

## 사고 프로세스와 시뮬레이션 기법 기반의 저임금국가에 적합한 변속기 기어가공라인의 설계

박홍석\*, 박진우\*\*, 최홍원\*\*\*

### Design of Transmission Gear Machining Line for Developing Countries Based on Thinking Process and Simulation Method

Hong-Seok Park\*, Jin-Woo Park\*\* and Hung-Won Choi\*\*\*

#### ABSTRACT

Nowadays, automobile manufacturers are faced with increasing global competition which is required low cost as well as high quality. To reduce shipping and handling cost and delivery time, lots of automobile manufactures tried to build their new factory in the neighborhood of market. Simultaneously, many factories are under construction in developing countries to make efficient use of low-wage workers. However, because systems are installed in developing countries as the same type of domestic facilities, systems have lots of problems such as high installation cost and inefficient use of manpower. To find core problems and generate optimal solution of these problems, thinking process of TOC(Theory Of Constrains) is used. In case of transmission gear machining system, semi-auto system is proposed as the best solution to increase manpower efficiency and system utilization. Semi-auto system consists of automatic machining process and manual transporting process. The system layout is generated based on semi-auto process concept. And, 3D simulation method using QUEST is used to verify production volume of generated system.

**Key words** : Digital manufacturing, Simulation method, Thinking process, Transmission gear machining system

#### 1. 서 론

우리나라에서 자동차 산업은 조선 산업과 더불어 국가 근간을 이루는 핵심적인 제조분야이다. 각종 보고서에 따르면 우리나라는 2010년 기준으로 생산량은 415만대로 세계 총 생산량의 7%를 차지하여 세계 5위를 유지하고 있다. 또한, 2015년까지 760만대를 생산하여 세계 4대 자동차 생산국가에 진입하는 계획을 내놓고 있다<sup>[1]</sup>.

하지만 오늘날의 제조업은 높은 품질은 물론 저렴한 공급가격을 요구하는 경쟁적인 시장 환경을 맞이

하고 있다. 이러한 이유로 대부분의 자동차 제조업체들은 제품의 신속한 배달과 운송비 절감을 위하여 실제로 판매가 이루어지는 현지에 가공 및 조립시스템을 구축하고 있다<sup>[2]</sup>. 20세기 후반부터 우리나라 자동차 조립업체들도 북미, 유럽, 중동 및 아시아 시장을 대상으로 미국, 중국, 터키, 중국, 인도 등에 진출하여 제품을 생산하고 있다. 특히 국내와 비교하여 월등하게 인건비가 적게 요구되는 중국, 인도 등의 개발도상국가들로의 진출을 확대해 나가고 있는 실정이다.

하지만 해외 진출 초기에는 해당 국가의 제조환경을 충분히 고려하지 못하고 단지 국내의 시스템을 그대로 옮겨 놓는 실정이었다. 국내의 경우에는 비교적 높은 인건비로 인하여 완전 자동화 시스템이 경제적이지만 주로 자동차 제조업체들이 진출하여 있는 개발도상국의 경우에는 인건비가 저렴한 것이 특징이다. 또한 개발도상국으로의 진출 제약조건으로 현지 작업자들을 의무적으로 일정 수준이상 고용하여야만

\*교신저자, 중신회원, 울산대학교 기계공학부  
\*\*학생회원, 울산대학교 대학원 기계자동차공학과  
\*\*\*비회원, 울산대학교 대학원 기계자동차공학과  
- 논문투고일: 2010. 12. 28  
- 논문수정일: 2011. 02. 23  
- 심사완료일: 2011. 02. 27

한다. 이로 인하여 국내와 같은 완전 자동화 시스템은 불필요한 초기 투자비를 요구할 뿐만 아니라 작업자들을 활용 측면에 있어서도 효과적이지 못한 실정이다.

본 논문에서는 차체 변속기 기어 가공시스템을 대상으로 제약이론(TOC; Theory Of Constraints)의 사고프로세스(Thinking Process)<sup>[4,5]</sup>와 디지털제조기술<sup>[6-10]</sup>의 시뮬레이션 기법을 이용하여 기존 시스템의 문제점 노출 및 대체해를 제안하였다. 이를 기반으로 제안된 가공 시스템이 요구되는 생산량을 충족시키는지를 검증하기 위해서 디지털 제조기술 기반의 물류 시뮬레이션 기법을 적용하여 시스템의 타당성을 증명하였다. Fig. 1에서 국내의 자동화 시스템의 분석을 통하여 저임금의 개발도상국의 환경에 적합한 변속기 가공시스템을 구현하기 위한 절차를 나타내었다.

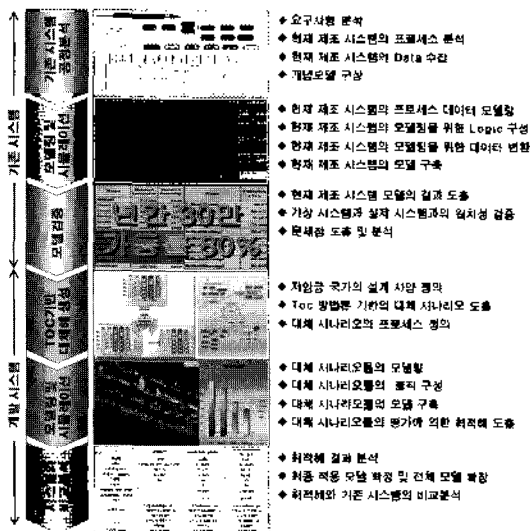


Fig. 1. Procedure for development of manufacturing system using thinking process and simulation method.

## 2. 기존 시스템의 분석을 통한 모델 생성 및 공정 시뮬레이션

### 2.1 기존 시스템의 분석

시뮬레이션 기법의 타당성 입증과 기존 시스템에서 문제점을 파악하기 위해서 국내에 설치되어 운영되고 있는 변속기 가공시스템을 기반으로 공정정보들을 수집하고 분석하였다.

자동차 변속기 기어 가공시스템에서는 3종의 Output

speed gear, 5종의 Input speed gear, Input shaft, Output shaft, Reverse gear와 Differential drive gear의 12가지 부품들이 2명의 작업자에 의해서 제조되고 있다. 이러한 이유로 기어 가공시스템은 대부분 절삭 공정으로 구성되어 있다. 그 중에서 본 논문의 연구 대상인 5종의 Input speed gear 가공 라인들은 각각 호빙(Hobbing), 디버링(Deburring), 셰이빙(Shaving), 세척 및 프레스(W & P: Washing & Pressing), 용접(EBW: Electron Beam Welding)으로 구성된 5개의 직렬 자동화 라인으로 이루어져 있다. 또한, 가공시스템의 단위 공정들의 사이클 타임은 42 sec로 주어졌 있으며, 이들 변속기 가공 시스템에서는 2종 이상의 변속기 부품을 제조하고 있기 때문에 주기적인 공구와 치공구의 변경이 수행된다. 이러한 제약적인 공정 시간들을 제외한 연간 작업시간을 이용하여 가공시스템은 연간 30만 개의 생산능력을 갖추고 있다.

5종의 Input speed gear의 가공공정순서와 각각의 공정에서 수행되는 가공시간은 Fig. 2에 나타내었다.

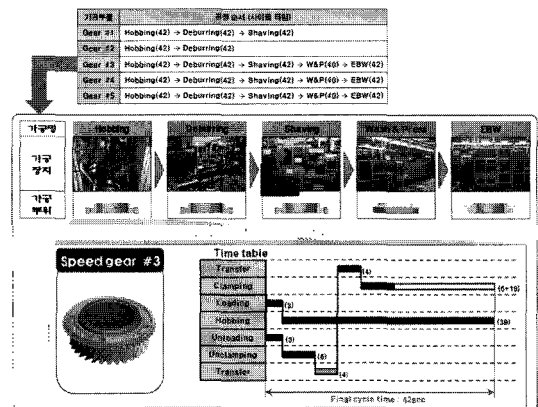


Fig. 2. Process sequence and cycle time of each gear in existing system (case of speed gear #3 machining process).

### 2.2 기존 시스템의 공정 시뮬레이션

가상 시뮬레이션은 제조시스템의 물리적, 논리적 구성요소들과 거동의 엄밀한 모델링을 통하여 통합된 모델을 구성하고, 컴퓨터, 네트워크, DB 등의 여러 가지 IT 기술들을 활용하여 제품 라이프 사이클 전반에 관련된 여러 부분에서의 의사결정과 제어를 수행함으로써 신속하고 효율적인 제조시스템을 구현하고자 하는 기술이다. 시스템분석을 통해 획득된 하드웨어 정보들을 기반으로 시스템 구성요소들과 제품들을 모델링하였다.

물류 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 공정분석을 통해 획득된 물류 흐름과 사이클 타임을 이용하여 가상 물류시뮬레이션을 위한 로직(logic)이 요구된다. 이를 위해서 DASSAULT사 QUEST<sup>TM</sup>의 고유언어인 SCL(Simulation Control Language)를 이용하였다. 또한 각 라인에 위치한 설비들의 고장주기 및 수리시간, 공기교환주기 및 시간, 작업자가 제품의 운반 및 적재하는데 걸리는 시간과 적재량, 설비를 고치기 위해 필요한 소요시간 등을 실제 제조업체로부터 획득한 정보는 물론 실제 측정을 통하여 확률 분포함수를 생성하고 이를 이용하였다.

이미 구현된 3D 모델링으로 구현된 하드웨어정보들과 정의된 물류흐름정보를 이용하여 가상의 QUEST 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 신뢰성 향상을 위해서 작업시간을 30일로 하여 10회 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과로 획득된 가상 제조시스템의 생산량, 기계의 평균 가동률 및 작업자들의 활용률들은 실제 시스템의 결과 값들과 비교를 수행하였다. 결과 비교에 따르면 가상 제조시스템이 현재 기존의 제조시스템보다 생산량측면에서 조금 높으며 그에 따라 기계 가동률이 조금 높게 나타났다. 반면에 작업자의 효율은 70.43%로 실제 시스템보다 저조하게 나타났다. 이것은 작업자의 숙련도와 설비를 고치는 시간등과 같은 시뮬레이션에서는 표현하기 힘든 부분이 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 시뮬레이션 결과와 실제 시스템에서의 조사된 값들의 차이는 3% 이내이므로 가상환경에서 구현된 제조시스템은 충분히 실제 제조시스템을 대변할 수 있음을 증명하였다(Fig. 3).

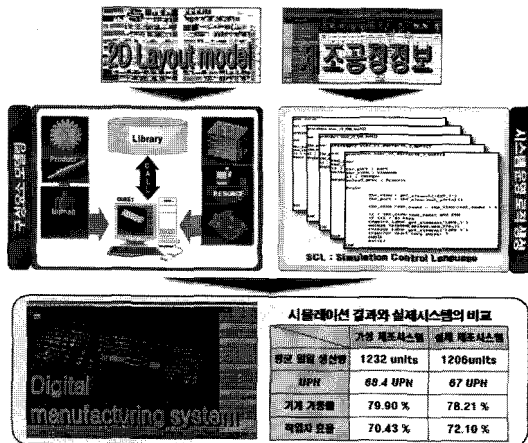


Fig. 3. System configuration and flow simulation of existing system in virtual environment.

### 3. 사고 프로세서를 이용한 문제점 도출 및 해결 방안 제안

계약이론은 E. M. Goldratt에 의해 개발된 경영 과학으로 전체 시스템의 성능을 결정짓는 시스템의 제약을 찾아내고 이를 해결함으로써 전체 시스템의 성능을 향상시키는 방법론이다<sup>[13]</sup>. 이러한 시스템 제약을 해결하기 위해서 다양한 제약이론의 방법들이 제안되어 왔다. 그 중에서도 사고 프로세서는 5가지의 논리적 트리 다이어그램(Logical tree diagram)을 사용하여 시스템의 근본적인 문제를 도출하고 이를 기반으로 제약조건을 해결하기 위한 해를 제안한다. 사고 프로세서는 CRT(Current Reality Tree), EC(Evaporating Cloud), FRT(Future Reality Tree), PT(Prerequisite Tree), TT(Transition Tree)의 5가지 논리적 트리 다이어그램으로 구성된다. CRT에서는 현재 시스템의 핵심적인 문제를 도출하고, EC에서는 핵심문제의 근본원인이 되는 갈등들을 파악하고 이를 해결하기 위한 방안들을 제시한다. FRT에서는 EC에서 획득된 해결 방안들을 현실적으로 구체화하기 위한 대체해를 제안한다. PT에서는 대체해를 실현하기 위한 구체적인 중간목표들을 제안하고, TT에서는 최종 해결 목표를 수행하기 위한 상세계획을 수립하게 된다.

#### 3.1 CRT(Current reality tree) 다이어그램

CRT에서는 시스템 내에 존재하는 다수의 UDE(Undesirable effect)들의 목록을 만들고 이들을 인과관계로 연결함으로써 시스템 내에 존재하는 대부분의 UDE들을 하나의 공통 원인으로 규명하고자 한다.

개발도상국에 설치된 기존의 자동화 변속기기가 가

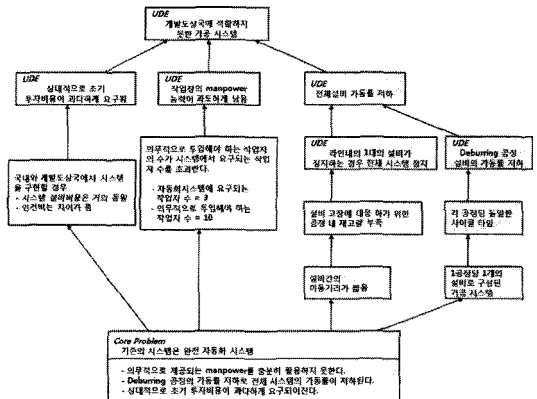


Fig. 4. CRT diagram to find problems of existing gear machining system.

공시스템을 대상으로 CRT 다이어그램을 작성하고 문제점을 도출하였다. 도출된 UDE들은 ‘상대적으로 초기 투자비용이 과도하게 요구됨’, ‘작업자들 작업능력이 과도하게 낮음’, ‘전체 시스템의 가동률 저하’ 등으로 나타났다. 이들 간의 인과관계 정의를 통하여 기존 시스템이 완전 자동화로 구성되어 있기 때문에 ‘작업자들의 활용 불충분’ 및 ‘Deburring 공정의 가동률 저하’를 야기시키는 것으로 나타났다. 즉, 주어진 시스템이 완전 자동화로 수행되는 것이 문제점을 발생시키는 핵심 문제점(Core problem)인 것으로 나타났다 (Fig. 4).

3.2 EC(Evaporation cloud) 다이어그램

CRT를 이용하여 근본적인 문제를 찾아냈다고 해도 핵심 문제를 이루고 있는 문제들이 상호 연관되어 있기 때문에 해결책을 제시하는 것은 쉽지 않다. EC에서는 문제들의 근본 원인인 잠재적 갈등을 발견하고 이를 해소하기 위한 해결책을 제안하게 된다.

우선 CRT의 근본 문제의 반대 상황이 EC의 공통 목표(Objective)가 된다. 즉, ‘의무적으로 주어지는 작업자들을 충분히 활용하는 시스템’과 ‘Deburring공정의 가동률 향상으로 전체시스템 가동률 향상’이 공통 목표가 된다. 그리고 난 후에 공통목표를 달성하기 위해서 요구되는 조건들(Requirement)을 도출하게 된다. 기어가공 시스템의 경우에는 작업자들의 활용 극대화를 위한 수작업기반 시스템과 기존의 지식활용을 위한 완전 자동화 시스템이 요구된다.

이들 두 요구조건을 충족시키기 위한 해결책(Injection)으로 자동화 비용 조절이 도출되었다. 즉, 기존 경험을 충분히 살리기 위해서 가공단위공정은 자동화로 진행하고 단위 공정간의 이송은 수작업으로 수행하는 것이며 이러한 형식을 semi-auto 형식이라 칭할 수 있다. 이를 통하여 충분한 작업자들의 활용과

단위 공정의 가동률 향상을 기대할 수 있을 뿐만 아니라 기존 자동화 시스템의 경험도 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 FRT(Future reality tree) 다이어그램

EC에서 도출된 해결책을 실행에 옮기기 전에 이 해결책이 현재의 상황을 개선시킬 바람직한 해결책인가를 확인하는 과정이 필요하게 된다.

FRT에서는 EC에서 도출된 해결책을 수행했을 경우, CRT의 UDF들이 DE(Desirable Effect)로 변화되는가에 대한 인과관계를 검토하는데 사용된다. Fig. 5의 EC에서 도출된 ‘반자동화 가공 시스템’이라는 해결책을 Fig. 4의 CRT에 주입함으로써 FRT를 작성하였다(Fig. 6). 그 결과, CRT에서 ‘투자비용 과다’, ‘작업자들의 활용 부적절’, ‘전체 시스템 가동률 저하’ 등과 같은 UDE들이 모두 DE로 변화되는 것을 확인할 수 있다.

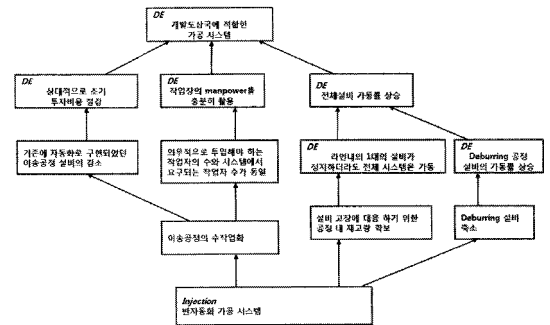


Fig. 6. FRT diagram to solve initial problems.

3.4 PT(Prerequisite tree)와 TT(Transition tree) 다이어그램

PT는 FRT에서 제안된 해결책을 수행하는 과정에서 실행에 방해가 되는 장애(Obstacle)를 찾기 위한 다이어그램이다. 즉, 장애를 찾고 이를 극복하기 위한 중간목표(Interim Objective)를 수립하는 것이다. TT는 PT에서 수립한 중간 목표들을 어떻게 실행에 옮길 것인가, 즉 장애를 극복하기 위한 구체적인 실행 계획을 보여준다.

Fig. 7은 PT에서 도출된 장애들이 해결을 위한 수행 방법을 나타내는 TT와 결합된 diagram이다. PT에서 제안된 장애(Obstacle)들과 장애 해결을 위한 수행(Action) 항목을 나타내고 있다. 요구되는 단위 공정 설비의 수 및 배치, 라인 밸런싱, 버퍼 결정 등의 초기 중간 목표들을 달성하는 데 있어 발생하는 작업자들의 동선, 고장 빈도 증증, 공정별 설비 배치 등과

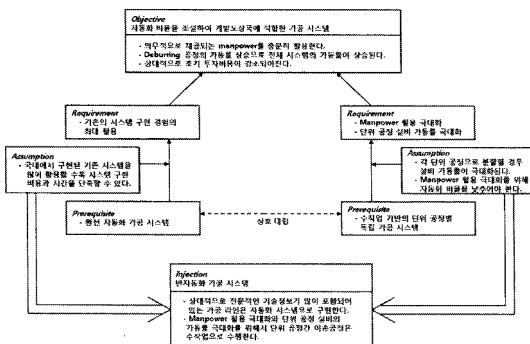


Fig. 5. EC diagram to find injection of problems.

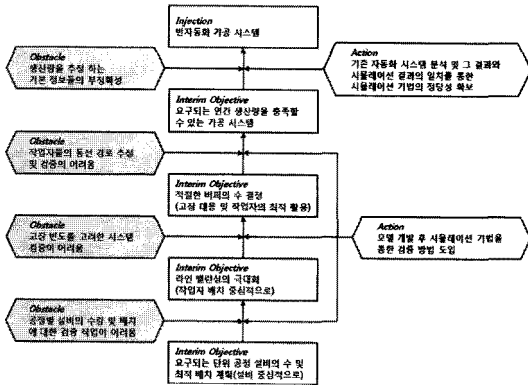


Fig. 7. PT and TT diagram.

같은 장애들은 모델 개발 후 시뮬레이션 기법을 활용하여 해결할 수 있으며, 이어지는 연간 생산량 충족을 위한 시스템 조건을 만족시키는 데에 있어 발생하는 생산량 추정 기본 정보들의 부정확성 등과 같은 장애는 기존 자동화 시스템의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 정당성을 확보할 수 있다. 이러한 단계별 장애 도출 및 중간 목표 달성을 위한 실행 사항들이 결합하여 최종 목표인 반자동화 가공 시스템 구현이 가능해진다.

### 4. 저임금 국가에 적합한 변속기 기어 가공 시스템 구현

#### 4.1 시스템의 요구조건 도출

본 논문에서 수행된 사코프로세서로부터 저임금 국가에 적합한 제조시스템은 자동화 가공과 작업자를 이용한 수동 이송으로 수행되어지는 semi-auto 형태의 가공시스템으로 결정되었다. 제안되어진 가공시스템은 연간 30만대 생산능력을 갖추어야 함과 동시에 의무적으로 10명의 현지 노동자를 고용하여야 한다. 현재 저임금국의 상황을 고려하여 불량률을 1/10,000개로 선정하였고, 이를 기반으로 연간 생산량 30만 EA/year을 달성하기 위한 목표생산량을 아래와 같이 산정하였다.

$$\begin{aligned} \text{연간목표생산량} &= 300,000\text{EA/year} \times (1 + 0.0001) \\ &= 300,030\text{EA/year} \end{aligned} \quad (1)$$

또한, 연간 근무시수를 고려하여 제품의 요구되는 사이클 타임을 산출하였다. 대상 저임금국가 작업장의 근무시수는 연간 250일, 1일 9시간씩 2교대 근무를 수행하고 있다. 그러므로 변속기기어 제조를 위해

허용되어지는 cycle time은 아래와 같이 약 54 sec로 결정되어진다.

$$T_c = \frac{250\text{day} \times 9\text{hour} \times 2\text{time} \times 3600\text{sec}}{300,030\text{EA}} = 53.99\text{sec} \quad (2)$$

그러므로 기존의 자동화시스템에서의 설비와 공정 정보들을 이용한 경우의 사이클 타임인 42초를 적용하면 충분한 생산량을 확보할 수 있다.

### 4.2 시스템의 개념설계

#### 4.2.1 가공 설비의 배치 계획

기존 자동화 시스템의 시스템 가동률은 시뮬레이션 결과 79.9%이었다(Fig. 1). 이는 연간 목표생산량인 30만EA/year를 만족하는 결과이지만 Deburring 공정설비의 가동률이 66.8%로서 효과적인 라인 밸런싱을 유지하지 못하였다. 이로 인하여 Deburring 공정설비는 다른 설비에 비하여 1일 평균 1시간 10분 정도의 유실 시간이 더 발생하였다. 이러한 문제는 CRT diagram에서의 주요 분체사항들중의 하나로 정의되었으며, FRT diagram에서는 Deburring 공정설비 수의 축소가 전체 시스템 가동률 향상을 위한 해결 방법이라고 제안되었다. 최적의 라인 밸런싱을 유지하기 위한 적절한 공정설비의 수는 식 (3)으로 얻어질 수 있다. 전체 목표생산량을 고려한 1일당 변속기 생산량은 1200EA가 된다. 변속기 1개당 5개의 기어(#1~#5)가 요구되기 때문에 각 가공공정에서 수행되는 1일 제품 가공량은 6000EA가 된다. Table 1은 공정설비수를 결정하기 위한 조건들을 조사한 것이다.

Table 1. Data to determine optimal numbers of each machine

Hobbing machine		Deburring machine	
1일 생산량	6000 EA	1일 생산량	6000 EA
Cycle time	42 sec	Cycle time	35 sec
Type change	2회	Type change	4회
Type change time	1200 sec	Type change time	1200 sec
Tool change	4회	Tool change	4회
Tool change time	600 sec	Tool change time	600 sec

주어진 조건들을 기반으로 연간 생산량을 달성하기 위한 가공설비들의 수를 식 (3)에서 결정하였다.

$$n = \frac{WL}{PT} \dots \frac{\sum Q T_c}{PT} \quad (3)$$

$$n_{Hobbing} = \frac{6000EA \times 42 \text{sec}/EA}{(64800 - 2 \times 1200 - 4 \times 600) \text{sec}} = 4.20$$

$$n_{Deburring} = \frac{6000EA \times 35 \text{sec}/EA}{(64800 - 4 \times 1200 - 4 \times 600) \text{sec}} = 3.65$$

*n*: 설비 수, *WL*: 작업 시간, *PT*: 설비가용시간  
*Q*: 일정기간 생산량, *T<sub>c</sub>*: 사이클타임

1일 생산에 요구되는 시간을 허용되는 작업시간으로 나눈 결과 42초의 사이클 타임을 가지는 Hobbing 공정설비는 5대가 요구되고, 35초의 사이클 타임을 가지는 Deburring 공정설비는 4대가 요구되었다.

이에 따라 우선 기존의 자동화시스템 내에서 1개의 Deburring 공정설비를 제거하였다. 이로 인하여 5대의 설비를 이용하여 Hobbing 공정을 마친 가공품들을 4대의 Deburring 공정설비로 가공하기 위해서 합리적인 분배가 요구된다. 효과적인 분배를 위하여 Type change의 최소화, 공정 수가 많은 가공품을 우선 분배, 물류 흐름의 간소화를 기본조건으로 하였다. 이를 기반으로 도출된 물류흐름 방식은 기본적으로 직렬 이동형태를 유지하면서 Deburring 공정에서만 2가지 제품을 혼류 가공하는 방식이다.

첫 번째 Hobbing 설비에서는 해당 기어마다 전용설비로 가공하고, Deburring 공정에서만 범용설비를 이용하여 #1과 #2, #2와 #3, #3과 #4, #4와 #5의 gear를 가공하도록 하였다. 이때 공정 계획에 의해 한 가지 사양의 제품을 일정 개수 가공하면 Type change를 통해 다른 사양의 제품을 가공하도록 한다. 즉, 첫 번째 Deburring 설비(D1)의 경우에는 하루에 #1을 1200개, #2를 300개를 가공하게 된다. 이와 같은 방식으로 가공 시스템의 개념설계 레이아웃을 구성하였다 (Fig. 8).

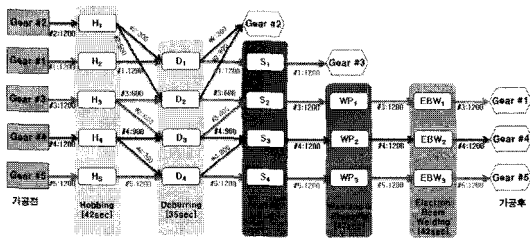


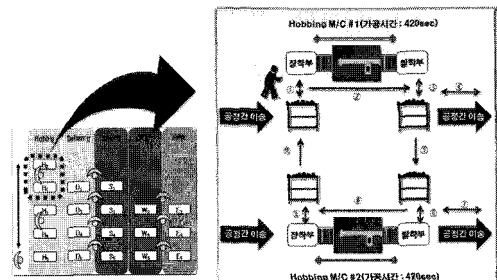
Fig. 8. Configuration of concept layout for gear machining system.

4.2.2 작업자의 배치 계획

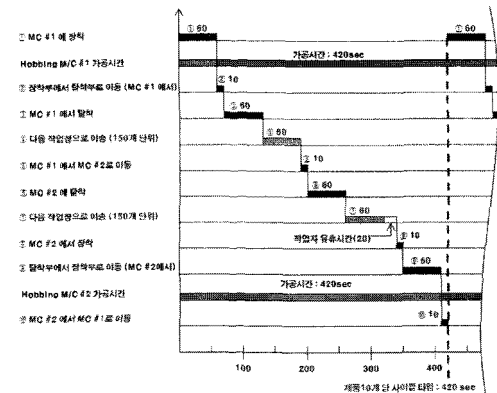
가공시스템에서는 의무적으로 10명의 작업자를 고용해야하기 때문에 선채 설비의 수가 19대임을 고려하여 1명의 작업자가 약 2대의 설비에 제품을 공급 및 회수하도록 하였다. 이를 위하여 현장 작업자의 작업 및 이동 속력을 측정하여 작업자의 작업시간과 작업동선을 설정하였다.

또한 작업자가 한번에 1개 단위로 제품을 공급 및 회수하는 경우에는 설비간의 이동시간이 가공시간과 동기화되지 않아 설비들의 유휴시간이 증가하게 되고 이로 인하여 생산량이 감소하였다. 따라서 semi-auto 이동방식의 시스템에서는 설비의 유휴시간을 제거하기 위해서 작업자가 한번에 10개 단위로 제품을 설비에 공급 및 회수하고자 하였다. 이를 통하여 작업자의 모든 작업시간은 설비의 투입 및 가공시간과 동기화가 이루어졌다.

Fig. 9는 작업자의 배치와 이들의 작업순서 및 작업시간을 나타낸 것이다. 작업자들은 설비가 운영되고 있는 동안 10개 단위로 가공물들을 설비에 공급 및 회수하게 된다. 또한, 150개 단위로 가공품들을 다음 설비로 이동하게 된다.



(a) Determination of position and path way for working



(b) Time chart for Worker

Fig. 9. Planning for arrangement of workers.

## 5. 물류 시뮬레이션 수행 및 결과

개념설계에서 도출된 조건으로 Quest의 가상환경에서 시스템을 구현하고, warm up 기간을 포함한 30일을 작업조건으로 시뮬레이션을 수행하였다(Fig. 10). 결과 값의 신뢰도를 향상시키기 위해서 10회에 걸쳐 시뮬레이션을 수행하였다. 1일 평균 생산량과 설비의 가동률, 작업자 효율, 초기투자비용등을 새롭게 구현된 시스템을 평가하는 중요 요소들로 선정하였고, 시뮬레이션을 통해 도출한 결과들을 비교 분석하였다(Table 2).

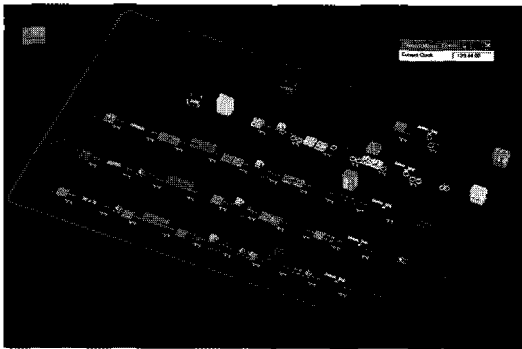


Fig. 10. Configuration of gear machining system in virtual environment.

Table 2. Result from simulation of semi-auto gear machining system

구분 요소	기존 시스템 (완전 자동화)	새롭게 구현된 시스템 (semi-auto)	비교
생산량	1206 EA	1209 EA	0.25% 증가
UPH	67 UPH	67 UPH	-
기계수	20대	19대	1대 감소
기계효율	78.21%	79.40%	1.19% 증가
작업자 수	2명	10명	8명 증가 (의부사항)
작업자 효율	70.43%	86.48%	16.05% 증가

줄어든 유효시간이 설비의 가동시간으로 옮겨져서 설비의 가동률을 높였다. 그 결과 디버링 공정의 설비 가동률이 81.28%로 향상되어 전체 설비의 평균가동률이 79.4%로 기존의 방식에 비하여 semi-auto 라인이 높은 기계 가동율을 가지게 되었다. 또한, 기존의 목표 생산량인 1일 평균 1200EA를 조금 상회하는 1209EA를 생산 가능한 것으로 나타났다.

작업자 효율측면에서도 작업자의 수를 8명 더 투입

하고서도 작업자 효율은 현재의 완전 자동화라인보다 월등히 높은 86.48%를 유지하였다. 이 결과는 제조 시스템에서 작업자 활용을 극대화 한다는 목표에 부합하였다.

그러므로 semi-auto 제조시스템은 기존의 완전 자동화방식보다 Deburring 공정에서 설비 대수를 1대 줄여 Deburring 공정의 설비 가동률을 향상시켰으며, 이를 통해 전체 라인의 라인 밸런싱을 이루었다. 또한, 설비 1대를 줄임으로써 기존의 제조시스템보다 초기 투자비용을 절감하는 효과를 얻었다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 자동차 변속기 기어 가공 공장을 대상으로 제약이론의 사고 프로세서를 이용하여 논리적인 체계적인 대체해 및 해결방법을 제시하였다. 또한, 3D 가상 시뮬레이션 기법을 이용하여 현재의 제조 시스템을 분석하고 문제점을 도출하고, 대체해 및 해결 방법에 대한 객관적인 근거를 제시하는데 활용하는 방법론을 제시하였다.

제약이론의 사고프로세서의 CRT를 이용하여 현재 제조 시스템의 문제점들을 도출하였다. 도출된 문제점들의 관계를 파악하여 문제점들이 발생한 Core problem을 찾아내었다. 이것을 바탕으로 EC 다이어그램을 이용하여 자동화 이송공정을 수동공정으로 대체한 semi-auto 제조시스템이 제안되었다. 또한, 현재의 제조시스템의 문제점이었던 Deburring 공정의 설비 가동률이 저하되는 문제를 해결하기 위해서 FRT를 이용하였다. 이로부터 Deburring 공정의 설비를 1대 삭제하는 방안이 해결책으로 도출되었다.

도출된 초기 대체해를 3D 시뮬레이션 기법을 이용한 결과, semi-auto 방식의 제조시스템에서 작업자의 활용을 극대화하였다. 또한, 새로운 제조시스템 개발을 위한 설계 목표 생산량에는 만족하였다. 그러면서도 기존의 완전 자동화 방식의 제조시스템보다 초기 투자비용이 감소하는 것을 기대할 수 있다.

따라서 본 연구에서 제안되어진 제약이론과 3D 시뮬레이션 방법론을 이용함으로써 제조시스템의 문제점들을 빠르게 파악하고 객관적이고 논리적인 대체해를 생성할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

This research was supported by MKE (Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the

Industrial Source Technology Development Programs supervised by the KEIT (Korea Evaluation Institute of Industrial Technology).

**참고문헌**

1. 주원, 이상균, 이철선, 임상수, 잠재성장률 2% 제고를 위한 VIP Report - 2011년 주요산업 전망 및 현황, 현대경제연구원, 2010.
2. 임혜경, 황정애, 2020년 자동차 산업의 미래, 한국자동차산업연구소, 2009.
3. Mokshagundam, L. S., Synchronous Management, Spectrum Publishing Company, 2005.
4. Park, H. S. and Cutkosky, M. R., "Framework for Modeling Dependencies in Collaborative Engineering Processes", *Research in Engineering Design*, No. 11, pp. 84-102, 1999.
5. 고현우, "6시그마 품질경영 활동에서 TOC적용방안", 한국산업경영시스템학회지, 제27권, 제1호, pp. 103-108, 2004.
6. 박홍석, 최홍원, "디지털 제조기술 기반의 차체 사이드패널 조립시스템 구현," 한국정밀공학회지, 제23권, 제11호, pp. 68-77, 2006.
7. 최무용, 한승택, 서정훈, 우종훈, 이춘재, 최양렬, "자동차 조립 라인의 디지털 생산 구축 사례연구," 한국CAD/CAM학회논문집, 제14권, 제4호, pp. 242-253, 2009.
8. 박홍석, 문시환, 박상길, 최홍원, 신상중, 차석근, "디지털 제조기술 지원 도어트림 조립시스템 개발," 한국CAD/CAM학회논문집, 제10권, 제3호, pp. 199-209, 2005.
9. Günter, W. and Emmerich, S., "Digital Planning Validation in Automotive Industry," *Computers in Industry*, Vol. 56, Issue 4, pp. 393-405, 2005.
10. Wolfgang, K., "Digital Factory-Intergration of Simulation Enhance the Product and Production Process toward Operative Control and Optimization," *International Journal of Simulation*, Vol. 7, No. 7, pp. 27-39, 2006.
11. Quest User Manual, Delmia Corp., 2002.
12. 한국TOC협회, www.tockorea.org.



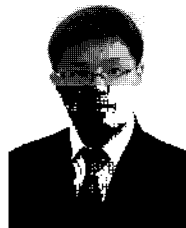
**박 홍 석**

1979년 현양대학교 기계공학과 학사  
 1987년 독) RWTH Aachen, Dipl. -Ing.  
 1992년 독) University of Hannover, Dr. -Ing.  
 1979년 삼성중공업  
 1980년-1987년 한국과학기술연구소 (KIST) 연구원  
 1987년-1989년 독) 생산공학연구소 (IFW) 연구원  
 1993년-현재 울산대학교 기계자동차공학부 교수  
 관심분야 : ICT(Information & Communication Technology), Ontology, Intelligent Manufacturing system, System Design & Control, Digital Engineering, CAPP, Augmented Reality



**박 진 우**

2007년 울산대학교 기계공학과 학사  
 2009년 울산대학교 기계자동차공학과 석사  
 2010년-현재 울산대학교 기계자동차공학과 박사과정  
 관심분야 : Digital Manufacturing, CAPP, Augmented Reality



**최 홍 원**

2001년 울산대학교 기계공학과 학사  
 2003년 울산대학교 기계자동차공학과 석사  
 2009년 울산대학교 기계자동차공학과 박사  
 2009년-2011년 울산대학교 기계기술연구소 전임연구원  
 2011년-현재 (재)울산테크노파크 정책기획단 주임연구원  
 관심분야 : Digital Manufacturing, CAPP, Augmented Reality