

# 복수 DBR 기법을 이용한 PCB 생산라인의 효율적인 생산계획 시스템 개발

요시다 아쓰노리<sup>1\*</sup>, 박정현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 대학원 기계및제어공학과, <sup>2</sup>선문대학교 공과대학 기계공학과

## Development of an Effective Manufacturing Scheduling System for PCB Manufacturing Line Using Dual DBR Method

Atsunori Yoshida<sup>1\*</sup> and Jeong-Hyeon Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Control Engineering, Graduate School of Sunmoon University

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Sunmoon University

**요약** 중소 PCB 제조업체에서는 외부 생산 환경 변화, 복수개의 제약공정, 많은 공정수, 긴 리드타임, 동일공정 반복생산 등의 특징으로 인하여 효과적인 생산 스케줄 작성에 많은 어려움을 겪고 있다. 최근 TOC 이론에서 제시하고 있는 DBR기법을 PCB 생산라인에 적용하고자 하는 시도는 진행되고 있으나, 제약공정을 1개만 설정하도록 하는 일반적인 DBR로서는 PCB 생산라인의 특성상 충분한 효과를 기대할 수 없는 현실이다. 따라서 본 논문에서는 PCB 생산라인에서 효과적인 생산스케줄링을 수립하기 위하여 TOC의 DBR기법을 발전시킨 복수 DBR기법을 제시하였다. 또, 실제로 국내 중소 PCB 제조업체에 복수 DBR을 적용하여 제조 리드타임을 20%이상 단축함을 확인하였다.

**Abstract** This paper proposes Dual DBR(Drum-Buffer-Rope) system for a small-to-medium-sized PCB(Printed Circuit Board) manufacturing line. DBR method of TOC(Theory of Constraints) is an effective system for a small-to-medium-sized company to build production scheduling system. But to apply it to PCB line, it needs more technical consideration because of multiple constraints, looping process line and complex buffer management. This paper proposes an answer of these problems using Dual DBR to build production scheduling system more successfully. And it was confirmed that lead time was reduced more than 20% applying Dual DBR system to a domestic PCB manufacturing line actually.

**Key Words** : Multiple constraints, Scheduling, TOC, DBR, PCB

### 1. 서론

PCB(Printed Circuit Board) 생산라인은 대표적인 다품종 소량생산라인이며, 동일 라인에서 많은 종류의 제품이 생산되는 혼류생산형태의 라인이다. 국내 PCB 생산업체는 현재 납기단축을 위해 생산스케줄링 시스템의 도입 또는 개선활동을 활발히 전개하고 있다. 하지만 상대적으로 열악한 생산 환경을 갖는 중소 PCB 제조업체에서는 생산스케줄링에 대한 외부 환경의 변화가 매우 심한 관계로 기존의 스케줄링방법으로는 효율적 생산스케줄링

을 수립하기 어렵다. 특히 복수개의 제약공정이 존재하는 PCB생산라인에서는 효과적인 생산 스케줄 작성에 많은 어려움을 겪고 있어 개선이 시급하다고 할 수 있다.

최근 생산스케줄 생성에 비교적 쉽게 적용할 수 있는 관계로 TOC(Theory of Constraints) 이론에서 제시하고 있는 DBR(Drum-Buffer-Rope)기법을 PCB 생산라인에 적용하고자 하는 시도는 진행되고 있다. 하지만 제약공정을 1개만 설정하도록 하는 일반적인 DBR로서는 PCB 생산라인의 특성상(많은 공정수, 긴 리드타임, 동일공정 반복생산 등) 충분한 효과를 기대할 수 없는 현실이다. 따라

\*교신저자 : 요시다 아쓰노리(ay2375@yahoo.co.jp)

접수일 09년 08월 18일

수정일 (1차 09년 09월 15일, 2차 09년 09월 22일)

게재확정일 09년 10월 14일

서 DBR의 장점인 도입의 용이성을 유지하면서 동시에 복수 제약공정 문제를 해결할 수 있는 복수 DBR에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 2개의 제약공정이 존재하는 PCB 생산 라인에서 효과적인 생산스케줄링을 수립할 수 있는 복수 DBR기법을 제시하고, 실제 PCB 생산라인에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

## 2. PCB 생산라인 스케줄링 연구

### 2.1 PCB 생산라인 개요

PCB 생산라인은 다품종 혼류 생산방식으로 라인이 구성되어 있으며, 100% 수주생산이다. 즉, 생산해야 할 제품의 모델과 납기는 모두 수주에 따라 결정된다. PCB는 제품 특성상 조립공정은 없고, 마지막 공정까지 CCL(Copper Clad Laminate)이라는 원재료에 대한 가공작업의 연속으로 진행된다. 예를 들어 회로형성, 드릴공정(drilling), 동도금, 적층, 금도금, PSR(Photo Solder Resist), 라우터(Router) 등의 공정이 계속된다. 그리고 이러한 가공공정과 별도로 BBT(Bare Board Test), AOI(Automatic Optical Inspection) 등의 검사공정이 있다. 최근에는 최신 가공방법으로 변화되고 있는 추세이며, AFI(Automatic Final Inspector), 레이저 드릴(laser drill) 등의 공정도 추가되어, 공정수순도 많이 다양화, 고난도화 되어 있다[2].

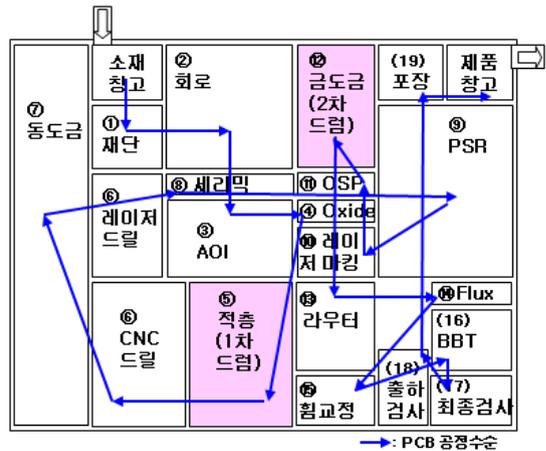
PCB 제품은 빈번한 모델변경(model change)과 짧은 생명주기(life cycle)이라는 특징을 갖고 있다. 그 결과 PCB 생산라인은 제조 리드타임 단축으로 인한 납기준수를 향상이 중요한 과제가 되어 있다. 하지만 PCB 제조업체는 대부분이 중소기업이며, 이러한 문제를 해결하기에는 현실적으로 많은 어려움이 있다. 예를 들어 공정내 재공품이 증가하기 쉽고, 설비 생산능력도 제품에 따라 변동된다. 특히 복수 대의 설비가 병렬상태로 설치되어 있는 공정(CNC 드릴, 레이저 드릴, AOI 등)에 대한 최적 스케줄링은 기술력이 미약한 중소기업체로서는 관리하기 어렵다고 할 수 있다.

그 뿐만이 아니라 공정 수순도 제품에 따라 다양하며, 때로는 설비단위로 작업지시를 해야 할 경우도 발생한다. 표 1은 PCB 생산라인의 이러한 특징을 정리한 것이다.

[표 1] PCB생산라인의 특징

- 많은 공정 (약20~40개 공정)
- 낮은 공정 안정성 (수율 80~90%)
- 다품종 혼류 생산 (300종 이상 진행)
- 진행공정 반복성 (적층, 회로 등)
- 제품별로
  - 제약공정 변동
  - 공정능력 변동(2~3배 변동)
  - 리드타임 변동 (2~4배 변동)
- 빈번한 공정 변경 (외주공정 활용)
- 빈번한 우선순위 변경
- 투입 조절 정확성의 한계
- 제약공정 설정 정확성의 한계
- 어려운 적정 재공량 산출
- 수주 변경 시 제약공정 가동률 한계
- 100% 수주생산 형태
- 과대한 재공재고 유지
- 짧은 제품 생명주기
- 고도화 되는 생산기술

PCB 생산라인의 전형적인 레이아웃(layout)은 그림 1과 같다. 그림 1은 국내 PCB 제조업체인 A사의 PCB 생산라인이며, 화살표는 대표적인 PCB 제품의 공정수순을 표시한 것이다. 물론 제품에 따라 공정수순은 다르며, 최근에는 40개 이상의 공정수순을 가진 제품도 있다. 그리고 대부분의 제품은 일부 동일공정을 반복하여 적용하는 공정을 포함하고 있다.



[그림 1] 국내 PCB생산라인 레이아웃 사례

### 2.2 PCB 생산라인의 스케줄링 연구내용

PCB 생산라인의 스케줄링에 대한 기존 연구내용으로서, PCB 생산라인의 특징인 복수 제약공정에 대한 스케줄링과, TOC에서 제시하고 있는 DBR기법을 적용한 생

산 스케줄링을 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

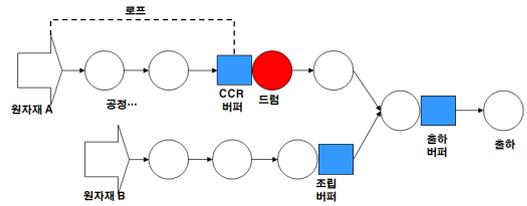
먼저 복수 제약공정을 위한 스케줄링에 대하여는 표 2와 같은 연구들이 있다.

[표 2] 복수 제약공정에 대한 스케줄링 연구사례

논문저자	논문 제목
Mori [7]	복수자원제약 스케줄링 프로그램을 위한 GA기법 (a GA for multi-mode resource constrained project scheduling program)
Crama [6]	PCB의 생산계획 문제 (production planning problems in PCB assembly)
Cheng [5]	반도체 생산의 환경 연결을 위한 목적기반 컨트롤러 (An object-based controller for equipment communications in semiconductor manufacturing)
안재경 [3]	시뮬레이션을 이용한 PCB 제조시스템의 수행능력 분석
Wong [12]	복수 에이전트 생산시스템을 위한 다이너믹 작업장 스케줄링 (Dynamic shopfloor scheduling in multi-agent manufacturing systems_)
Simao [9]	주문생산을 위한 MES (MES for customized production)

PCB 라인의 스케줄링 연구로서는 Crama[6]가 CNC 드릴공정과 같은 복수 개의 생산장비가 병렬형태로 가동되는 공정에 대한 생산계획을 연구하였다. 그리고 Mori[7]는 유전알고리즘(Genetic Algorithm)이론을 이용한 방법론을 제시하였고, 안재경[3]은 제조라인의 통합생산관리를 위한 접근방법을 제시하였다. 그리고 PCB라인과 유사한 형태를 가진 반도체 라인에 대한 MES(Manufacturing Execution System) 구축사례를 Cheng[5]이 소개하였는데, 여기서는 SEMATECH에서 제시한 CIM 프레임워크(architecture)를 기본으로 CORBA 아키텍처(architecture)를 적용하여 구축하고 있다. 또, 시스템 모델링은 UML(unified modeling language)를 이용하고 있다. 그 외에도 H-MES(Holonic MES), I-MES(Intelligent MES), IMS(Intelligent Manufacturing System), DRM(Distribution Resource Planning), IPPS(integrated process planning and scheduling), MAS(Multi-Agent Systems) 방법론 등이 연구되어 있다 [9,12].

두 번째로 DBR기법을 적용한 스케줄링 연구는 다음과 같다. 그림 2는 DBR기법을 모델링 한 것이다.



[그림 2] DBR 모델링

DBR은 제약자원(CCR: Capacity Constraint Resource)에 주목하여 스케줄링 하는 기법이다. 현재 DBR과 기존의 다른 생산관리 기법과의 연계도 활발히 연구되어 있다. 예를 들어 고시근[1]은 Kanban시스템을 사용하여 DBR을 구현하는 연구를 하였다. 또한 DBR기반의 APS 시스템 설계방법도 연구되어 있다[4].

DBR은 다른 생산일정계획 구축 기법과 달리 비교적 쉽게 도입할 수 있어서 중소기업체에서도 충분히 도입할 수 있다. 그것은 다음과 같은 특성이 있기 때문이다.

- (1) 비교적 전문지식이 불필요
- (2) 기준정보 수준도 중소기업체 수준
- (3) 짧은 구축기간 (3개월 이내)
- (4) 제약자원 공정만 생산계획을 수립

따라서 PCB 생산라인과 같이 비교적 정보인프라 및 관리기술이 미약한 중소기업체에서도 DBR 도입이 가능하다고 할 수 있다. 실제 국내 PCB 제조업체에 대한 DBR 도입사례가 최근에 들어 여러 분야에서 발표되고 있다.

DBR에 복수 제약공정 스케줄링 기능을 보완한 대표적인 연구로서는 표 3과 같다. 이러한 연구가 필요하게 된 이유는 우선 복수 개의 제약공정이 존재하는 생산라인에 DBR을 적용할 경우, 제약자원을 1개만 설치해서 운영하는 일반적인 DBR(이하 일반 DBR라고 한다)보다 2개 설치하여 운영하는 DBR(이하 복수 DBR라고 한다)이 효과적이라는 이유 때문이다. 복수 DBR의 필요성과 효율성에 대하여는 이미 여러 분야에서 연구가 되어 있다[8].

[표 3] DBR에 복수 제약공정 스케줄링 기능을 보완한 연구사례

논문저자	논문 제목
Simons [10]	Goal System에 실장한 복수 제약공정 스케줄링 전개 (An Exposition of Multiple Constraint Scheduling as Implemented in the Goal System)
Simons [11]	연속적인 시스템 슬루풋을 위한 복수자원 연속 스케줄링 (Simultaneous versus sequential scheduling of multiple resource which constrain system throughput)
Onwubolu [8]	유전알고리즘을 적용한 복수 제약자원의 혼류 생산문제 최적화 (Optimizing the multiple constrained resource product mix problem using genetic algorithms)

하지만 기존에 복수DBR 연구 내용들은 'Goal System'이라는 DBR 생산스케줄링 시스템이 도입되어 있는 라인에 한정되어 있거나[10], 유전알고리즘을 적용한 내용들이며[11], PCB생산라인과 같은 중소기업에서 도입하기에는 사실상 많은 어려움이 있는 연구들이라고 할 수 있다.

### 2.3 PCB 생산라인의 생산관리시스템

PCB 생산라인에서 필요한 생산관리시스템에 대하여 살펴본다. PCB 생산라인에서 운영되는 생산시스템의 가장 큰 목적은 납기관리, 생산 최적화, 그리고 수율관리를 지원하는 것이며, 그 중 가장 중요한 목적은 납기관리라고 할 수 있다. 즉, 생산량 증대, 장비 가동률 최대 등을 목표로 하는 생산일정계획이 아니라, 생산 리드타임을 최소화할 수 있는 생산일정계획이 PCB 라인에서는 가장 중요하다. 실제 국내 PCB제조업체인 A사에서 운영되고 있는 생산관리시스템을 봐도 납기를 위한 생산일정계획 시스템이 가장 중요한 기능으로 구축되어 있다. 그리고 그 기능을 보조하기 위해 공정부하 계획, 자재소요량 계획, 외주계획 등이 연계되어 있다[그림 3].



[그림 3] PCB 생산시스템 사례 (A사)

## 3. 복수 DBR기법을 적용한 접근방법

앞에서 살펴본 기존 생산일정계획 수립 방법론을 PCB 생산라인에 적용할 경우, 예상되는 문제점과 이에 대한 해결기법인 복수 DBR 적용에 대하여 살펴보도록 한다.

### 3.1 기존 연구 적용 시 예상되는 문제점

우선 정보 인프라에 대한 문제가 있다. PCB생산라인은 일반적으로 중소기업이 많고, 따라서 대기업과 비교하여 ERP, MES 등의 정보인프라는 대단히 미약한 상태이다. 이러한 환경에서 고도의 생산관리 능력을 필요로 하는 기존 방법론은 사실상 도입하기가 어렵다.

다음으로 공정 안정성에 대한 문제가 있다. 어떤 방법론이든, 스케줄링을 하기 위해서는 스케줄링을 위한 각종 정보의 정확성이 요구되지만, PCB생산라인은 생산정보의 낮은 정확성과 정보부족 등의 문제로 결과적으로 계획의 정확성을 유지하기가 어려운 현실이며, 이러한 환경 하에서는 수준 높은 생산스케줄링을 구축하기가 어렵다고 할 수 있다.

마지막으로 생산관리자의 관리능력 수준이 문제가 된다. 중소기업 생산관리자는 대기업과 달리 생산기술과 현장지식에 대한 충분한 전문교육을 받기가 어렵다. 이러한 이유로 그 동안 연구 발표된 생산관리 방법론은 DBR기법 외에는 PCB생산라인에 적용하기에는 많은 문제가 있다고 할 수 있다.

### 3.2 일반 DBR 적용 시 예상되는 문제점

일반 DBR을 PCB생산라인에 적용할 경우 예상되는 문제점은 다음과 같다. DBR은 다른 스케줄링 기법과 비교하여 쉽게 도입하여 운영할 수 있다. 예를 들어 기존 스케줄링에서는 라인 내에 있는 모든 공정에 대하여 생산계획을 수립하여 지시하고 있으나, DBR은 제약자원공정에 대한 생산계획만 수립한다. 하지만 PCB라인은 제약공정을 1개 만 설정하는 일반 DBR로는 도입효과를 얻기 어렵다. 그 이유는 위에서 이미 논한 바와 같이 PCB 라인은 복수개의 제약공정이 존재하기 때문이다.

또한 버퍼 설정에 대하여도 PCB라인의 특징 중의 하나인 반복공정 때문에 쉽게 결정할 수 없다. 예를 들어 중소제조업체의 PCB라인에서 일반적으로 재공량이 가장 많은 공정은 적층공정과 금도금 공정인데, 만일 반복공정 중의 하나인 적층공정을 드럼으로 설정된다면 버퍼 속에 있는 제품에 대하여 반복 회수별로 구분하여 관리할 필요가 있다. 즉 버퍼의 다중 관리가 필요하게 된다. 한편 반복공정이 아닌 금도금 공정을 드럼으로 설정될 경우는



[그림 4] PCB생산라인의 문제점과 이에 대한 해결방법으로서의 복수 DBR

위에서 논한 바와 같이 소재투입에서 금도금공정 도착까지 많은 리드타임이 소요됨으로 버퍼 량이 증대할 수밖에 없다.

마지막으로 로프설정에 대하여 설명한다. 반복공정 그룹의 마지막 부분에 있는 회로공정은 반복공정과 후 공정과의 분기 공정이며, 여기서 어떤 제품을 작업하는지에 따라 버퍼 량이 변화된다. 하지만 일반 DBR의 경우, 이러한 분기공정에 대한 생산계획을 관리할 수 없다. 만일 분기공정을 드림으로 설정한다 해도 후 공정에 있는 금도금 공정에 대한 관리를 할 수 없게 된다. 지금까지 설명한 PCB라인에서의 일반 DBR의 문제점을 정리하면 표 4와 같다.

[표 4] PCB라인에 대한 일반 DBR의 문제점

구분	PCB 라인에 일반 DBR 적용시의 문제점
드림	반복 공정내 드림 설치: 버퍼관리 난해 후반 공정내 드림 설치: 로프 길이의 한계
버퍼	제약자원 공정 버퍼량 증대 및 다중화 우려
로프	분기공정에 대한 생산계획 수립의 한계

이러한 문제에 대하여는 Onwubolu[8]도 제약공정을 1개만 선정하는 일반 DBR은 대상 공정이 복잡하고 비교적 공정수가 많은 제조라인에서는 효과를 얻기가 어렵다고 주장하고 있으며, 복수 제약공정을 위한 복수 버퍼관리의 필요성을 제시하고 있다. A사도 복수 DBR를 도입하기 전에는 회로형성공정의 생산계획을 잘못 수립함으로써 인하여 후 공정에서 비가동시간이 발생하거나, 또는 재공품이 증가하는 등의 문제가 발생되었던 것이다.

### 3.3 복수 DBR기법의 적용 타당성

PCB 라인에서의 생산 스케줄링 문제점을 해결하기 위

한 복수 DBR기법 적용방법은 다음과 같다. 2장에서 이미 언급한 바와 같이 PCB라인은 낮은 공정 안정성, 생산계획 부정확성, 빈번한 수주변경, 길고 다양한 공정 등의 문제가 있다. 그래서 최적 공정계획을 수립하기 어렵고, 그 결과 재공량 증가, 애로공정 발생, 비가동 공정 발생 등의 문제를 발생시키고 있다. 또, 제품별로 공정 리드타임이 다르며, 따라서 정확한 생산계획을 수립하기 어렵다. 그 외에도 빈번한 생산계획 변경, 낮은 납기 준수율 등의 문제가 있다. 이러한 문제점에 대한 해결방법으로서 복수 DBR의 적합성을 검증해 본 결과가 그림 4이다. 즉, 공정의 특성을 고려하여 제약자원 및 버퍼를 2개 설치함으로써 일반 DBR의 문제점을 보완할 수 있다고 보는 것이다.

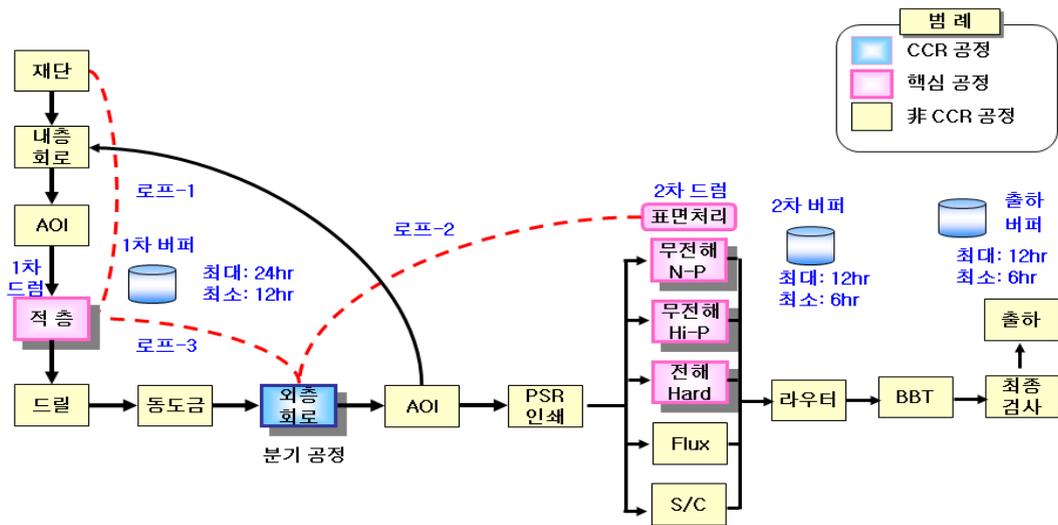
## 4. 복수 DBR기법을 적용한 PCB 생산라인의 생산계획시스템 구축

### 4.1 구축 절차

복수 DBR을 구축할 때 그림 5와 같은 절차로 구축하는 것이 바람직하다.



[그림 5] 복수 DBR 구축 절차



[그림 6] PCB 생산라인의 복수 DBR 구축도

우선 대상공정의 문제점을 도출하여 그 해결방안을 설정한다. 그리고 해결방법으로서 일반 DBR과 복수 DBR의 어느 기법을 적용할 것인지를 결정한다. 다음으로 복수 DBR을 설계한다. 대상라인의 공정특성을 고려하여 제약자원공정, 버퍼 크기, 로프 위치 등을 생각하여 구축하는 것이다.

다음은 복수 DBR 시스템을 개발한다. 시스템개발에 앞서 우선 수작업으로 복수 DBR을 작동시키고, 복수 DBR의 도입효과를 사전에 확인 후, 시스템을 개발한다. ERP 시스템이 구축되어 있을 경우에는 ERP와 복수 DBR 시스템을 연계한다. 즉, ERP 시스템의 생산계획, 투입계획, 공정관리 기능에 DBR을 추가하여 일괄된 생산계획이 되도록 구축한다. 마지막으로 복수 DBR에 대한 효과분석 및 개선작업을 한다. 이하 실제 A사에서 구축한 사례를 소개한다.

## 4.2 복수 DBR기법을 적용한 생산계획시스템 구축

### 4.2.1 문제점 도출

PCB 생산라인의 생산스케줄링 개선이 필요한 여러 문제점은 2장과 3장에서 기술한 바와 같으며, 해결방안으로서 복수 DBR을 적용한 생산계획시스템을 구축하는 것으로 결정하였다.

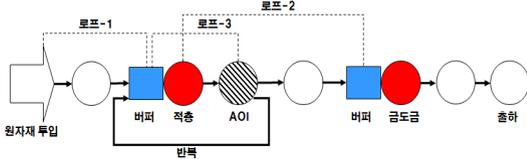
### 4.2.2 복수 DBR 설계

A사에 복수 DBR을 구축하기 위해 그림 6과 같이 PCB 생산라인을 2개로 분리하여 각각에 드럼공정과 버

퍼를 설정하였다. 다음에는 1차 드럼을 적층공정, 2차 드럼을 금도금 공정을 설정하였다. 그 이유는 적층공정이 생산능력이 가장 작은 공정이며 또, 위에서 설명한 바와 같이 반복공정이라는 특성 때문이다. 두 번째 드럼으로 금도금 공정을 설정하였는데 그 이유는 금도금 이후에는 반복성이 없고, 또, 금도금 공정은 3가지의 다른 설비라인을 보유하기 때문에 가장 비가동이 발생하기 쉬운 공정이기 때문이다. 1차 드럼에 대한 로프는 2개 설정하였다. 로프-1은 1차 드럼(적층)과 투입공정을 연결하였고, 로프-3은 분기공정(외층회로)과 연결하였다. 결국 1차 드럼인 적층공정은 자재투입과 외층회로의 2개 공정에서 제품이 유입된다는 뜻이다. 그리고 2차 드럼(금도금)은 제품군이 다른 3개의 장비로 구성되어 있다. 따라서 2차 버퍼는 각 장비별로 관리하였다. 버퍼 감시는 1차 드럼으로 선정된 적층공정과 2차 드럼으로 선정된 금도금 공정에 대한 재공량 조사를 하는 것이다. 그리고 금도금공정의 재공량을 기준으로 적층공정의 생산계획을 조정하여 또, 적층공량의 재공량을 기준으로 소재투입계획을 조정하였다.

PCB 라인에서는 회로형성공정의 생산계획이 가장 중요하다. 그 이유는 회로형성공정에 도착되어 있는 재공품의 종류가 다양하기 때문이다. 구체적으로 설명한다면, 회로는 내층, 외층의 2종류가 있고, 결국, 1차 드럼 이전에도 내층회로가 있지만, 후에도 외층회로 공정이 있는 것이다. 그리고 빌드업(Build up) 제품의 경우, 그 과정을 여러 번 반복하게 되어, 결국 2개의 드럼공정에 대하여 버퍼 량 조절의 핵심공정이 되는 것이다. 따라서 2개의 버퍼에서 요구되는 양이 외층회로 공정능력의 한도를 초

과할 경우, 어느 버퍼를 우선으로 할 것인가에 따라 전체 재공 균형이 달라지는 것이다. 따라서 복수 DBR에서는 회로형성공정에 도착되어 있는 재공품 중, 어떤 제품을 어떤 우선순위로, 얼마나 생산할 것인가에 대한 알고리즘을 구축하여야 한다. 그림 7은 A사 복수 DBR 적용 모델링을 요약한 그림이다.



[그림 7] 복수 DBR 모델링

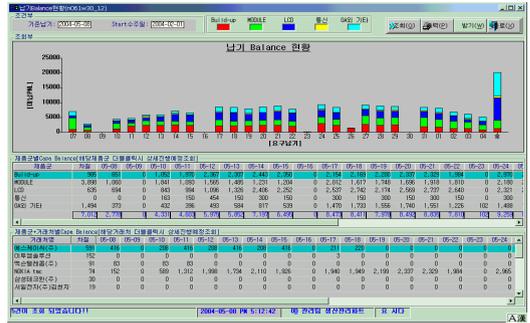
4.2.3 복수 DBR 기반 스케줄링 시스템 개발

A사의 PCB 생산라인용 복수 DBR을 적용한 생산 스케줄링 절차는 다음과 같다. A사는 2차 드럼을 메인으로 설정하였기 때문에 2차 드럼 생산계획을 확정 후, 이것과 현재 2차 버퍼 량을 기준으로 로프-2 생산계획량을 결정하였다. 그 후, 1차 드럼과 1차 버퍼 량을 고려하여 로프-1로 투입량을 결정하였다. 이러한 판단은 분기공정인 회로 공정에서 이루어진다. 마지막으로 출하 버퍼는 일반 DBR과 동일하게 설치하였다.

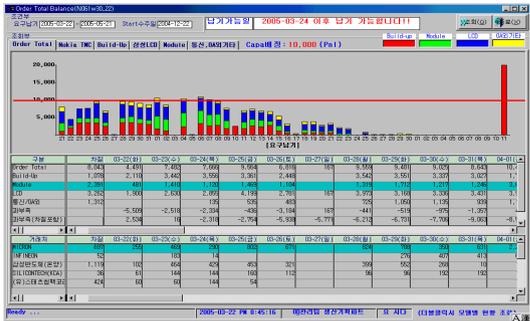
복수 DBR 시스템 설계 후, 금도금, 회로형성, 그리고 적층 공정의 생산계획과 투입계획을 매일 아침 산출하였다. 이때, 당일뿐만 아니라 3일 후까지의 버퍼 량을 예측하기 위해 버퍼관리용 그래프를 개발하였다. 그리고 이 그래프를 이용하여 실시간으로 해당공정의 재공량을 모니터링 할 수 있도록 하였다[그림 8]. 이 시스템을 이용하여 투입과 분기공정의 당일 생산량이 2개의 드럼 공정에 언제 도착하는가를 예측하여 버퍼를 시뮬레이션 할 수 있게 하였다. 그 결과, 2차 드럼 공정(금도금)의 바로 직전 공정인 PSR공정, 그리고 그 전 공정인 회로 형성공정에 대한 생산계획 스케줄링도 관리할 수 있게 되었다.

마지막으로 제품별 공정능력과 리드타임의 변화를 고려하기 위해 2개의 제약자원 공정에 대한 버퍼 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 그 이유는 이로 인하여 만일 공정에 대한 재공량 과다상태가 발생할 경우, 임시적인 현상인지, 또는 계속 발생하는 현상인지 여부를 판단할 수 있도록 하기 위해서였다.

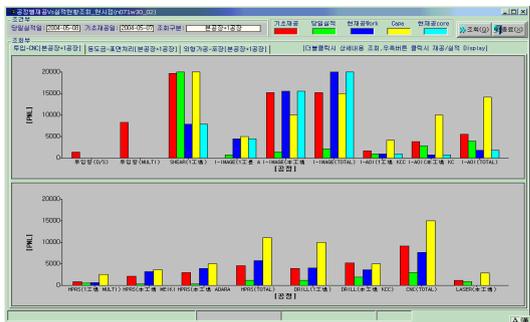
(1) 제약자원 공정 재공량 모니터링 화면



(2) 거래처별 납기예측 시뮬레이션 화면



(3) 제품별 납기일별 수주현황

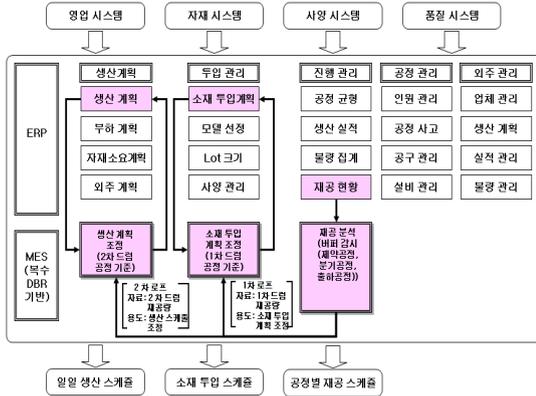


(4) 공정별 재공량, 작업계획, 작업실적, 재공량 모니터링 화면

[그림 8] 버퍼량 감시시스템 화면사례

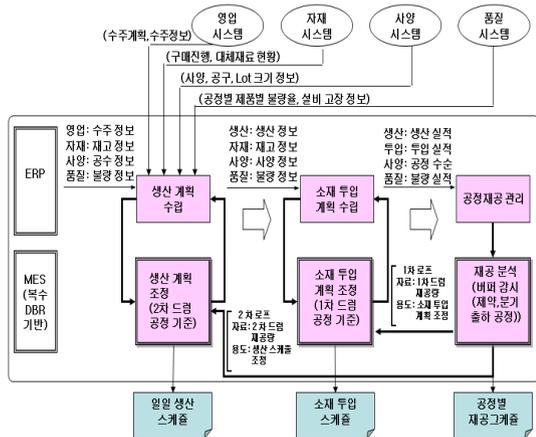
### 4.2.4 ERP 시스템과 연계

다음으로 A사에 이미 구축되어 있는 ERP와 본 연구에서 개발한 복수 DBR 시스템을 연계하였다. 그림 9는 ERP와 연계된 복수 DBR 아키텍처의 시스템 뷰다. 그림 9와 같이 A사의 기존 ERP 시스템에 복수 DBR 기능을 추가하였고, 생산계획 수립 후, 2차 드럼의 생산계획을 베퍼를 기준으로 다시 수립하였다.



[그림 9] ERP와 복수 DBR 연계 아키텍처 (시스템 뷰)

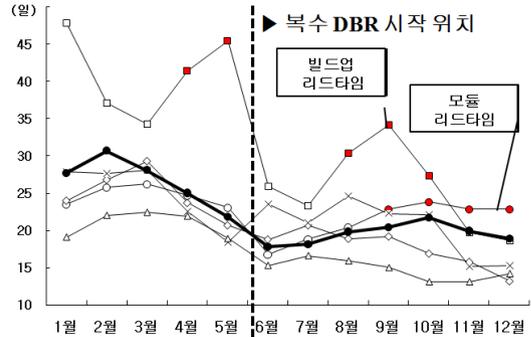
그 후, 1차 드럼에서 소재투입계획을 설정하였다. 이것을 실행하기 위해 ERP시스템의 진행관리와 별도 베퍼 관리 시스템을 추가로 설계하여 생산계획 조정(2차 드럼)과 소재 투입계획 조정(1차 드럼)을 각 로프로 연결하였다. 그림 10은 ERP와 연계된 복수 DBR 시스템아키텍처에 대하여 사용자 뷰를 그린 것이다.



[그림 10] ERP와 복수 DBR 연계 아키텍처 (사용자 뷰)

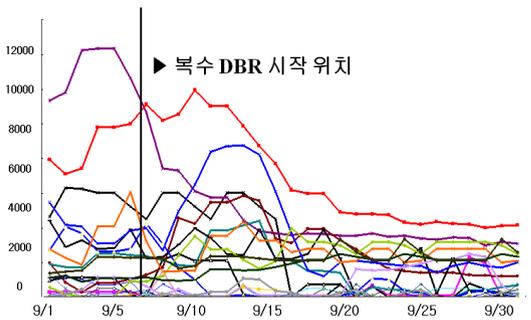
### 4.2.5 효과분석 및 개선

A사에서 복수 DBR을 적용하여 생산일정계획을 수립 및 적용한 결과, 그림 11과 같이 리드타임이 단축된 것을 확인할 수 있었다.

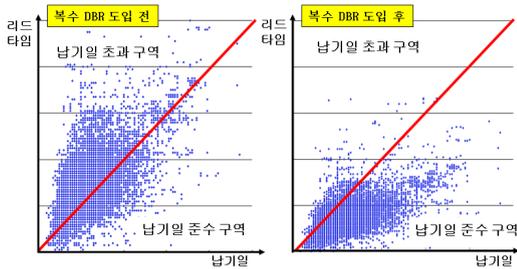


[그림 11] 제품별 리드타임 추이

이에 대한 가장 큰 요인은 그림 12에 나타나 있는 바와 같이 공정별 장기 정제품의 격감에서 있었으며, 이러한 결과에 따라 그림 13과 같이 제품의 납기준수율이 평균 25% 이상 향상된 것을 확인할 수 있었다. 각 제품군별로 본다면 모듈군은 20%, 빌드업군은 30% 이상 향상되었고, 특히 공정이 긴 제품일수록 그 효과는 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 리드타임 편차 역시 평균 4일이라는 효과도 얻을 수 있었다. 결과적으로 복수 DBR의 가장 큰 도입효과는 대기시간 단축과 이동시간 단축으로 나타나게 되었다. 즉, 드럼 공정 이외의 공정에서 장기적인 정제품을 대폭 감소시킴으로써 공정내 대기시간을 대폭 단축되는 효과를 얻게 되었다. 그리고 이동시간도 1~2로트 단위로 이동하도록 함에 따라 이송 대기시간도 단축되는 효과를 얻게 되었다.



[그림 12] 공정별 재공량 추이



[그림 13] 복수 DBR도입전 및 도입 후의 납기준수율 변화

### 5. 결론

본 연구에서는 복수 제약공정 생산스케줄링이 필요한 PCB 중소제조업체를 대상으로 효율적인 생산일정계획을 수립하기 위해, 일반적인 DBR이 아닌 복수 DBR기법을 제시하여, 실제로 국내 PCB제조라인에 적용하여 리드타임 단축효과가 있는 것을 확인하였다. 즉, 수십 개의 단위 공정으로 구성되는 어려운 환경 하에서 납기 준수율 향상을 위한 리드타임 개선방법으로서 복수 DBR기법이 효과적임을 확인하였다.

본 연구에서 A사에 구축한 복수 DBR은 PCB 생산라인의 효율적인 생산스케줄링을 위한 것이다. 따라서 반도체 제조라인과 같이 PCB라인과 유사한 공정에서는 본 연구가 많은 도움이 될 것으로 사료된다. 하지만, PCB라인과 다른 공정 흐름형태를 갖는 자동차부품 제조공장, 가전제품 제조공장, 철강제품 제조공장 등에서 복수 DBR을 적용하기 위해서는 적용할 복수 DBR 구조설계, 복수 DBR 기반의 생산스케줄 생성 등에 대하여 지속적인 개선과 연구가 필요하다. 더 나아가 3개 이상의 제약공정에 대한 접근방법도 연구되어야 할 것이다.

### 참고문헌

[1] 고시근, 김재환, “안정된 수요를 갖는 생산라인에서 Kanban을 사용한 DBR시스템 구현”, IE Interfaces, 제15권, 제1호, pp.99-106, 3월, 2002.  
 [2] 김영휘, 전태보, 마상혁, “시뮬레이션을 이용한 PCB 제조시스템의 수행능력 분석”, IE Interfaces, 제6권, 제2호, pp.133-150, 9월, 1993.  
 [3] 안재경, “제조시스템을 위한 통합형 생산관리모형 구축”, IE Interfaces, 제16권, 제1호, pp.111-116, 3월, 2003.

[4] 최정길, 김수진, 주정민, 정선화, 정남기, “DBR기반의 APS시스템 상세 설계”, IE Interfaces, 제14권, 제4호, pp.348-355, 12월, 2001.  
 [5] Cheng, F. T., and Teng, C. Y., “An object-based controller for equipment communications in semiconductor manufacturing”, Robotics and Computer Integrated Manufacturing Vol.18, pp. 387-402, 2002.  
 [6] Crama, Y., Klundert, J. V., and Spieksma, F. C. R., “Production planning problems in printed circuit board assembly”, Discrete Applied Mathematics, Vol.123, pp.339-361, 2002.  
 [7] Mori, M., and Tseng, C. C., “A genetic algorithm for multi-mode resource constrained project scheduling problem”, European Journal of Operational Research, Vol.100, pp.134-141, 1997.  
 [8] Onwubolu, G. C., and Mutingi, M., “Optimizing the multiple constrained resources product mix problem using genetic algorithms”, INT. J. PROD. RES., Vol.39, No.9, pp.1897-1910, 2001.  
 [9] Simao, J. M., Stadzisz, P. C., and Morel, G., “Manufacturing execution systems for customized production”, Journal Materials Processing Technology, Vol.179, pp.268-275, 2006.  
 [10] Simons, J. V., and Simpson, W. P., “An Exposition of Multiple Constraint Scheduling as Implemented in the Goal System”, Production and Operations Management, Vol.6, No.1, Spring, 1997.  
 [11] Simons, J. V., Stephen, M. D., and Simpson, W. P., “Simultaneous versus sequential scheduling of multiple resources which constrain system throughput”, Int. J. PROD. RES., Vol.37, No.1, pp.21-33, 1999.  
 [12] Wong, T. N., Leung, C. W., Mak, K. L., and Fung, R. Y. K., “Dynamic shopfloor scheduling in multi-agent manufacturing systems”, Expert Systems with Applications, Vo.31, pp.486-494, 2006.

**요시다 아쯔노리(Atsunori Yoshida) [정회원]**



- 1979년 3월 : 일본 Chiba 대학교 수학과 졸업(이학사)
- 2000년 2월 : 전문대학교 생산시스템공학과(공학석사)
- 2007년 5월 ~ 현재 : (유)한국타임즈항공 전산실 실장
- 2000년 3월 ~ 현재 : 전문대학교 대학원 기계공학과 박사과정

<관심분야>

ERP, MES, Six Sigma, JIT, CRM

---

**박 정 현(Jeong-Hyeon Park) [정회원]**



- 1996년 8월 : KAIST 산업공학과 공학박사
- 1985년 3월 ~ 1988년 4월 : 한국기계연구원 CAD/CAM실 연구원
- 1988년 5월 ~ 1996년 8월 : (주)협동감속기 전무이사
- 1999년 10월 ~ 2008년 3월 : (주)디자인메카 전무이사
- 1997년 3월 ~ 현재 : 전문대학교 공과대학 기계공학과 부교수

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 기계설계자동화, 생산시스템제어