Min)과 각 대안들(EDD-A, EDD-B, EDD-C, IDPQ)을 실험하였으며 비교를 위해 본 연구의 목적함수인 납기 지연 작업의 비율과 라인의 가동률의 분산을 구해 제안한 알고리즘을 평가하였다.

3.2 실험 결과

<그림 5>는 주문 수의 변화에 따른 각 라인간의 분산을 나타낸다. 병목공정 대비 비병목공정의 생산능력을 실험 평균인 1.4로 두고(R = 1.4) 주문 수를 변화시키면서 실험하였다. <그림 6>은 병목공정 대비 비병목공정의 생산능력에 따른 결과를 나타낸다. 병목공정 대비 비병목공정의 변화에 따른 성능의 변화를 알아보기 위해 병목공정의 생산능력을 고정시키고 비병목공정을 변화시키면서 실험하였다. 한달 평균 주문 수를 10번으로 고정하고(N = 10) 투입량을 병목공정 생산능력 대비 80%~95%로 변경하면서 실험하였다. 각 그림에서 본 연구에서 제안한 IDPQ-min이 가장 좋은 결과를 나타낸다.

<그림 7>은 R과 N이 각각 1.4와 10일 때 각 공정에 속해 있는 라인들의 가동률에 대한 분산 그래프이다. IDPQ 방식과 EDD-C 방식은 납기일 내에서 주문 제품을 고르게 생산하는 방식으로 두 방식은 비슷한 라인 가동률에 대한 분산을 나타낸다. 이 방식들은 EDD-A 방식과 EDD-B 방식보다 라인 균형이 좋을 수 있다.

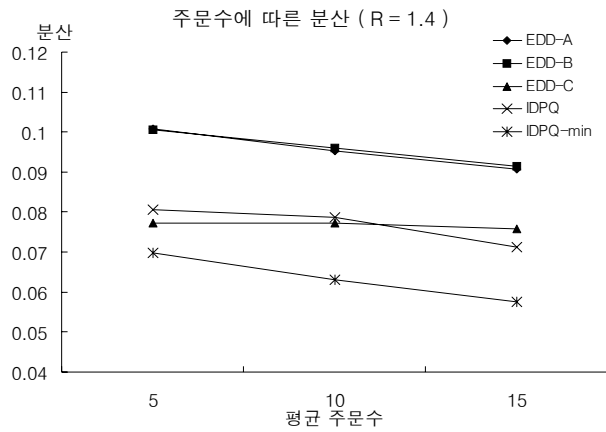


그림 5. 주문 수에 따른 분산.

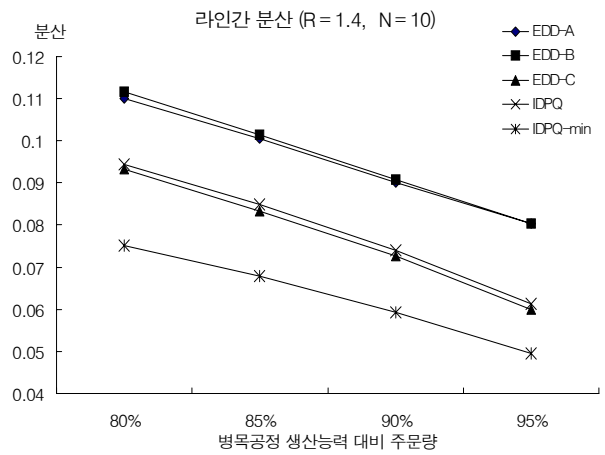


그림 7. 주문량에 따른 라인 간 가동률의 분산.

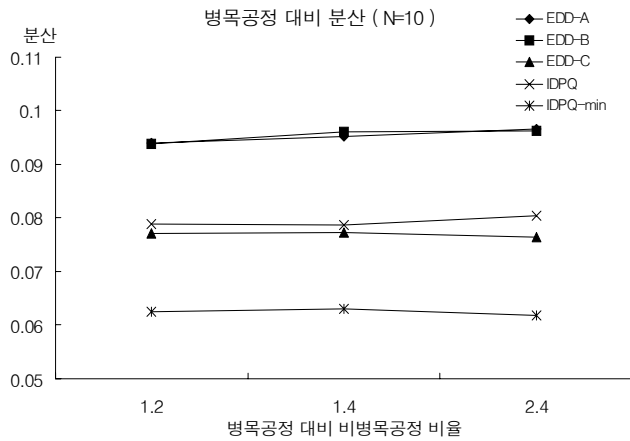


그림 6. 병목공정 대비 분산.

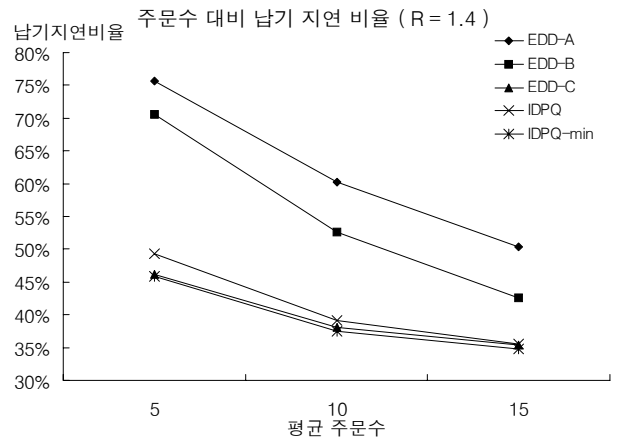


그림 8. 주문 수 대비 납기 지연 비율.

세 개의 실험 결과에서 알 수 있듯이 R값과 N값이 변할 때 분산의 성능 변화는 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 즉, IDPQ-min의 기준 생산계획이 다른 알고리즘에 비해 작은 분산을 가지고 생산계획을 수립함을 알 수 있다.

<그림 8>은 주문 수에 따른 납기 지연비율을 나타낸다. EDD-C와 IDPQ, IDPQ-Min 방식은 납기를 만족하기 위한 EDD 알고리즘에 IDPQ 개념을 도입한 기준 생산계획 수립 절차이다. 라인 균형을 고려하였지만 납기 만족이 더 높은 우선순위를 가지게 된다. 따라서 제한한 알고리즘은 납기 지연 작업의 비율에는 큰 영향을 주지 않는다.

<그림 9>는 병목공정 대비 비병목공정의 생산량 변화에 따른 납기 지연 작업의 비율을 나타낸 그래프이다. <그림 5>와 <그림 6>과 같은 방법으로 각 실험 조건에 대한 납기 지연 비율의 평균을 계산하였다. 실험에서 병목공정만을 고려한 EDD-A의 납기 지연 작업의 비율이 다른 공정을 모두 고려한 EDD-B 계획보다 나쁘다는 것을 알 수 있다. EDD-A 알고리즘은 병목공정의 생산능력만을 기준으로 기준 생산계획을 수립함으로써 다른 공정에서의 라인 간 불균형을 발생시킨다.

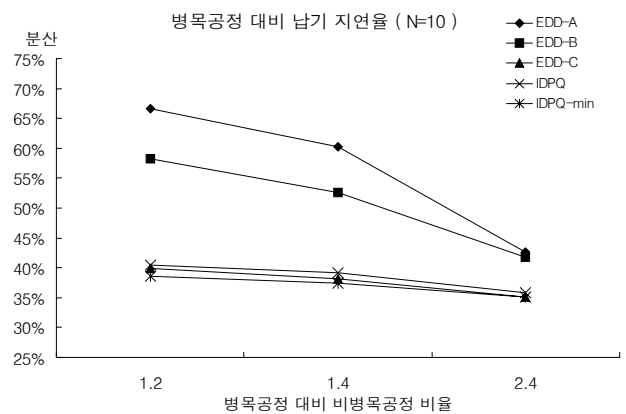


그림 9. 병목공정 대비 납기 지연율.

발생한 라인 간 불균형은 각 라인에서의 작업 지연을 유발시키기 때문에 납기 지연 작업의 비율이 높아진다. 하지만 실험에서 병목공정과 비병목공정의 생산능력의 차이(R)가 커질

수록 병목공정에 대한 중요도가 커지기 때문에 EDD-A와 EDD-B의 납기 지연율은 비슷한 값을 가지게 된다. <그림 10>에서는 R과 N이 1.4와 10일 때 평균 가동률을 나타낸다. EDD-A를 제외한 다른 방식들이 모두 비슷한 결과를 가진다. 결과적으로 IDPQ-min 방식은 각 라인의 가동률을 유지하면서 분산을 줄일 수 있다. 실험 결과에서 병목공정만을 고려한 기준 생산계획보다 다른 공정 모두를 고려한 기준 생산계획이 납기 지연 작업의 비율을 줄일 뿐만 아니라 각 공정의 평균 가동률을 유지하면서, 라인 간 균형도 유지할 수 있다.

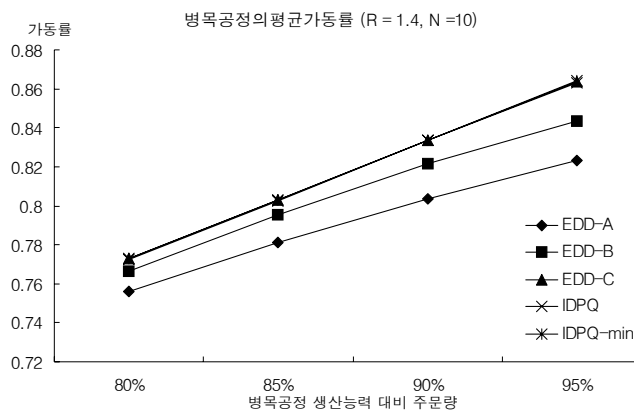


그림 10. 병목공정의 평균 가동률.

또한 본 연구에서 제시한 IDPQ-Min 방식은 IDPQ 방식과 납기 지연 작업의 비율에서는 비슷한 값을 가지지만 라인의 균형을 유지하는 데 더 좋은 방식임을 알 수 있었다. 따라서 IDPQ-Min 방식은 생산 기간 내에서 생산량을 고르게 할당하여 라인 간 가동률의 차이를 줄임으로써 라인 간 균형을 유지할 수 있다.

3.3 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 TFT-LCD 공장의 전사 레벨에서 기준 생산계획을 수립하였다. 일반적으로 기준 생산 계획을 수립할 때 병목공정만을 고려했지만 병목공정만을 고려할 때 발생할 수 있는 비병목공정에서의 라인 불균형을 발생시킬 수 있다. 본 연구에서는 TFT-LCD 공장의 특성을 고려하여 특징적 공정을 추출하고 모든 공정의 라인 균형을 유지할 수 있는 기준 생산계획을 수립함으로써 납기 지연 작업의 비율을 낮출 수 있음을 보였다. 또한 라인 간 분산을 줄이기 위하여 IDPQ-Min 방식을 사용하여 납기가 유지될 수 있는 범위 내에서 라인 간의 균형을 유지하여 줌으로써 생산성 향상에서도 좋은 결과를 가져오는 경험적 알고리즘을 제시하였다.

추후 연구 과제로는 제안된 알고리즘을 이용해 현실 문제에 적용하여 기준 생산계획을 산출하는 것이다. 또한 산출된 기준 생산계획에 의해 세부 생산계획을 수립하고 수립된 생산계

획에 따라 생산을 진행하였을 때의 효과를 분석하는 것이다.

더 고려되어야 할 사항으로는 WIP(Work In Process)와 라인 재고 등을 고려한 기준 생산계획을 수립하는 것이다. 이렇게 수립되어진 기준 생산계획은 더욱 효과적인 결과를 가져올 것으로 기대되어진다. 특히, Na(2002) 등이 개발한 TFT-LCD 공장에 대한 생산계획 시스템과 같은 현장의 시스템에 적용해 실제 공장에서의 효과를 검증해보고 생산현장에서 주어진 문제점들을 고려한 연구가 필요하다. 또한 수요와 사이클 타임을 기간별로 고려한 연구도 현장 활용성이 높고 효과적인 생산계획을 수립할 수 있을 것이라 기대된다.

참고문헌

- Aghezzaf, E.H., Artiba, A., and Elmaghraby, S.E. (1995), Hybrid Flowshop: an LP Based Heuristic for the Production Planning, Emerging Technologies and Factory Automation, INRIA/IEEE Symposium, 1, 5551-5559.
- Chen, J.C., Yang-Chih Fan, Wang, J.Y., Lin, T.K., Leea, S.H., Wu, S.C., and Lan, Y.J. (1999), Capacity Planning for a Twin Fab, Semiconductor Manufacturing Conference, IEEE, 317-320.
- Gianesi, I.G.N. (1998), Implementing Manufacturing Strategy through Strategic Production Planning, *International Journal of Operations & Production Management*, 18(3), 286-299.
- Glasse, C.R. and Resende, M.G.C. (1988), A Scheduling Rule for Job Release in Semiconductor Fabrication, *Operation Research Letters*, 7, 213-217.
- Jeong, B., Kim, S., and Lee, Y. (2001), An assembly Scheduler for TFT-LCD Manufacturing, *Computer & Industrial Engineering*, 41, 37-58.
- Jeong, B., and Sohn, S. (1997), Determination of an Economic Lot Size of Color Filters in TFT-LCD Manufacturing, *IE Interfaces*, 10(1), 47-56.
- Johri, P.K. (1993), Practical Issues in Scheduling and Dispatching in Semiconductor Wafer Fabrication, *Journal of Manufacturing Systems*, 12(6), 474-485.
- Leachman, R.C, Kang, J.Y., and Lin, V. (2002), SLIM: Short Cycle Time and Low Inventory in Manufacturing at Samsung Electronics, *Interfaces*, 32(1), 61-77
- Leachman, R.C. (1994), Production Planning and Scheduling Practices Across the Semiconductor Industry, *ESRC Report 94-29*, Engineering Systems Research Center, University of California, Berkeley.
- Leachman, R.C. (1994), The Competitive Semiconductor Manufacturing Survey: Second Report on Result of the Main Phase, *CSM-08 Report*.
- Lee, Y.H., Kim, H.Y., Lee, G.W., and Lee, S.W. (1995), Production Planning and Control in Semiconductor Industry: Theory and Practice, *IE Interfaces*, 8(4), 73-88.
- Maes, J., McClain, J.O., and Van Wassenhove, L.N. (1991), Multilevel Capacitated Lotsizing Complexity and LP-Based Heuristics, *European Journal of Operation Research*, 53, 131-141.
- Mason, S.J., Fowler, J.F., and Caryle, W.M. (2002), A Modified Shifting Bottleneck Heuristic for Minimizing Total Weighted Tardiness in Complex Job Shops, *Journal of Scheduling*, 5(3), 247-262.
- Milar, H.H., and Yang, M. (1993), An Application of Lagrangean Decomposition to the Capacitated Multi-item Lot sizing Problem, *Computer Ops Res.*, 20(4), 409-420.
- Na, H.Y., Baek, J.K., and Kim, S.S. (2002), A Study of production Scheduling Scheme in TFT-LCD Factory, *IE Interfaces*, 15(4), 325-337.

Porter, K., Little, D., Peck, and Rollins, R. (1999), Manufacturing Classifications: Relationships with Production Control Systems, *Integrated Manufacturing Systems*, 10(4), 189-199.

Song, W. (2000), A Study on Master Production Scheduling for TFT-LCD factory, a thesis for a master degree, Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University.

Uzsoy, R., Lee, C.Y., and Martin-vega, L.A. (1992), A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry, Part 1:

System Characteristics, Performance Evaluation, and Production Planning, *IIE Transactions on Scheduling and Logistics*, 24(4), 47-61.

Uzsoy, R., Lee, C.Y., and Martin-vega, L.A. (1994), A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry, Part 2: Shop-Floor Control, *IIE Transactions on Scheduling and Logistics*, 26(5), 44-55.

Wein, L.M. (1988), Scheduling Semiconductor Wafer Fabrication, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1(3), 115-129.



원대일

명지대학교 산업공학 학사

현재: 고려대학교 산업시스템정보공학 석사
과정

관심분야: 생산 및 재고관리 시스템, ERP, SCM



김성식

고려대학교 기계공학 학사

고려대학교 산업공학 석사

Southern Methodist University 산업공학 석사

Southern Methodist University 산업공학 박사

현재: 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수

관심분야: Queuing Theory, 생산 및 재고관리
시스템, CIM/ERP/SCM



백종관

고려대학교 산업시스템정보공학 학사

고려대학교 산업시스템정보공학 석사

고려대학교 산업시스템정보공학 박사

현재: 고려대학교 정보통신기술공동 연구소
연구 조교수

관심분야: ERP, SCM, 생산정보 시스템, 생산
계획 및 일정계획