

# LED 공정분석을 위한 시뮬레이션 연구

윤철호<sup>1\*</sup>

## A Simulation Study for Analyzing a LED Assembly Process

Cheol-Ho Yoon<sup>1\*</sup>

**요약** 본 논문에서는 LED 생산 조립 공정에서의 시뮬레이션 분석모델을 제안한다. 모델의 목적은 LED 공정설계에 있어서의 여러 대안의 성능에 대해 평가하는 것이다. 시뮬레이션 모델을 개발하기 위하여 먼저 시간연구가 수행되었다. 동시에 ARENA 시뮬레이션 도구를 이용하여 공정분석을 수행하였다. 이 결과 LED 공정에 있어서의 문제점이 적시되었고 이를 개선하기 위한 대안이 논의되었다.

**Abstract** This paper introduces a simulation model regarding the process analysis of a LED assembly process. The objective of the simulation model is to evaluate the performance of various design aspects of process alternatives. To develop the simulation model, a time study is performed for each process. Next, by using ARENA, a simulation model is conducted based on the process analysis and the line balancing methodology. We found out several problems for the assembly process, and then suggest several alternatives to improve the system.

**Key Words** : simulation model, LED assembly, productivity, time study, process planning

### 1. 서론

#### 1.1 연구 배경

최근 LCD를 위시한 국내의 디스플레이 산업은 기술력, 생산 공정능력을 바탕으로 세계 1위의 자리를 차지하고 있다. 그러나 일본, 대만, 중국 등 경쟁국가의 추격, 원천기술의 취약성, 급격한 평가 하락 등으로 매출은 증가하나 수익성은 급격히 떨어져 커다란 위기요인으로 작용하고 있다.

수익성 확보를 위해서는 최종조립기업 뿐만 아니라 부품 협력업체의 생산성 향상이 관건인데, 우리나라의 경우, 인력, 기술 모두 취약하다. 따라서 이러한 부품 협력업체의 생산성을 높이고 그 결과 부품의 평가를 낮추는 노력이 시급하다.

LCD디스플레이, BLU, 각종 조명기기, 신호등 등의 중요한 단위 부품으로 사용되는 LED의 국내 생산업체는

이 논문은 2006년 충남 디스플레이 R&D 사업단의 지원에 의하여 연구되었음

<sup>1</sup>선문대학교 지식정보산업공학과

\*교신저자 : 윤철호(yoonch@sunmoon.ac.kr)

대부분 영세 중소기업이며 평가하락, 경쟁업체 증가 등으로 커다란 어려움을 겪고 있다. LED 생산업체의 경우, 수요변동의 폭이 심해서 업체의 생산능력 내지는 생산규모를 유지하는 어려움이 있다. 이는 적절한 설비, 적절한 규모의 인력 등의 산정이 뒷받침되어야 하나 대부분 적절한 방법론을 가지고 있지 않다.

본 연구에서는 LED 생산업체의 적정 생산능력을 평가하는 방법론으로서 시뮬레이션을 이용한 방법론을 제안하고자 한다. 동시에 이 방법론을 활용하여 적정 생산능력을 파악하여 생산성을 향상시키고자 한다.

이것은 향후 국내 LED 부품업체에 널리 확산 적용하여 결과적으로 국내의 LED 산업의 국가 경쟁력을 높이는 데 일익을 담당할 것을 기대한다.

#### 1.2 연구 방법론

LED 조립 공정의 적정 생산 능력을 평가하는 방법론으로 시뮬레이션 기법을 이용하기로 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 도구 중 현재 학계 및 산업계에서 활용도가 높은 Arena를 이용하기로 하였다[3].

LED 조립 생산라인을 모델링하기 위해 국내의 증견

LED 생산업체를 대상으로 정하였다. 생산 라인은 LCD 디스플레이 또는 BLU에 투입되는 부품을 조립, 생산하는 것을 대상으로 하였으며 따라서 LED 패키지 조립 공정을 대상공정으로 정하였다.

시뮬레이션의 모델링에 소요되는 기본 데이터를 획득하기 위해 생산현장에서 시간 연구법, Man - Machine Chart, Line Balancing, Plant Layout기법 등에 의해 데이터를 수집하였다[5]. 연구에 사용되는 데이터는 기업의 기술보호를 위해 적절하게 가공되었다.

## 2. 시뮬레이션 개요

### 2.1 공정개요

본 LED 패키지 조립공정은 LED - INLINE, LED - MOLD, LED - BACKEND 공정의 3공정으로 나누어지고 있다. LED - INLINE은다시 Die -bonding과 Wire-bonding으로 구성된다. LED-BACKEND 공정은 Punching, 외관검사, 물리적 검사, 그리고 Taping & Box공정으로 이루어진다.

전술한 공정도를 정리하면 그림1과 같다.

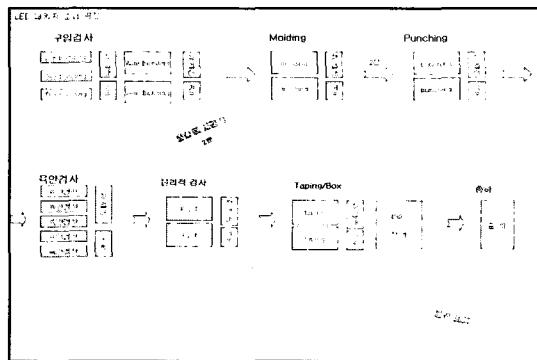


그림 1. LED 조립공정도

### 2.2 작업내용

각각의 공정에 대해 기계, 작업자의 작업을 중심으로 Man - Machine Chart 및 시간 연구법을 이용하여 공정별/작업별 표준요소작업, 작업별 표준작업시간을 설정하였다. 그 결과를 요약한 데이터는 표1과 같다.

표 1. LED공정별 표준작업시간

공정	표준작업시간		작업인원		작업자역할	
	머신	사람	머신	사람		
LED INLINE	Die-bonding	0.4~0.5s	Setting (1,2,3) lot당	3	3	Setting 및 부품운반 에러조정
	Wire-bonding	0.3s		2		
LED MOLD	Molding	0.3s	부품운반 (2) 에러빈도 (1.2,2.4,6) 에러조정 (0.5,1,5)	2	2	Setting 및 부품운반
LED BACKEND	Punching	0.05s		0	5	Setting 및 부품운반 외관검사
	외관검사	0.18s(사람)				
	물리적검사	0.4~0.5				
	Taping	0.3s				
Box	0.0027s(사람)		1	1	Setting 및 부품운반 Box작업	
			0			

### 2.3 시뮬레이션 모델링 설계

대상시스템의 공정은 총 8개의 공정으로 이루어져 있으며, 작업의 흐름은 표준 작업 공정 순서에 따라 연속적으로 흐르는 흐름 생산 방식을 이루고 있다.

시뮬레이션의 효율성을 위하여 다음과 같은 기본사항을 가정하였다.

#### 작업에 대한 가정

- 일일 작업시간은 잔업을 포함하여 12시간 작업으로 하고 이를 토 일요일 휴무로 하여 월 20일 작업을 시뮬레이션 수행기간으로 정한다.
- LED 패키지 공정 전후의 수입 검사, 출하 검사는 시뮬레이션 대상에 포함하지 않는다.
- 재공품 재고는 일일 작업에 연속 투입한다.
- 기계에러의 발생빈도, 작업자의 에러처리시간은 삼각분포에 따르며 그 값은 시간 연구법에 따른 관측 자료를 이용한다.
- 외관검사에서 불량품은 Molding으로 이동해 재가공하며 물리적 검사에서의 불량품은 완전 폐기한다.
- 이동시간은 Molding과 외관검사에만 적용하며 나머지 구간에서는 순간이동을 원칙으로 한다.
- 1Lot는 10800개로 한다. 시뮬레이션 수행을 위해 필요한 경우, 자원의 수를 별도로 1개로 카운트할 경우도 있다.
- 시뮬레이션은 8개의 공정 전체에 대해 연속적으로 수행한다.
- 시뮬레이션에는 Arena Ver. 10을 이용한다.

### 초기 준비 시간 및 예비 시뮬레이션

대상 시스템의 공정은 하루의 작업시작 상태가 전일의 종료 상태이기 때문에 안정상태 시뮬레이션을 수행하는 것이 바람직하다. 실제로 작업 현장에서는 매일 작업 시작 전 약 10 - 15 분간 작업준비시간을 가지고 일일 작업에 임한다. 그러나 본 연구에서는 작업준비시간이 작업의 생산성에 미치는 영향이 크지 않다고 판단하고 동시에 시뮬레이션의 연속성을 확보하기 위해 월 20일 작업의 시뮬레이션을 별도의 휴지 기간을 두지 않고 연속적으로 수행하였다.

본 시뮬레이션을 수행하기 이전에 시뮬레이션 수행 결과치, 예를 들면 공정별 가동률, 재공품수, 출하 제품 수 등이 실제의 LED 작업 공정을 충분히 묘사할 수 있게 되기까지 수 회의 예비 시뮬레이션을 통해 프로그램의 완성도를 높이는 노력을 사전에 행하였다.

시뮬레이션 수행에 있어서 각 프로세스별로 모델을 연결하기 위해 Leave와 Enter모듈을 이용하였다. 예를 들면 그림2에서는 die bonding의 마지막 모듈이 Leave 모듈인데 이 모듈은 작업자가 다음 공정으로 엔티티(부품)를 입력된 시간에 따라 이동 할 수 있도록 한다. 작업자가 입력된 시간에 따라 옮긴 엔티티(부품)를 받아주는 모듈은 다음 프로세스인 wire bonding인데 wire bonding의 첫번째 모듈인 Enter 모듈이다. 즉 각 프로세스는 Leave 모듈과 Enter 모듈에 의해 각 공정이 이어진다.

## 3. 시뮬레이션 결과

### 3.1 평가척도

상기 공정에 시뮬레이션을 실시한 후 결과분석을 위해 재공품 ( WIP ) 수, 공정별 개체 대기시간, 공정별 가동률 ( scheduled utilization ), 재가공품/폐기/출하제품수와 같은 4개의 특성치를 평가척도로 설정하였다. 각각의 평가척도의 의미는 다음과 같다.

재공품 수는 시뮬레이션 수행 후 공정 내에 남아있는 부품의 총 개수를 의미하고 있다. 재공품이 많을수록 그 공정에는 아직도 처리 하지 못한 부품이 많은 것을 의미하며 따라서 재공품의 증가는 비용의 증가와 더불어 생산량에도 마이너스의 영향을 미친다.

공정별 개체 대기시간이란 process 공정내에서 entity (부품)가 가공되고 있을 때, 가공되기 전 entity들이 대기하고 있는 평균적인 수치를 나타낸다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 공정에서 많은 대기가 발생한다면 이는 각 공정에서 부품을 처리하는 생산능력이 낮으며 공정 균형 측면

에서 문제가 있다는 것을 의미한다.

공정별 가동률이란 전체 가공시간에 비례해 각각의 공정이 실질적으로 얼마나 가동되었는지에 대한 수치를 나타낸다.

재가공품/폐기/출하 제품수에서 재가공품이란 불량에 의해 재작업후 공정에 투입되는 제품을 말하며, 폐기란 불량에 의해 폐기되는 제품이고, 출하품이란 최종적으로 출하된 양품 수(Lot)를 말한다.

### 3.2 기존 공정에 대한 시뮬레이션 결과

그림 2는 LED 공정의 각 모듈별로 개발한 시뮬레이션 모델이다. 기존의 공정에 대해 수행한 시뮬레이션 결과를 전술한 4개의 평가척도에 의해 분석한 내용을 구체적으로 열거하면 아래와 같다.

- Molding공정과 물리적 검사공정에서의 생산능력이 많이 떨어져 대기행렬이 많이 쌓인다.
- 작업자 집단 1~6까지의 작업자 효율면을 살펴보면 전체적으로 장비에 비해 가동률이 낮은 것을 알 수 있으며 이는 작업자 유휴 발생이 많다는 것을 알 수 있다.
- Punching과 외관검사에서 가동률이 현저히 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 생산능력에 유휴가 발생하는 것을 의미한다.

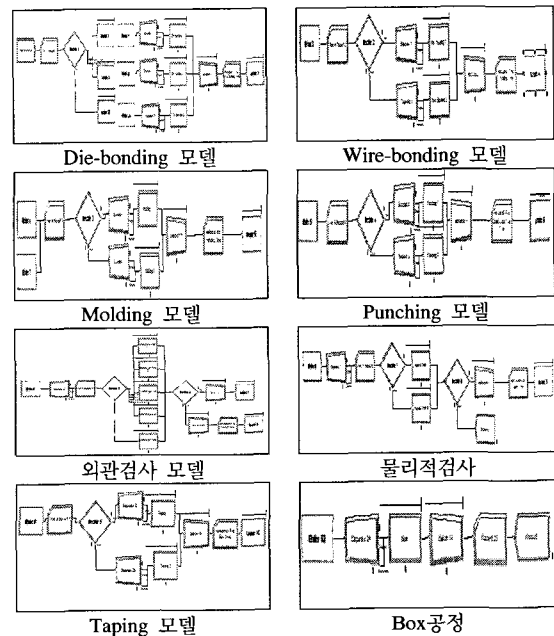


그림 2. 기존공정에 대한 시뮬레이션 모델

이와 같은 결과를 보면 기존 공정은 크게 두 가지의 문제점이 존재하는 것을 알 수 있다. 하나는 공정별 공정 균형(line balancing)이 이루어지지 않았다는 것이고 또 하나는 전체적으로 볼 때 작업자의 작업효율성에 문제가 있다는 것이다.

### 3.3 공정 개선안 설계

국내에서 공정의 생산성을 높이기 위해 시뮬레이션 연구를 수행함에 있어서 사용되는 연구방법론은 매우 다양하다. 그런 가운데 몇 가지 연구방법론의 흐름을 생각할 수 있다. 첫째는, 기존 공정의 개선안을 설정하여 이에 대해 시뮬레이션을 수행하는 방법이다[2,4]. 예를 들면 개선안과 각각의 개선안의 수준을 열거하고 이에 대한 모든 경우의 수를 실험계획법에 의거, 실험 수를 설계하여 대안들의 조합에 대한 주 효과를 반복 실험을 통해 도출하는 것이다. 둘째는 기존의 공정에 대해 시뮬레이션 모델을 개발하고 모델의 입력변수, 의사결정규칙 등의 파라미터에 대해 민감도분석을 수행해 나가면서 최적안을 도출하는 것이다[3].

본 연구에서는 LED 공정의 개선안을 도출하는데 있어서의 대안을 선정하기 위해 해당업체 및 동종업체의 관계자들을 면담하여 경험적인 대안에 대해 우선적으로 고려하기로 하였다.

면담결과, LED공정에 대한 개선안에 대해서는 생산량의 수요변동에 대한 대처가 가장 큰 이슈로 지적되었으며 이와 같은 문제점을 해소하기 위한 개선안 설계의 기본방향으로는 크게 다음의 2가지를 고려하였다.

- 개선방향 1. 작업자 투입요소 변경
- 개선방향 2. 기존공정의 설비보완

이를 바탕으로 다음과 같이 개선안을 수립하기로 한다.

- 개선공정 1
  - Die-bonding, Wire-bonding 작업자 축소
  - Molding, 물리적 검사 작업자 축소
  - 외관검사 작업자 축소
- 개선공정 2
  - 공정설비보완 - 머신 추가( Molding, 물리적 검사 머신 각 1대씩 추가)

### 3.4 개선공정에 대한 시뮬레이션 결과

그림 3은 개선공정2의 각 모듈별로 개발한 시뮬레이션 모델이다. 개선공정1,2에 대해 수행한 시뮬레이션 결과를 전술한 4개의 평가척도에 의해 분석한 내용을 구체적으로 열거하면 아래와 같다.

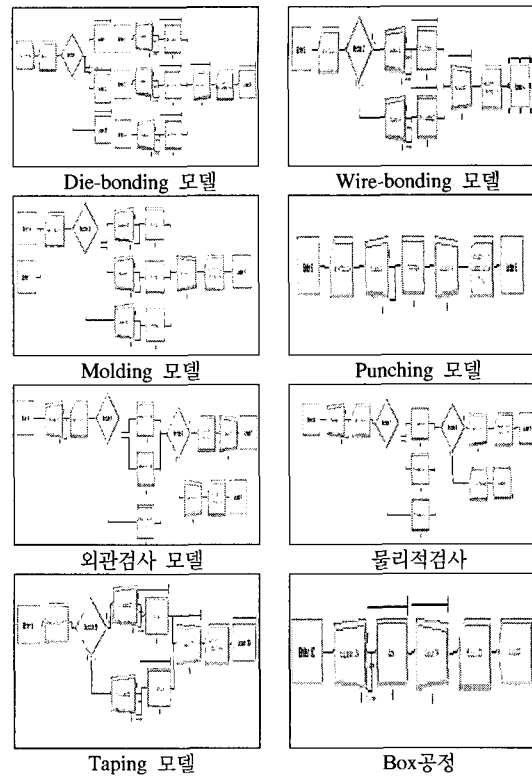


그림 3. 개선공정 2에 대한 시뮬레이션 모델

재공품 수는 개선공정 1의 경우, 기존공정에 비해 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 개선공정 2의 경우, 재공품 수는 기존공정에 비해 크게 감소하였는데, 이는 설비의 추가로 인해 생산 능력이 높아져 재공품이 생산품으로 출하된 것을 보여준다.

공정별 대기시간은 개선공정 1의 경우, 기존의 공정의 결과치와 별다른 변화가 없었다. 개선공정 2의 경우, 설비 추가로 인해 생산능력이 낮아 대기가 많았던 두 공정(Molding과 물리적 검사)의 대기 시간이 크게 감소한 것을 알 수 있다. 이는 두 개의 공정의 생산능력이 크게 높아진 것을 나타낸다.

공정별 가동률은 개선공정 1의 경우, 기존 공정의 가동률과 크게 차이가 없다. 개선공정 2의 경우, 각 공정별 가동율은 기존의 공정의 가동률과 크게 차이가 있다. 우선 Molding과 물리적 검사에서는 기존에 각 2대이던 머신을 1대씩 추가를 하여 가동율 자체는 약간 낮아진 것을 알 수 있다. 반면에, Taping은 가동률이 증가했는데 이는 Molding과 물리적 검사에서 생산능력이 높아져 그만큼 쌓여있던 재공품이 Taping공정까지 신속히 이동해, 그 결과 가동률이 높아진 것으로 해석된다.

재가공품/폐기/출하 제품수는 개선공정 1의 경우, 기존

공정과 크게 다르지 않은 것으로 나타났다. 개선공정 2의 경우, 기존공정의 재가공품/폐기/출하 제품수의 결과치를 비교해보면 출하 제품수에 있어서 생산량이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.5 개선공정 평가 종합

개선공정1이란 기존의 공정에서 작업자를 축소한다는 것이다. 개선공정1에 대한 시뮬레이션의 결과를 보면 작업자가 줄었음에도 불구하고 공정전체의 흐름이나 생산량 등에 마이너스의 영향이 나타나지 않았다. 개선공정2는 작업자를 축소하고 동시에 공정설비를 적절하게 투입하는 것인데 설비의 추가에 의해 대기시간 감소, 생산량 증가 등의 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다.

4개의 평가척도에 대한 각 공정별 결과 요약치를 표2에 나타내었다.

표 2. 각 공정별 평가척도 요약치

분류 내용	기존공정	개선공정 I	개선공정 II
재공품수 (WPI)	303428.27	302619.31	24073.68
공정별 개체대기시간	8.0106 (Molding)	7.9268 (Molding)	0.4941 (Molding)
	18.7806 (Physical)	18.7933 (Physical)	0.2855 (Physical)
공정별 가동율	0.9937 (Molding)	0.9935 (Molding)	0.7103 (Molding)
	0.9885 (Physical)	0.9884 (Physical)	0.8421 (Physical)
재가공품수	67587개	64707개	72109개
폐기품수	7683개	7578개	9762개
출하품수	343(Lot)	343(Lot)	438(Lot)

### 3.6 개선공정에 대한 경제성 평가

2개의 개선공정에 대해 경제성을 평가하기 위한 척도로서 비용적인 측면과 생산성 측면으로 평가하기로 하였다. 비용적인 측면으로는 장비구입비, 인건비 등의 경비로 평가하며, 생산성 측면에서는 완성품 즉 출하제품수 및 재공품수, 그리고 출하제품수에 따른 매출로서 평가하기로 하였다.

개선공정1의 경우, 생산성의 향상에 따른 매출의 증가 효과는 없는 것으로 보이며, 비용의 경우, 인건비의 절감에 따른 비용절감효과를 기대할 수 있는 것으로 보여진다.

개선공정2의 경우, 생산성의 향상에 따라 완성품의 수

가 약28% 증가하며 이에 따라 연간 매출 증가효과를 기대할 수 있는 것으로 평가되었다. 비용의 경우, 공정설비 투입비용을 감안하더라도 인건비의 절감에 따른 효과를 반영할 때, 커다란 비용절감효과를 기대할 수 있는 것으로 보여진다.

본 연구에서는 LED공정에 대한 시뮬레이션 모델링을 통해 공정 생산성을 높이기 위한 개선안에 대해 논하였다. 이와같은 시뮬레이션 모델링을 LED공정에 대한 일반화를 이루기 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 고려가 추가적으로 필요하다. 첫째는 제품구성의 차이이다. 일반적으로 LED 제품은 LAMP, 휴대전화부품, LCD 부품 등으로 나눌 수 있는데 이러한 제품의 차이는 필연적으로 공정 구성의 차이를 가져온다. 따라서 시뮬레이션 모델링에 있어서도 공정상의 차이를 반영한 모델링이 설계되어야 한다. 둘째는 동종 제품군이라고 하더라도 제품 사양이 다른 점에 대한 고려이다. 제품사양이 상이함에 따라, set-up 시간의 변화, 가공시간의 변화 등을 충분히 고려한 모델링이 수립되어야 한다. 마지막으로 민감도 분석을 통한 방법이다. 본 연구에서는 대안설계에 있어서 동종업체에 종사하는 실무자들의 의견을 우선적으로 수용하여 대안을 수립하고 이를 평가하는 방법을 취하였다.

이러한 방법론은 나름대로 대안평가를 쉽게 할 수 있다는 장점이 있지만 고려할 수 있는 대안을 상대적으로 줄이는 결과도 초래할 수 있다. 따라서 이와 같은 점을 보완하기 위해서는 이론적 대안을 구성하고 대안별 적정 수준을 고려하여 시뮬레이션 수를 통계적으로 설계함으로써 시뮬레이션 실행의 최적화를 시도하는 것도 바람직하다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 LED 조립공정을 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 이를 위해 LED 조립공정을 분석하고 동시에 시간연구를 수행하였으며, 시뮬레이션에 사용한 데이터는 가급적 기존 공정의 데이터를 사용하는 것을 바탕으로 적절히 가공하였다. 이러한 방법론을 도입함으로써 해당업체의 LED 조립공정을 반영하기 위한 충분한 기초 데이터의 확보가 가능하게 되었으며 시뮬레이션 모델이 설득력을 얻을 수 있다고 평가한다.

시뮬레이션 결과, LED 공정의 생산성을 높이기 위해서는 작업자 투입요소를 변경하는 것보다는 적정규모의 설비수준을 확보하는 것이 더욱 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 이것은 기업 입장에서는 새로운 투자 요인이 되므로 기업에서는 이에 대한 충분한 경제성 분석이 수

반되어야 하겠다. LED 제품군의 상이에 따른 시뮬레이션 모델의 확장성을 확보하기 위해서는 추가적인 노력이 필요하다.

향후 과제로서 본 연구에서 개발한 모델을 바탕으로 기계고장의 확률변수, 제품 불량, 투입요소의 변동(작업자 등) 등을 반영하는 좀 더 확장성이 있고 세밀한 시뮬레이션 모델을 개발하는 것이다.

## 참고문헌

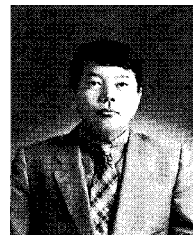
- [1] 김기영 외, “주문형 반도체 웨이퍼 공정분석을 위한 시뮬레이션 연구”, IE Interface, 제18권, 제1호, pp. 22-34, 2005
- [2] 문덕희 외, “자동차 공자의 Painted Body Storage 운영에 관한 시뮬레이션 연구”, IE Interface, 제18권, 제2호, pp. 136-147, 2005
- [3] 문일경 외 역, Arena를 이용한 시뮬레이션 3E, 교보문고, 2005
- [4] 이경근 외, “시뮬레이션을 이용한 중소 신발 생산기업의 생산시스템 개선방안 연구”, IE Interface, 제18권, 제1호, pp. 35-43, 2005
- [5] M. E. Mundel, D. Danner, Motion and Time Study, Prentice Hall, 7th Ed. 1994

## 감사의 글

이 연구를 수행하는데 있어서 컴퓨터시뮬레이션의 프로그래밍 개발 등에 선문대학교 지식정보산업공학과 유기훈, 이 인철 두 학생의 노력에 힘입은 바 큼니다. 여기에 감사의 뜻을 표합니다.

윤 철 호(Cheol-Ho Yoon)

[정회원]



- 1979년 2월 : 한양대학교 공과대학 (공학사)
- 1985년 3월 : 동경공대 산업공학과 (공학석사)
- 1988년 3월 : 동경공대 산업공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 - 1994년 2월 : 한국전산원 책임연구원
- 1994년 3월 - 현재 : 선문대학교 지식정보산업공학과 교수

<관심분야>

인간공학 작업관리 공정분석 6시그마 사용자인터페이스