자동차 조립라인의 실시간 투입시스템의 자동화

최원준* · 박혜규** · 신현오***

Automation of the Real-Time Production Sequencing System of an Automobile Assembly Line

Wonjoon Choi, Hyekyou Park, Hyunoh Shin

〈요 약〉

자동차 조립공장의 생산은 혼류생산 (Mixed-Model Production)의 대표적인 형태로서 동일한 조립라인에서 다양한 사양의 차량들을 Batch생산이 아니라 각 사양의 생산량이 평준화되도록 생산을 하는 것이 특징이다. 그런데 도장라인에서 생산완료된 순서는 혼류조립라인에서의 평준화 생산에 적합하지 않은 상태이므로 조립라인에의 투입순서를 재작성하여 제어하여야 한다. 본 논문에서는 조립라인의 실시간 투입순서 작성 및 운영시스템을 자동화하여 성공적으로 운영한 사례를 소개하고자 한다.

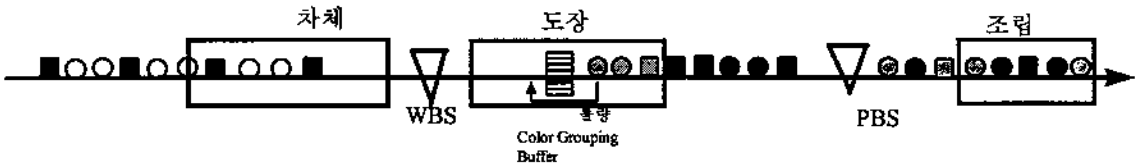
1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

자동차 조립공장은 차체라인-도장라인-조립라인으로 구성된 주라인과 주라인에 필요한 부품을 공급하는 공급공장으로 구성되어 있다. 공급공장의 예는 프레스공장, 엔진/기어 공장, 의자공장, 각종 조립부품공장을 들 수 있으며 일부는 사내공장으로 운영되며 대부분은 외부 Vendor로부터 부품을 공급을 받고 있다. 본연구는 H사 조립라인의 효율적인 운영을 위한 투입순서결정 시스템의 자동화 문제를 연구대상으로 한다.

자동차 조립공장의 생산은 혼류생산 (Mixed-Model Production)의 대표적인 형태로서, 동일한 조립라인에서 다양한 사양의 차량들을 Batch생산하지 않고 각 사양의 생산량을 평준화하여 생산하는 것이 특징이다. H사의 단기생산계획은 주간계획과 일일순서계획으로 구성되어 있다. 주간계획은 생산라인의 능력과 부품공급공장의 능력을 고려하여 수주된 물량과 예측생산되는 물량중 해당주간의 생산대상물량을 확정하고 이를 일일단위로 평준화되도록 배분하여 얻은 생산계획을 말한다. 일일순서계획은 일일 생산물량의 생산순서를 말하며 현재 H사는 조립라인에서의 생산순서(조립순서계획)를 일일순서계획으로 삼고 있다. 조립순서계획은 주라인의 첫공정인 차체라인에 전달되어 차체라인의 생산은 일일순서계획에 따라 진행된다. (〈그림 1.1〉 참조)

* 울산대학교 산업공학과
** 울산대학교 경영학과
*** 현대자동차 주식회사



〈그림 1.1〉 자동차 조립공장의 주라인

차체라인에 투입된 차체는 용접이 되어 차체가 완성된 후에 WBS (White Body Storage)라는 중간창고에 저장된 후 도장라인에 투입된다. 차체는 도장라인에서 하도(下塗), 중도(中塗), 상도(上塗)의 도색공정을 거친 후에 PBS (Painted Body Storage)라는 중간 창고에 저장된 후 조립라인에 투입된다. 도장라인에서의 도색공정, 특히 상도공정에서는 한 차체의 도색시에 그 이전차체와 색상이 다르면 도색 로보트의 노즐을 세척하여야 하는데, 일회 세척에 약 10,000원 이상의 세척비용이 발생한다. 세척 비용을 줄이기 위하여 동일 색상의 차체들을 연속적으로 도색하게 되며 이를 위하여 상도공정직전에 동일 색상의 차체들을 모으는 중간 창고를 운영하고 있다. 이 중간창고를 도색 Grouping (Color Grouping) Buffer라고 부른다.

그런데 도장라인에서 생산완료된 순서대로 차체를 조립라인에 투입하면 많은 문제점에 발생한다. 도장라인의 도색Grouping Buffer에서 생산순서가 재작성되었을 뿐더러, 도장라인의 불량으로 인한 재작업, 생산속도 불균형으로 인한 도장라인내의 탈하 등으로 인하여 도장완료된 차체의 순서는 혼류생산시스템에서의 평준화 조립생산에 적합하지 않은 상태이다. 더우기 조립라인에서의 부품 불량, 결품 등의 이유로 인하여 투입을 당분간 보류하여야 할 차체도 있으므로 PBS에서 조립라인에의 투입순서를 재작성하여 제어하여야 한다.

H사에서는 생산차종의 증가와 수요 증대에 따른 설비확장으로 인하여 조립라인이 단일라인에서 복수라인으로 재편성되었다. 이에 따라 기존의 PBS운영시스템이 운영불가능하게 되어 새로운 시스템이 필요하게 되었다. 본연구는 PBS운영시스템을 자동화하여 성공적으로 운영한 사례를 중심으로 조립라인의 실시간 투입시스템의 설계에 대하여 논하기로 한다.

1.2 논문의 구성

연구의 배경과 목적은 이미 언급하였다. 2장에서는 연구대상이 된 PBS의 기능과 구조에 대하여 설명하고 본연구에서 수행한 연구의 내용을 개괄적으로 언급한다. 3장에서는 PBS운영시스템의 제어기능 중의 핵심내용인 인출알고리즘에 대하여 기술하며 4장에서는 본 운영시스템의 적용결과 얻은 효과에 대하여 설명한다.

2. PBS(Painted Body Storage)자동화의 개요

2.1 PBS의 기능과 구조

PBS는 도장라인에서 도장된 차체를 조립라인에 투입하기 전에 보관하는 창고로서 다음과 같은 기능을 갖는다.

① 도장라인과 조립라인사이의 완충 (Buffer) 기능:
도장라인과 조립라인의 생산속도는 수시로 변하는데 이에 대한 완충기능을 수행한다. 이로써 두 라인을 상호 불안정 요인으로부터 분리시켜 안정적으로 운영할 수 있다.

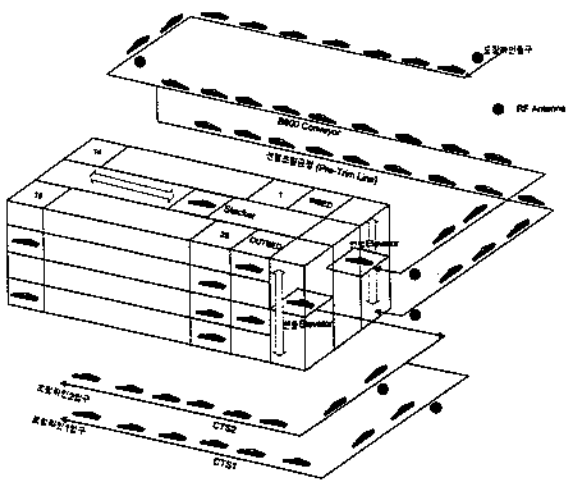
② 조립라인에의 차체 투입순서의 결정:
조립라인에서의 생산성을 극대화하는 순서로 조립라인에 차체를 투입한다. 이 순서는 조립라인

의 조립생산성에 직접적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라, 사내외 자재 공급부문의 자재 공급서열을 결정하게 된다.

③ 조립라인의 자재결품 발생시 관련차체의 조립라인에의 투입보류 장소.

PBS의 차체투입순서기능은 조립공장 전체의 생산성이 미치는 영향이 크기 때문에 PBS관리를 자동차 공장 '생산관리의 꽃'이라고도 부르고 있다.

연구대상이 된 PBS의 구조는 〈그림 2.1〉에 나타나 있는 바와 4층의 자동창고의 형태로서 각 층에 저장장소가 28칸 (14칸씩 2열)으로 총 112대의 차체를 저장할 수 있다. PBS내에서의 수직이동은 인입용 Elevator와 인출용 Elevator가 담당하고 각 층내에서의 수평이동은 층별 전담 Stacker가 담당하고 있다. 차체가 인입되면 인입용Elevator는 1층 또는 3층에서 인입 차체를 실어 인입할 층의 INPUT BED (INBED라 약칭)에 옮겨 놓으면 해당층 Stacker가 저장할 칸에 옮겨 싣는다. 인출시는 해당층의 Stacker가 차체를 저장된 칸에서 그 층의 OUTPUT BED (OUTBED라 약칭)에 옮겨 놓으면 인출용 Elevator가 3층의 인출지점까지 이동시키며 턴테이블과 컨베이어에 의하여 차체는 조립라인까지 계속 진행하게 된다.



〈그림 2.1〉 PBS의 구조

PBS시스템의 관리범위는 도장라인 출구지점부터 조립라인 입구까지이다. 차체의 ID매체로 RF (Radio Frequency) 시스템을 이용하고 있는데 차량의 관리정보를 기록한 Tag를 차체에 부착하여 필요공정에 설치된 안테나를 통하여 읽어들이고 있다. 도장라인 출구지점에서 차체 RF Tag를 읽어 차체를 인식한 다음부터 차체를 Tracking하고 관리한다. 차체의 일부는 선행조립라인(Pre-Trim Line)을 거치게 되는데, 선행조립라인은 조립라인의 Line Balancing효율을 올리기 위하여 조립라인에서 과도한 작업부하가 걸리나 작업물량이 많지 않은 사양의 조립작업을 미리하는 공정을 말한다. 선행조립라인을 거친 차체는PBS 1층으로 나머지 차체는 B800 Conveyor라는 이름의 Conveyor를 거친 후 PBS 3층에서 인입Elevator에 의하여 인입되게 된다.

조립라인은 2개가 있는데 PBS에서 인출된 차체는 조립라인 앞의 Buffer (누적형 Converyor)에서 대기하고 있다가 조립라인에 투입된다. 이 Buffer를 CTS1, CTS2라고 부른다. (CTS: Connection to Trim Shop의 약칭임.) 차량은 제1조립라인에만 투입될 수 있는 차량, 제2조립라인에만 투입될 수 있는 차량, 아무 라인이나 투입될 수 있는 차량 등 3종류가 있다. 아무 라인이나 투입될 수 있는 차량을 혼용차량이라고 부르고 그렇지 않은 차량은 전용차량이라고 부른다. 혼용차량의 투입될 조립라인은 PBS인출시까지 확정짓지 않고 있다가 PBS의 재공상황과 조립라인의 투입실적을 참고하여 동적으로 결정된다.

2.2 자동화의 내용

본연구에서 수행한 연구의 내용은 다음과 같다.

① SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)를 이용한 PBS내 차량의 실시간 감시시스템의 구축.

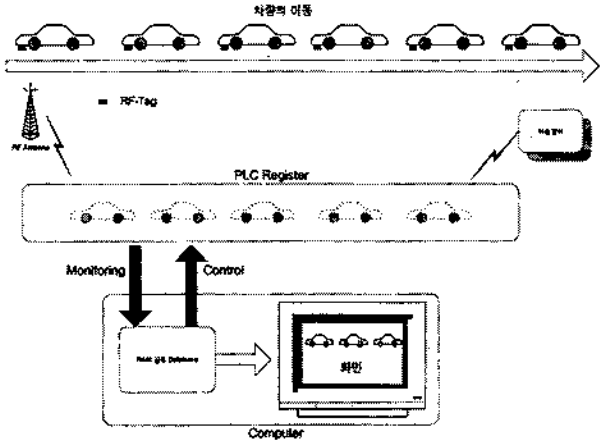
② LAN을 이용한 차량정보의 입수.

③ 최적 투입순서결정을 위한 실시간 動的 투입 알고리즘의 개발.

④ 운영환경 조건의 관리 및 운영을 위한 소프트웨어의 개발.

① SCADA 시스템의 구축:

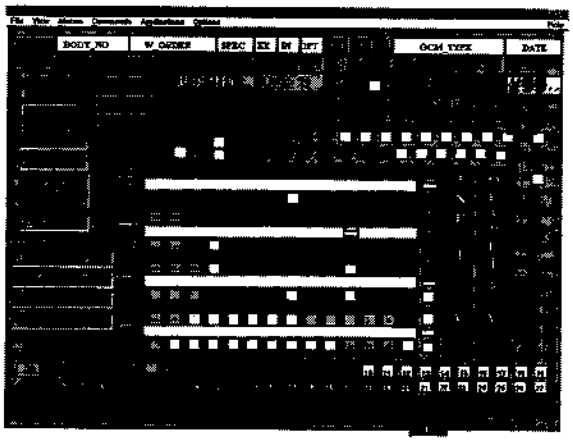
〈그림 2.2〉에 개략적으로 나타낸 바와 같이 SCADA시스템을 통하여 현황정보의 Monitoring과 실시간 제어를 할 수 있다.



〈그림 2.2〉 SCADA를 이용한 Monitoring System의 기본구조

i) Monitoring: PBS내 차량별 위치, 각 영역별 현재공대수, 이송장비의 상태 및 위치를 실시간으로 Monitoring하여 이를 Database로 정리하고 화면에 표시.

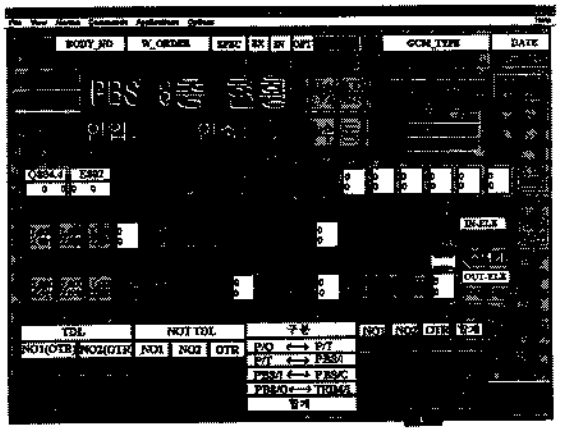
ii) 제어 (Control): 현황정보를 기초로 하여 PBS 운영알고리즘 및 PBS작업자의 지시에 따라 이송장비에 제어지령을 수행.



〈그림 2.3〉 Monitoring화면의 예 (전체화면)

본연구에서는 Intellution사의 SCADA Software인 FIX DMACS [2]를 이용하여 SCADA 시스템을 구축하였다.

〈그림 2.3〉, 〈그림 2.4〉에 SCADA System에 의한 Monitoring화면의 예를 보였다.



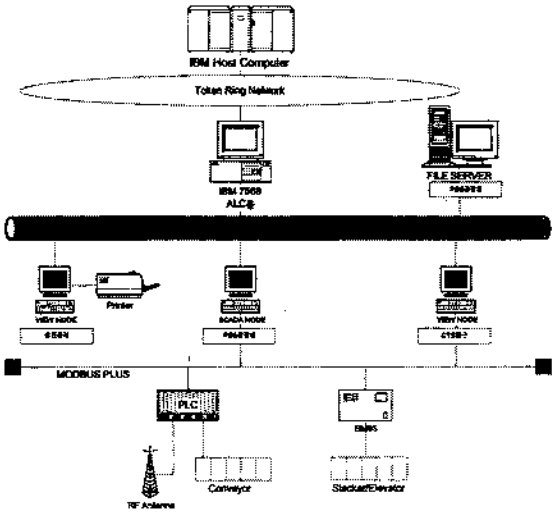
〈그림 2.4〉 Monitoring화면의 예
(3층 및 B800 conveyor 화면)

② LAN 시스템의 구축:

차체가 도장라인으로부터 PBS로 도착하면 이 차량의 세부 정보를 ALC (Assembly Line Control) Computer로부터 Down-load하여 PBS운영시 활용한다. ALC Computer와의 정보교환은 File-server를 통하여 함으로써 정보 교환의 안정성을 높였다. ALC Computer는 조립공장전체의 공정관리를 담당하는 Computer이다. 〈그림 2.5〉에 나타난 바와 같이 PBS운영과 관련된 여러 현장의 Computer의 연결은 Ethernet상의 Novell Netware를 통하여 하였다. 〈그림 2.5〉에서 SCADA Node는 PBS의 PLC를Monitoring한 정보를 Database로 구축하는 기능을 담당하는 Computer를 의미하며 View Node는 SCADA Node의 정보를 조회할 수 있는 기능이 부여된 Computer를 의미한다.

③ 인출 알고리즘의 개발:

위에서 언급한 SCADA와 LAN시스템을 기반으로 하여 조립라인의 생산성을 극대화하기 위한 동적 인출알고리즘을 개발하였다. 목표추적법 (Goal Chasing Method)을 확장하여 개발한 인출



〈그림 2.5〉 LAN시스템

알고리즘을 이용하여 조립라인에서의 부품의 소모량이 평준화되도록 인출순서를 작성하였다. 이 알고리즘에서 고려한 사항으로서는

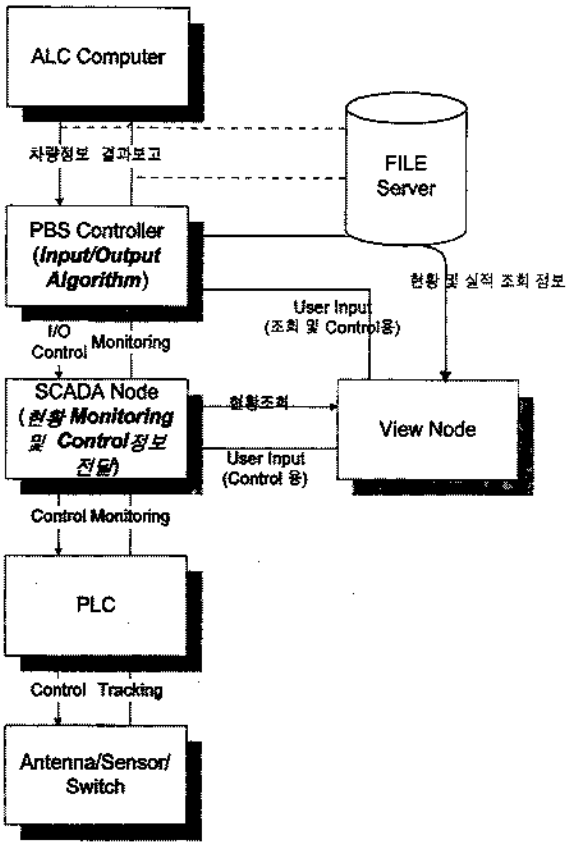
- 조립라인의 조립라인별 생산속도
- 부품소모속도
- 선입선출
- 자재 결품, 불량 등의 이유로 인한 투입보류
- 혼용 투입 차량의 조립라인 배분
- 이송 장비의 상태 등이 있다.

〈그림 2.6〉에 각 계층의 구성요소사이의 정보흐름을 개괄적으로 표시하였다.

④ 운영 소프트웨어의 개발:

PBS의 운영을 위하여 앞에서 언급한 사항들을 종합한 운영소프트웨어를 개발하였다. 이 운영소프트웨어는 Multi-user환경하에서 사용자 편의성이 높게끔 설계되었으며 다음과 같은 모듈들로 구성되어 있다.

- 주프로그램: PBS내 차체의 보관 및 인출의 전체적으로 제어하는 모듈로서 운영 시스템의 핵심.
- 감시(Monitoring) 화면: PBS내의 상황을 동적 화면으로 실시간으로 파악.
- 환경설정: 각 조립라인의 운영환경 (투입가능차종, UPH, CTS재공 최소 및 최대허용대수, 혼용차량의 조립라인별 투입비율, ...)을 설정하는 모듈.



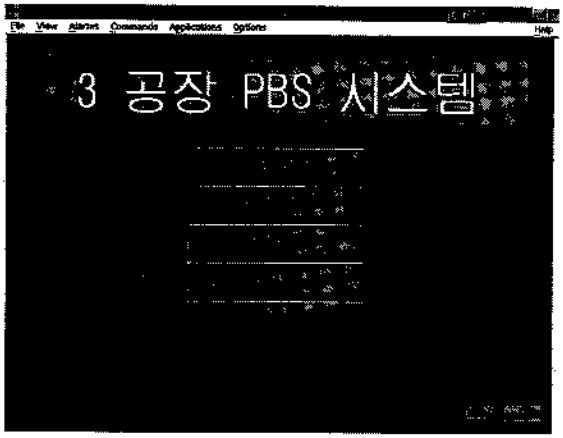
〈그림 2.6〉 각 계층의 구성요소사이의 정보흐름

- 현황조회: PBS내 차체 대수, 인출차체 순서 조회, 인출 실적 조회
- 투입중지: 자재의 결품과 불량, 시험차, 정체불명차 (RF-Tag Read불량으로 인한 차량정보 미등록 차체), ... 등의 이유로 인하여 조립라인에 투입을 보류하여야 할 차체에 대하여 투입보류의 설정, 해제 등을 다루는 모듈.
- 평준화 관리: 평준화 관리 항목과 금지축 항목의 설정을 다루는 모듈.

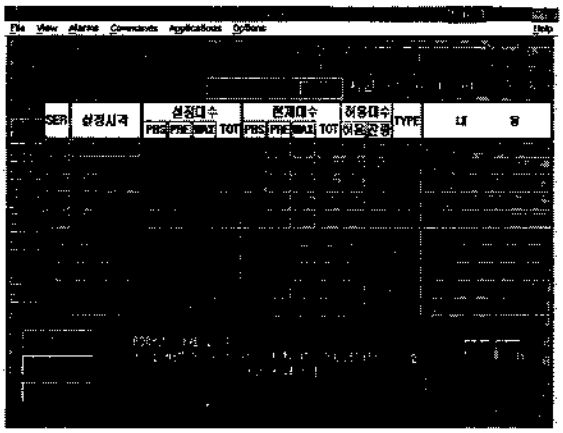
주 Program은 항상 수행되는 반면, 다른 모듈은 사

용자와 대화형식으로 수행된다. 각 모듈은 독립적인 실행File로 작성되어 MS-WINDOWS 3.1하에서 동시에 수행되며, SCADA D/B, 차량D/B 및 각 모듈의 조건D/B를 통하여 정보교환을 한다. 각 모듈의 화면설계는 SCADA 소프트웨어의 Graphic Interface기능[2]을 이용하였고 알고리즘 및 차량D/B와 각종 조건 D/B의 관리 등 화면설계이외의 기능은 Visual C++ 1.5를 이용하여 구현하였다.

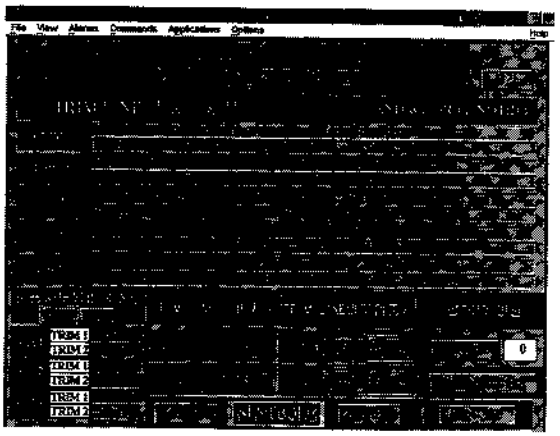
운영소프트웨어의 주요화면을 〈그림 2.7〉~〈그림 2.11〉에 나타내었다.



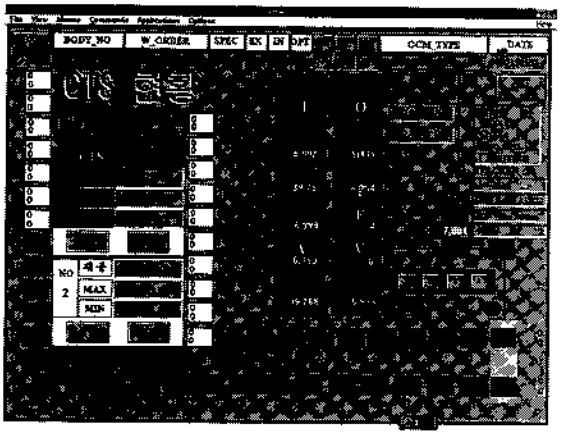
〈그림 2.7〉 운영소프트웨어의 초기화면



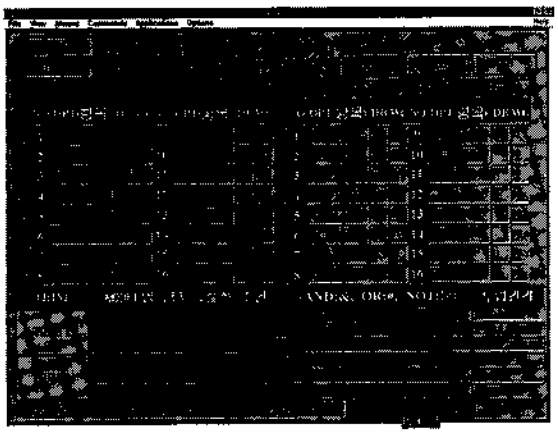
〈그림 2.8〉 투입보류 모듈의 한 화면



〈그림 2.9〉 환경설정 모듈의 한 화면



〈그림 2.10〉 현황조회 모듈의 한 화면



〈그림 2.11〉 평준화관리 모듈의 한 화면

3. 실시간 투입순서 결정을 위한 알고리즘

본 장에서는PBS운영시스템의 제어가능 중의 핵심 내용인 인출알고리즘에 대하여 기술하기로 한다. PBS 운영시스템의 주프로그램에서는 인출알고리즘에 의하여 PBS내에 저장중인 차체중에서 조립라인에서의 부품의 소모량이 평준화되도록 투입순서를 결정한다.

인출순서가 결정된 차체의 List를 TO-DO-LIST (TDL)이라고 부르기로 한다. PBS로부터의 인출은 TDL에 등록된 순서대로 수행이 된다. 인출순서가 결정되면 이 차체를 TDL에 등록하고, 이미 인출된 차체는 TDL에서 제거함으로써, TDL에는 인출순서가 결정된 차체중 미인출차체들만 관리된다.

PBS 인출지점부터 조립라인 투입지점까지의 지역을 CTS라고 부르는데, CTS는 조립라인에의 투입예정 차체들의 Buffer기능을 담당한다. PBS인출관리는 각 CTS내 차체의 대수가 최대치에 이르도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 예를 들어 만약 CTS 1의 차체의 대수(x라고 표기하자)가 CTS 1 최대치(예를 들어 26대라고 하자)보다 적으면 TDL에 등록된 차체중 조립라인 1행 차체가 26-x대가 되도록 TDL에 등록되는 차체의 수를 관리한다.

본 연구에서 채택한 TDL에의 차체등록방식은 한 번에 몇 십대의 차량을 일괄적으로 등록하는 Batch방식이 아니고, CTS에서 조립라인으로 차량이 투입되는대로 TDL에 추가로 등록을 시키는 동적 배정 (Dynamic Dispatching)방식이다. 이 방식을 따르면 정상적인 경우 TDL의 등록대수는 대략 5대 미만이었다. 어느 특정시점에서 다음 번에 TDL에 등록하여야 할 차량 즉 인출차량의 결정은 다음과 같은 논리에 근거하고 있다.

인출대상 라인 t (t=1, 2) 선정:

각 CTS의 재공대수를 확인한다.

CTS의 재공대수와 TDL내 차량대수의 합이 CTS최대치이상인 조립라인은 제외시킨다. 인출대상 조립라인이 1, 2 모두인 경우에는 소진시간이 작은 조립라인에 우선 투입한다.

여기에서 소진시간은 다음과 같이 정의하였다.

조립라인 i의 소진시간= (CTS i의 재공대수 + TDL 내 조립라인 i행 차량대수)/ 조립라인 i의 UPH.

인출대상 조립라인이 하나 이상인 경우에는 다음을 수행한다.

인출가능차량들 M 의 파악:

다음 조건을 모두 만족하는 차량을 이번에 인출가능한 차량으로 규정한다. 이들 인출가능한 차량들의 List를 M이라고 표기한다.

① Stacker가 자동으로 운전중인 층에 속한 차량이면서

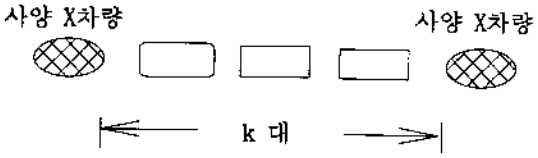
인출차량의 결정 논리 (기본사항):

1) 인출대상 라인 t (t=1, 2) 선정:
   CTS내 재공대수+TDL내 대수가 CTS 최대치이상인 라인은 제외 (투입불가).
   만약 두 라인 모두 투입가능하다면, CTS 재공대수의 소진시간이 작은 라인을 선정한다.
   (Pull Type의 생산방식).
2) 라인 t투입 대상차량 중에서 인출가능차량을 M의 파악
3) 인출차량 선정:
   인출가능차량들 M중에서 인출차량을 선정한다.
   (목표추적법 (Goal Chasing Method)의 확장 응용 (금지측을 고려).)
4) 선정된 차량을 TDL에 등록한다.

② 인출대상 조립라인행 차량이면서
③ 투입보류 차량이 아니면서
④ 금지측위반 차량이 아니면서
⑤ TDL에 이미 등록된 차량이 아닌 차량.

금지측은 조립라인에서의 작업성 제약으로 인하여 특정 사양 차량 투입에 관한 규칙으로 다음의 형태를 취한다.

"사양 X의 차량이 투입된 후에 다시 투입되기까지에는 사양 X가 아닌 차량이 k대 이상 투입되어야 한다."(〈그림 3.1〉 참조.)



〈그림 3.1〉 금지측

금지측설정은 평준화관리 모듈에서 입력가능하다.

금지측위반차량이라고 함은 이 차량이 어느 금지측 항목의 사양을 갖는데 만약 이 차량이 이번에 투입되면 그 금지측에서 지정한 "k"대조건을 만족시키지 못한다는 의미이다.

앞에서 구한 인출대상차량 List M에 하나 이상의 차량이 있으면 List M에 속한 차량중에서 투입사양의 평준화를 잘 하는 차량 하나를 택하여 투입한다. 그러면 인출차량 선정 기준에 대하여 설명하여 보기로 한다.

인출차량 선정:

List M (인출대상차량 List)에 속한 차량중 투입차량 선정시의 고려사항은 다음과 같다.

① 부품소모량의 평준화
② 작업부하의 평준화
③ 선입선출.

부품소모량의 시간당 평준화를 위하여 목표추적법(Goal Chasing Method)를 적용한다. 목표추적법은 Toyota자동차회사에서 일일생산순서계획작성을 위해 개발한 방법이다[1].

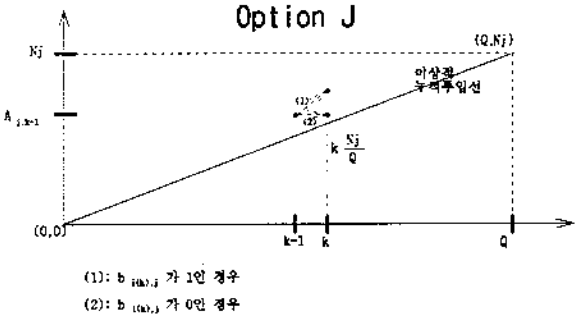
작업부하의 평준화는 부품소모량이 평준화가 이상적으로 되면 별 문제가 없으나 PBS의 상황은 동적으로 변하여 PBS의 재공상태가 일시적으로 불균형화되고 따라서 인출되는 차량의 순서도 작업부하상 부분적인 동락을 초래한다. 작업부하의 평준화를 위하여 금지측항목의 사양차량 투입의 균일화를 시도하였다. 구체적 방법론은 추후 설명한다.

선입선출은 PBS에 먼저 들어온 차량을 먼저 인출한다는 의미이다. 부품소모와 작업부하의 평준화면에서 동일 또는 비슷한 차량이 다수 개일때에는 이중에서 도장라인 인출시각이 먼저인 차량을 우선적으로 투입한다. 반면에 CTS의 재공대수가 부족한 경우에는 이중에서 OUTBED에 가까운 위치의 차량을 투입한다.

목표추적법 (기본형):

목표추적법은 몇가지 사양의 차량의 투입을 시간대별로 평준화하기 위하여 각 사양의 실제 누적투입대수를 이상적 누적투입대수에 가능한 한 근접시킬 수 있도록 투입순서를 결정하는 방법이다. 본 시스템에서는 Toyota의 목표추적법을 변형, 확장하여 사용하였다. 우선 Toyota의 목표추적법[1]을 설명한 후에 본 시스템의 확장된 방법을 설명하기로 한다.

예를 들어 어느 조립라인(조립라인 t라고 하자)에 총 Q대의 차량을 투입하여야 하는데 지금까지 k-1대의 차량이 투입되었다고 하면 k번째 어떠한 차량을 투입하여야 할 것인가를 결정한다고 하자. 평준화 관리 Option이 c개라고 하고 〈그림 3.2〉에 나타난 바와 같이 총 Q개의 차량중에 Option j의 대수가 N_j라고 하자. 또한 k-1개의 투입된 차량들중 Option j 대수가 $A_{j,k-1}$ 대라고 하자. 그러면 Option j의 이상적인 누적 투입곡선은 〈그림 3.2〉에서와 같이 (0,0) 과 (Q,N_j)를 잇는 직선이 될 것이다. 만약 k번째에 Option j인 차량을 투입하면 Option j의 실제 누적투입곡선은 (1)의 방향으로 진행될 것이고 Option j인 차량이 아닌 차량을 투입하면 실제 투적투입곡선을 (2)의 방향으로 진행될 것이다.



〈그림 3.2〉 목표추적법

목표추적법은 k번째 차량 투입시 각 Option의 실제 누적투입대수와 이상적 누적투입대수와의 편차가 가장 작게되는 차량을 선정하여 투입하는 방식이다. 수리적으로 기술하면 다음과 같다.

다음 조건의 차량 i를 선정한다:

$$\underset{i\in M}{minimize} \quad \sum_{j=1}^{c} w_j\left(k\frac{N_j}{Q} - A_{j,k-1} - b_{i(k),j}\right)^2$$

c: 평준화 Option 개수

Q: 조립라인 t행차량 대상차량 수

k: 인출회수

N_j: Q중 Option j 차량대수

$A_{j,k-1}$: k-1번째까지 인출확정된 평준화 Option j 차량대수

$b_{i,j}$: 차량 i가 평준화 Option j제품인 경우1, 아니면 0

w_j: 평준화 Option j의 가중치

여기에서 w_j 는 평준화 Option j의 가중치로서 중요한 Option에 대하여서는 큰 값을 갖는데 본 시스템에서는 사용자가 평준화 관리모듈에서 설정할 수 있도록 되어 있다. 또한 본 시스템에서는 목표추적법의 평준화항목의 개수 c는 조립라인당 최대 16개까지 허용한다.

본 시스템에서 목표추적법 적용시에 변형한 부분은 다음과 같다.

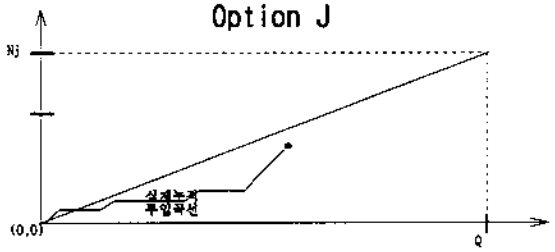
1) 목표추적법 계산대상범위

2) 금지축 고려

목표추적법 계산대상범위:

앞에서 소개한 목표추적법에서는 지금까지 k-1대의 차량이 인출되었을 때에 k번째 인출할 차량을 결정하였는데 이 때에 사용된 '실제 누적투입Option대수'는 지금까지 인출된 k-1대중의 Option대수이었다. 그런데 PBS처럼 재공상황이 동적으로 변화하는 경우에 있어서는 과거에 투입된 모든 차량을 실제 누적투입대수에 포함시킨다면 부분적으로 Option항목의 투입의 평준화를 저해할 수 있다.

예를 들어 〈그림 3.3〉에 보는 바와 같이 Option j의 누적투입대수가 이상적 투입직선보다 모자르게 되면 목표추적법은 특성상 연속적으로 Option j의 차량을 투입하게 되어Option j의 투입대수가 단기적으로는 불



〈그림 3.3〉 목표추적법의 연속투입 현상

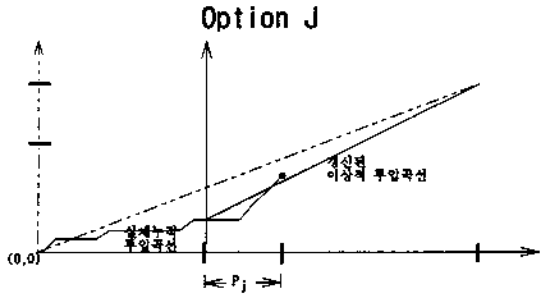
균형화하는 경향이 있다. 이런 경우 과거 투입된 모든 차량을 누적투입대수에 포함하지 않고 일부분만 포함시킬 필요가 있다. 이 대수를 P_j라고 표기하도록 한다.

본시스템에서는 다음과 같이 P_j의 값을 조립라인의 시간당 생산량에 근접하게 설정하였다:

조립라인	P_j
1	50대
2	20대

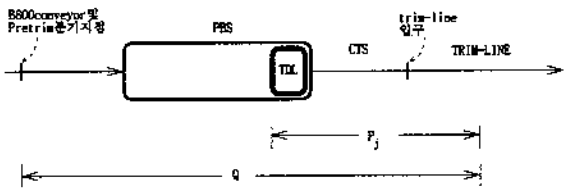
본시스템의 목표추적법에서는 인출순서결정시 P_j대의 과거 투입실적만을 고려하고 〈그림 3.4〉에서 보듯이, 이상적 투입곡선은 과거 P_j대의 투입실적을 고려

하여 구하고 이를 추적하여 가면서 투입순서를 결정한다.



〈그림 3.4〉 목표추적법의 계산대상범위 갱신

위와 같은 동적 목표추적법에서 이용되는 재공대수 범위는 〈그림 3.5〉와 같이 도식화할 수 있다.



〈그림 3.5〉 동적목표추적법의 계산대상범위

여기에서 인출확정차량대수 P_j는 앞에서 서술하였던 바와 같이 TDL및 인출차량일부를 포함하고 있으며 재공대수 Q는 B800 Conveyor 및 Pre-trim분기지점부터 PBS의 모든 차량과 P_j를 포함한다.

그러면 다음 인출차량의 결정은 수리적으로 표현하면 아래와 같다.

다음 조건의 차량 i를 선정한다:

$$\underset{i\in M}{minimize} \quad \sum_{j=1}^{c} w_j\left(P_j\frac{N_j}{Q} - A_{j,P_j} - b_{i,j}\right)^2$$

c: 평준화 Option 개수

Q: 조립라인 t행차량 대상차량 수

P_j: 인출확정차량대수

N_j: Q중 Option j 차량대수

A_{j,P_j}: P_j중 평준화 Option j 차량대수

$b_{i,j}$: 차량 i가 평준화 Option j제품인 경우 1, 아니면 0

w_j: 평준화 Option j의 가중치

금지측:

금지측 x에 대하여 다음의 기호를 정의하자.

L_x: 금지측 x항목의 차량이 마지막으로 투입된 후 금지측 x항목이 아닌 차량이 투입된 회수 (〈그림 3.6〉 참조)

G_x: 금지측 x항목의 차량이 마지막으로 투입된 후 금지측 x항목이 아닌 차량이 투입되어야 할 최소한의 대수

$\delta_{ix} = 0$ 만약 차량 i가 금지측 x항목의 차량이면,

$\delta_{ix} = 1$ 만약 차량 i가 금지측 x항목의 차량이 아니면.

금지측의 관점에서는 다음의 조건을 만족하는 차량이 투입되는 것이 좋다.

다음 조건의 차량 i를 선정한다:

$$\underset{i\in M}{minimize} \quad \sum_{x} (L_x + \delta_{ix} - G_x)^2$$

위의 식에서 $(L_x + \delta_{ix} - G_x)$는 차량 i가 투입된다면 금지측 x의 목표 투입간격과의 실제 투입간격과의 편차를 추정한 값이다.

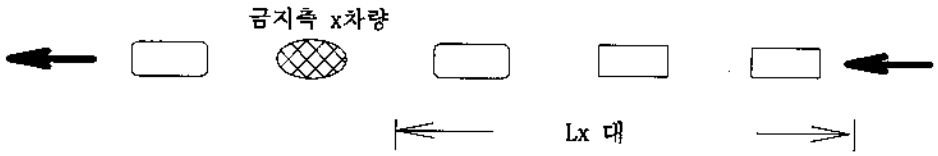
목표추적법 (확장형):

본시스템에서 적용한 인출차량 결정방법은 금지측과 기본형 목표추적법을 합성한 것으로 확장형 목표추적법이라고 부르겠다. 확장형 목표추적법을 구체적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\underset{i\in M}{minimize} \; gcm(i) = \sum_{j=1}^{c} w_j\left(P_j\frac{N_j}{Q} - A_{j,P_j} - b_{ij}\right)^2 + \sum_{x} W(L_x + \delta_{ix} - G_x)^2 - Uu_i$$

여기에서

W: 금지측의 가중치. 본시스템에서는 W=1000으로



〈그림 3.6〉 금지측

설정하였다.

U: 긴급차의 가중치. 본시스템에서는 U=100으로 설정하였다.

(긴급차라고 함은 가급적 빨리 투입하여야 할 차량으로 사용자가 Monitoring화면에서 설정할 수 있다.)

u_i: 차량 i가 긴급차이면 1, 아니면 0.

그밖의 기호는 앞에서 이미 설명하였다. 가중치의 크기는 일반화하기는 어려우나 여기에 제시된 값들은 현장적용 결과 별다른 문제가 없는 것으로 판단되었다.

인출차량의 선정:

$$V = \{ \text{차량 } i \mid M \mid gcm(i) \le 1.1 \min_{k \in M} gcm(k) \}$$

V는 gcm값이 gcm최소값의 110%를 초과하지 않는 차량들을 가르키며 인출될 차량은 V에서 선택한다. 여기에서 10%의 여유범위를 허용한 것은 gcm값이 최소값 근방에 있는 차량중에서 gcm외의 다른 기준에 의하여 차량을 인출하기 위함이다. 투입대상 조립라인의 CTS의 재공이 CTS하한치+CTS여유대수보다 적을 경우에는 V에 속한 차량중에서 OUTBED에 가장 가까운 차량을 선택하고, CTS의 재공이 CTS하한치+CTS여유대수 보다 큰 경우에는 V에 속한 차량중에서 도장라인 인출시각이 가장 빠른 차량을 선택하였다. (참고로 CTS하한치는 사용자가 설정할 수 있으며 CTS여유대수는 조립라인 1은 여유대수=2, 조립라인 2는 여유대수=3으로 하였다.)

4. 적용 효과

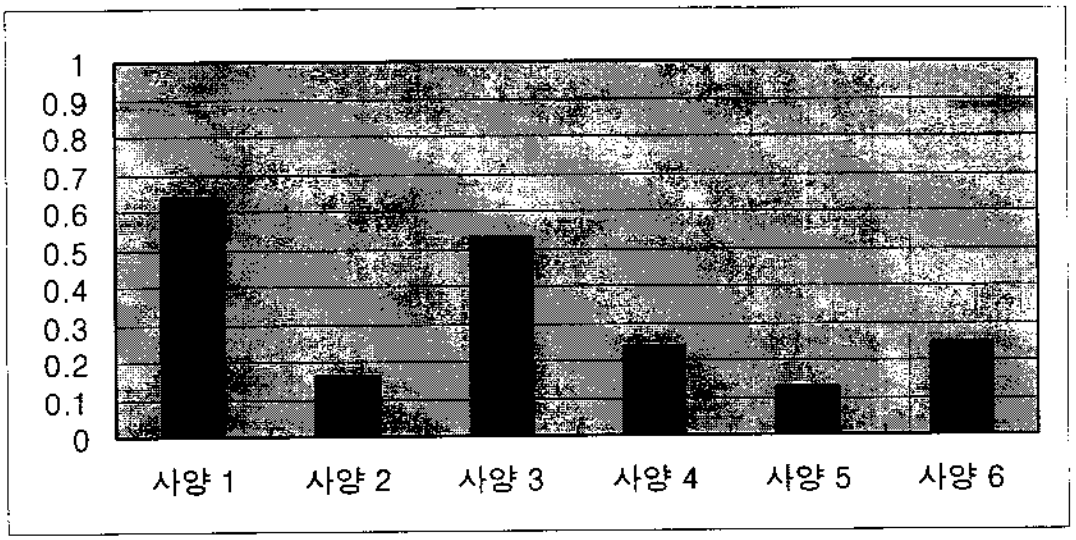
본 연구의 적용결과 다음과 같은 효과들을 얻었다.

① 조립공장의 점상적 가동 가능

본연구의 계기는 H사에서 생산차종의 증가와 수요증대에 따른 설비확장으로 인하여 조립라인이 단일라인에서 복수라인으로 재편성됨에 따라 기존의 PBS운영시스템이 운영불가능하게 되어 새로운 시스템이 필요하게 된 데에 있다. 본 연구에서 개발한PBS운영의 자동화시스템이 성공적으로 운영됨에 따라 조립공장의 가동이 차질없이 진행될 수 있었다.

② 조립라인 부품평준화 정도의 향상

인출알고리즘에 따라 조립라인의 투입을 자동적으로 결정함으로써 조립라인의 주요 사양의 부품소모의 평준화를 기할 수 있었다.그 효과는 경제적으로 정확하게 계산할 수는 없었지만 앞으로 주문사양이 보다 다양화되는 추세이어서 주요 사양의 평준화 투입의 중요성은 더욱 커진다고 볼 수 있다. 〈그림 4.1〉에 주요 사양 6가지에 대하여 PBS에 도착하는 차량들의 도착간격의 표준편차와 PBS인출의 결과 조립라인에 투입되는 차량들의 인출간격의 표준편차의 비율($\frac{\text{사양의 인출간격의 표준편차}}{\text{사양의 인입간격의 표준편차}}$)을 구하여 나타내었다. 사양의 인입간격은 도장라인으로부터 PBS에 도착하는 차체중 해당사양을 만족하는 차체의 도착 간격(대수)를 말하며 사양의 인출간격은 PBS 운영시스템에 의하여 인출되어 조립라인에 투입되는 차체중 해당사양을 만족하는 차체의 인출 간격(대수)를 말한다. 간격의 표준편차가 작을 수록 평준화가 잘 되어있다고 볼 수 있다. 〈그림 4.1〉에서 알 수 있듯이 PBS의 인출알고리즘의 적용 결과 주요 사양의 인출간격 표준편차가 인입간격 표준편차의 12%~63%정



〈그림 4.1〉 PBS이전과 이후의 평준화 수준 비교 $\left(\frac{\text{사양의 인출간격의 표준편차}}{\text{사양의 인입간격의 표준편차}}\right)$

도로 나타났고 이는 PBS운영시스템이 조립라인의 부품소모량의 평준화에 기여하고 있음을 보여주고 있다.

③ Multi-user 사용가능

개발된 운영시스템은 Multi-user환경에서 사용이 가능하도록 설계되어 있어서 PBS의 현장사무실에서 뿐만 아니라 생산관리 사무실에서 PBS의 현황을 Monitoring할 수 있고 필요시 PBS제어를 위하여 설정을 할 수 있다. 이전에는 생산관리 사무실에 PBS의 현황을 파악하기 위하여서는 전화를 하거나 직접 가서 확인하여야 했는데 이에 따른 낭비를 없앨 수 있었다. 앞으로도 PBS의 현황파악이 필요한 곳에는 View Node만 추가하면 되도록 되어 있다.

④ 자동화율의 향상

PBS내의 관리인원들은 투입보류 설정 또는 해제시의 표시나 차량인출 관리의 업무를 하고 있었는데 PBS 작업장의 환경이 쾌적하지 못 한 편이었다. PBS 운영시스템의 자동화를 통하여 PBS내의 관리인원 2명이 불필요하게 되어 이들을 조립라인으로 투입하였다.

⑤ 기존 및 신규공장에 확대적용

본 시스템의 개발이 성공적으로 완료됨에 따라 기술력을 인정받아 그 이후에 타 공장의 PBS에도 자동화가 추진되어 성공적으로 완료되었고 신규공장에도 적용예정으로 개발중에 있다.

5. 요약 및 결론

자동차 조립공장의 생산은 흔류생산의 대표적인 형태로서 동일한 조립라인에서 다양한 사양의 차량들을 Batch생산이 아니라 각 사양의 생산량이 평준화되도록 생산을 하는 것이 특징이다. 조립라인의 어느 공정에서 조립시간이 많이 소요되는 사양은 가능한 한 평준화되어 투입되어야만 조립라인의 편성효율을 극대화하고 부품공급 측면에서도 부하가 평준화될 수 있어서, 평준화된 순서로 투입하는 것이 조립공장 전체의 생산성면에서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 그런데 도장라인에서 생산완료된 순서는 흔류조립라인에서의 평준화 생산에 적합하지 않은 상태이므로 조립라인에의 투입순서를 재작성하여 제어하여야 한다.

본논문에서는 조립라인의 실시간 투입순서 작성 및 운영 시스템을 자동화하여 성공적으로 운영한 사례를 소개하였다. SCADA (Supervisory Control and Data

Acquisition)소프트웨어와 LAN을 이용하여 PBS내 차량의 실시간 감시시스템을 구축하고, 실시간 투입순서결정을 위한 動的 투입 알고리즘의 개발하였다. 동적 투입 알고리즘은 기존의 목표추적법을 확장하여 목표추적법의 계산대상범위를 동적으로 갱신하며 또한 금지측의 개념을 포함하고 있다. PBS 전후의 차체의 순서를 비교한 결과 동적투입알고리즘은 조립라인의 부품소모량의 평준화에 기여하고 있음을 알았다. 또한 PBS의 효율적 운영을 위하여 Multi-User환경하에의 운영소프트웨어를 개발하였다. 이 시스템을 개발함으로써 조립라인 부품평준화 정도의 향상, Client/Server기술을 이용한 정보기술활용도의 향상, 자동화를 통한 省力化의 효과를 얻을 수 있었으며 본 시스템의 개발을 통하여 얻은 기술과 지식을 타 공장에도 확대 적용할 수 있었다.

【참고문헌】

[1] Monden, Y., Toyota Production System, 2nd ed., Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia, USA, 1993.

[2] Intellution, FIX DMACS GUI For MS-Windows, Version 4.0, Intellution, Inc., Norwood, MA, USA, 1993.

최원준

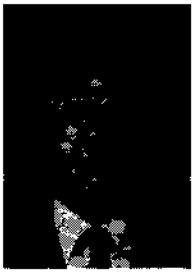
1977 서울대학교 경영학과 (경영학사)

1979 한국과학기술원 산업공학과 (공학석사)

1987 University of Florida (공학박사)

현재 울산대학교 산업공학과 교수

관심분야: 생산일정계획, 물류시스템, 시뮬레이션



박혜규

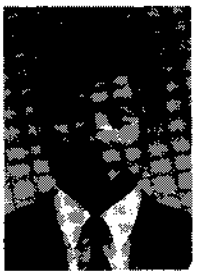
1977 서울대학교 경영학과 (경영학사)

1979 한국과학기술원 산업공학과 (공학석사)

1990 University of Pennsylvania (경영학박사)

현재 울산대학교 경영학과 부교수

관심분야: 생산일정 및 통제, 일정계획



신현오

학력: 서울대학교 공과대학 기계공학과

경력: 현대자동차 근무중

관심분야: ROBOT, COMPUTER 및 자동제어를 응용한 공장자동화 부문