

# IE 기법을 활용한 EPS 모터 제조공정의 운영효율성 향상 사례

김정섭<sup>1</sup>, 이지수<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>금오공과대학교 대학원 컨설팅학과

<sup>2</sup>금오공과대학교 산업공학부

## A Case of Operational Efficiency Improvement in EPS Motor Manufacturing Process Using IE Technique

Jung Suop Kim<sup>1</sup>, Ji Soo Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Consulting, Graduate School, Kumoh National Institute of Technology

<sup>2</sup>School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**요약** 본 논문에서는 공정분석, 작업분석 및 동작분석을 핵심으로 하는 고전적 IE기법들을 응용하여 자동차 부품 제조현장의 운영효율성 향상을 추구하는 절차를 제안하고 구체적 적용 사례를 보인다. 제안한 운영효율성 향상 절차는 사례기업인 L사의 차량전장부품 제조 사업부에서 공정개선팀을 구성하여 개발한 고유의 절차이며, 운영효율성의 척도로는 라인밸런스 효율(Balance Efficiency)과 생산능력(Production Capacity)을 사용하였다. 개발한 절차는 제조 현장의 현상을 분석하고, 문제점을 해결하는 개선안을 도출하며, 도출된 각 대안을 평가하고 최종안을 선정하여 현장에 구현함으로써 생산성 향상을 달성하는 일반적 절차를 따르고 있다. 각 단계에 사용한 방법 중 낭비요소를 찾아내는 단계에 사용되는 기능분석과 대안 평가에 적용되는 R&R(Risk & Return)평가 기법은 사례기업인 L사에서 개발한 고유의 방법인데, 특히 R&R평가 기법은 응용성과 확장가능성이 큰 기법이므로 상세히 기술한다. 개발한 절차는 여러 공정에 적용하여 개선효과를 보았는데, 본 논문에서는 구체적 사례로서 개발한 절차를 전장식 조향시스템(EPS)의 핵심 부품인 EPS모터 제조 공정에 적용한 과정과 결과를 보인다. 개선절차를 적용하여 EPS모터 제조 공정을 개선한 결과 라인밸런스효율을 7.06% 높이고 생산능력을 15.5% 증대시킴으로써 운영효율성 향상을 달성하였다.

**Abstract** This paper proposes a procedure to improve the operational efficiency of the automotive parts manufacturing process by applying classical IE techniques composed of process analysis, work method analysis, and motion analysis, and a specific application case is outlined. The proposed procedure was developed originally by the Task Force organized in L company's automotive parts manufacturing business unit. The balance efficiency and production capacity were used as measures of operational efficiency. The developed procedure follows the general procedure of analyzing the phenomenon at the manufacturing shop, deriving an improvement solution to solve the problem, evaluating each derived alternative, and implementing it to the field to achieve productivity improvement. Among the methods used in each phase of the procedure, function analysis used in the waste discovery phase and R&R evaluation method used in the alternative assessment phase are unique techniques developed by L company's TF. The R&R Evaluation method techniques are described in detail because this method is highly applicable and extensible. A case of applying developed procedures to improve the EPS motor manufacturing process is discussed. As a result, the line balance efficiency and production capacity were increased to a satisfactory level.

**Keywords** : Balance Efficiency, Function Analysis, IE Technique, Production Capacity, Rate and Return Block Diagram, Waste.

---

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

\*Corresponding Author : Ji Soo Lee(Kumoh National Institute of Technology)

Tel: +82-54-478-7652 email: jslee@kumoh.ac.kr

Received May 17, 2017

Revised June 14, 2017

Accepted July 7, 2017

Published July 31, 2017

## 1. 서론

한정된 시장을 두고 치열하게 경쟁하는 상황에서 기업이 생존하기 위해서는 제조현장이 경쟁력을 확보하여야 하고, 이를 위해서는 생산하는 제품의 품질을 높이고 제조원가를 낮추면서 납품리드타임을 줄이는 것이 필수적이다. 전통적 산업공학 기법을 중심으로 제조현장을 개선하는 “기본으로 돌아가기 (Back to the basics)”는 이런 상황에 처한 기업들에게 작은 투자로 큰 결과를 얻게 해주는 있는 대안이 될 것인데, 공정 및 작업에 존재하는 낭비요소를 없애고 공정의 균형효율(Balance Efficiency)을 높이는 것이 전통적 산업공학기법의 핵심을 이룬다고 볼 수 있을 것이다. 최근 제조현장에서 많이 논의되고 있는, 생산의 속도(Speed)를 높이고 재고를 줄이는 데에 개선의 초점을 맞추는 린(Lean) 제조현장의 구현[1] 역시 크게 보아 이 범주에 포함된다.

제조현장을 개선하여 공정의 균형효율을 높이고 생산성을 향상시키는 방법 및 사례는 꾸준히 연구되어 왔다. 이상영 등[2]은 전자부품인 SMPS 조립라인을 대상으로 동작연구를 이용한 작업개선과 라인밸런싱을 통하여 생산성을 향상시키고 불량률을 감소시킨 사례를 연구하였고, 권병우 등[3]은 공기조화기를 생산하는 공정에 JIT 개념을 적용하여 공정을 개선한 결과를 분석하였다. 박승현[4]은 생산량 변동이 심한 미니카세트조립라인에 U-라인을 도입하여 라인효율을 향상시킨 사례를 발표하였고, 장중순 등[5]은 자동차 의장라인을 대상으로 조립셀라인을 도입할 경우의 작업자 효율 증대효과를 Simulation 분석하였다. 이영훈 등[6]은 국내의 2개 글로벌기업에서 TPS를 전사적으로 도입하여 안정적 이익을 창출하게 된 사례를 거시적 관점에서 분석하였다. 정대권과 윤원영[7]은 생산주기가 짧게 편성되어 라인이 길어지는 조립라인을 대상으로 다기능작업자 양성을 통하여 조립라인의 길이를 줄이고 생산성 개선을 실시한 사례를 보이고 개선 활동 수행절차의 가이드라인을 제시하였다. 정대권과 윤원영[8]은 국내의 중소 제조 기업을 대상으로 컨설팅을 실시한 사례를 바탕으로 중소 제조 기업의 현장 관리 체계와 개선 활동을 구축하는 방법을 제시하였다. 조대희 등[9]은 사출을 주된 공정으로 하여 부품을 생산한 후 조립공정을 거쳐 TV용 부조립품을 만들어 납품하는 한 중견기업에서 가치흐름지도법(VSM, Value Stream Mapping)을 이용하여 낭비를 제거하고

동기화 및 흐름생산방식을 구축하여 공정의 균형효율을 높임으로써 린 제조공정을 구축한 사례를 소개하였다. VSM을 적용한 개선사례는 외국의 사례도 다수 발표되었는데, 동남아의 경우 Rahani와 Muhammad[10]가 말레이시아의 한 자동차부품 생산 업체의 디스크 조립라인에 가치흐름지도법(VSM)을 적용하여 재고를 줄이고 품질을 개선한 사례를 보였다. 황태영과 곽춘중[11]은 굴삭기용 펌프 조립라인에서 낭비요인을 찾아내고 사이클타임을 단축하여 생산성을 향상시킨 사례를 발표하였다.

위에서 요약 소개한 사례논문들을 제조현장개선을 위해 사용한 주요 기법을 기준으로 분류하면 Table 1과 같다.

Table 1. Classification of Related Case Papers

Core Technique	Researchers
Method design	Lee et al.(1998), Chung & Yun(2015a), Chung & Yun(2015b), Hwang & Kwak(2016)
Assembly Cell	Park(2003), Jang et al.(2004)
TPS Paradigm	Kwon & Lee(2000), Lee et al.(2007)
VSM	Rohani(2012), Cho et al.(2015)

Table 1에서 볼 수 있듯이, 적은 비용을 투자하여 비교적 단기간에 생산성 향상을 할 수 있는 고전적 산업공학기법인 작업방법연구를 적용한 사례가 의외로 많이 발표되지 않았음을 볼 수 있다. 더욱 중요한 사실은, 황태영과 곽춘중[11]의 논문을 제외하고는 제안된 개선안 중 어느 안을 개선안으로 채택하느냐에 대한 방법론을 기술한 논문은 없었다. 황태영과 곽춘중[11]의 논문에서는 제안된 2개의 대안을 두고 “비용, 인원, 공간, 공사기간을 상호비교 분석한다”고 기술하고 있다. 이에 비해 본 논문에서는 제안된 여러 대안 중 개선의 우선순위를 파악하기 위해서, 도출된 개선안 각각에 대해서 품질, 원가 및 납기 관점에서 Risk를 평가하고 사이클타임 단축 크기로 Return을 평가하여 최종 대안을 선택하는 구체적이고 계량적인 고유의 대안평가방법인 R&R (Risk & Return) 평가방법을 제안한다.

2장에서는 사례기업의 현황을 개관하고, 사례기업에서 고전적 IE기법을 적용하여 공정을 개선하기로 한 배경을 설명한 후, 공정분석, 작업분석 및 동작분석을 핵심으로 하는 고전적 IE기법들을 응용하여 자동차 부품 제조현장의 생산성 향상을 추구하는 절차를 제안한다. 제안한 생산성 향상 프로세스는 사례기업인 L사의 차량전장사업부에서 공정개선팀을 구성하여 개발한 고유의 생

산성 향상 절차이다. 3장에서는 2장에서 개발한 절차의 구체적 적용 사례로서 EPS 모터제조 라인을 대상으로 각 공정의 사이클타임(cycle time)을 측정하여 라인밸런스를 분석하고 병목공정을 파악한 후, 개발된 개선대안 중에서 최종안을 선택하고 구현하여 라인균형효율을 향상시키고 최종적으로 생산성 향상을 달성한 사례를 보인다. 4장에서는 사례의 결론과 향후 연구과제를 밝힌다.

## 2. 사례기업 현황 및 생산성 향상 프로세스 개발

### 2.1 사례기업 현황

사례기업인 L사는 자동차부품, 이동통신기기용 부품 등을 생산하는 대기업으로 국내에 5개의 사업장을 보유하고 있다. 사업장 중 G시에 위치한 사업장의 차량전장 사업부에서는 최근 자동차부품 생산라인을 신규로 셋업(Set up)하여 생산을 개시하였으나 비효율적인 설비배치와 불필요한 낭비요소가 존재하고 라인밸런스 상태가 좋지 않았다. 또한 생산하여 공급하는 자동차부품의 수요가 급증할 것으로 추정되어 생산용량(Capacity)을 증대해야 할 필요성이 생겼으나, 초기 시장진입을 위해 판매가격을 낮게 설정한 관계로 자동차부품 사업이 적자상태를 유지하고 있어서 추가적인 설비투자를 할 여유가 없었다. 이에 L사는 시설투자의 확대 없이 생산용량을 신속히 증대하기 위해 IE기법을 적용하는 절차를 개발하기로 하고 공정개선팀을 구성하였다.

### 2.2 생산성 향상 프로세스 개발

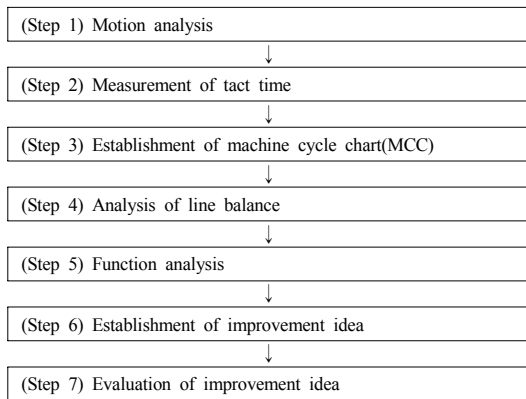


Fig. 1. Procedure for Improving Productivity

L사는 공정개선팀을 조직한 후 IE기법을 학습하고, 각종 IE기법을 응용하여 생산현장개선에 쉽고 편하게 활용할 수 있도록 “생산성 향상 프로세스”를 표준화하여 Fig. 1과 같이 수립하였다. 7개 단계의 생산성 향상 프로세스는 현상을 분석하는 단계인 As-Is 분석 4개 단계와 혁신안을 도출하고 실행하는 단계인 To-Be 분석 3개 단계로 이루어져 있다.

생산성 향상 프로세스의 각 단계를 자세히 설명하면 다음과 같다.

- ① 동작분해 : 설비 및 작업자의 작업내용을 분석하여 작업순서에 따라 세부적인 요소동작단위로 분해한다.
- ② 공정별 사이클타임 측정 : 각 요소동작별로 스톱워치(stop watch)측정, PLC 신호 로그(log)분석, 비디오 분석 등을 통해 각 동작시간을 측정하고, 이를 데이터로 사용하여 각 공정의 사이클 타임을 측정한다.
- ③ MCC(Machine Cycle Chart)작성 : 각 공정을 구성하는 요소동작들의 소요시간과 내용을 한 눈에 파악할 수 있도록 각 공정별로 MCC를 작성한다.
- ④ 라인밸런스(Line Balance)분석 : 각 공정별 MCC 분석이 완료되면 전체 공정을 대상으로 라인균형 효율(balance efficiency)을 계산한다.
- ⑤ 기능분석 : 각 동작의 기능을 기본기능과 보조기능, 손실기능으로 구분하여 낭비요소를 찾아낸다. 기본기능은 실제 작업물의 가치를 높여주는 동작을 의미하고 보조기능은 기본기능의 품질, 환경조성에 기여하는 기능을 의미한다. 손실기능은 위치보정을 위한 과잉동작, 대기, 중복동작, 기타 동작경제의 원칙에 위배되는 작업 및 낭비를 의미한다. 3가지로 분류된 기능의 정의 및 예시는 Table 2와 같다.

Table 2. Classification of Motion Function

Classification	Definition
Basic function	Value-added motion (ex. Coating)
Auxiliary function	Quality contribution to basic function (ex. Align)
Loss function	Non-value-added motion (ex. Motion loss, Waiting loss, Duplicated motion, etc).

동작의 기능을 3가지로 분류하는 목적은 각 동작의 최종 목표시간치(Ideal goal)를 설정하는 데 있다. 최종 목표시간치의 달성을 위해서는 손실기능 및 보조기능은 최대한 제거해야 하며, 기본기능은 혁신을 추구하여 반드시 필요한 기능의 조합만으로 구성된 작업시스템을 도출해야 한다.

- ⑥ 혁신안 도출 : 먼저 손실기능과 보조기능을 최대한 없애고, 브레인스토밍(brainstorming)이나 개선의 ECRS 등을 활용하여 기본기능을 대상으로 비효율적 요소를 개선하는 혁신안을 도출한다.
- ⑦ 혁신안 평가 : 도출한 개선안을 대상으로 개선의 우선순위를 파악하여 실제로 구현할 혁신안을 선정한다. 이 단계에서는 L사가 개발한 고유의 대안 비교방법인 R&R평가를 수행하게 되는데, 이에 대한 자세한 설명은 다음 절에서 기술한다.

### 2.3 Risk & Return 평가

1장에서 지적하였듯이, 기존의 사례연구 논문들에서는 제안된 개선안 중 어느 안을 최종 실행개선안으로 채택하느냐에 대한 방법론을 상술한 논문은 없었다. 그러나 실제 현장사례에서는 개선안 발굴 초기에는 브레인스토밍 등을 통해 가급적 많은 개선안을 발굴할 것을 권장하므로 제안된 여러 가지 대안 중 개선의 우선순위를 결정하는 단계가 대단히 중요하다. L사의 개선팀은 이의 중요성을 인식하고, L사 고유의 실행안 선정방법을 개발하고 이를 R&R (Risk & Return)평가라고 명명하였다. 위험(Risk)과 보상(Return)의 관계는 투자의 요구수익률(Required return)을 결정하는 것을 설명하는 데에서 주로 사용되던 개념이며, 위험이 클수록 요구수익률도 그만큼 크며 잠재적인 보상이 클수록 위험이 커진다[12]는 자본시장의 역사를 설명하면서 사용되는 용어이다. L사는 개선안의 실행은 투자이므로 이에 위험(Risk)이 수반되고 대신 개선안 실행의 결과로 운영효율성 제고 등의 보상(Return)을 받게 된다는 데 착안하여 최종 실행안 선정을 위한 R&R 평가 방법을 개발하였다.

제조현장의 운영효율성은 품질, 원가 및 납기의 차원에서 측정되므로, 도출된 각각의 혁신안에 대해서 R&R 평가를 수행하는 방법도 이를 기반으로 개발하였다. 먼저 Risk측면에서는 실행난이도, 개선/개조 소요시간, 품질, 비용 등 4가지 측면을 종합적으로 고려하여 평가한다. 각 혁신안의 최종 Risk는 실행난이도, 개선/개조 소요시간, 품질 및 비용의 평가결과로 얻어진 평가결과 계

량치의 곱으로 계산된다. Risk 평가의 세부적도는 매뉴얼로 따로 작성하였는데, 이를 요약하면 다음과 같다.

실행 난이도는 개선안을 실행할 때 난이도를 의미하며, 이를 정성적으로 판단한 후 계량치로 환산하는데, 세부적도의 기준은 Table 3과 같이 정하였다.

Table 3. Practice Difficulty Level

Points	Criteria
1	Simple improvement
2	Modification of software
3	Improvement of hardware or software
4	Remodeling material, hardware, software or construction method
5	Development of new material, new construction method or new equipment

개선/개조 소요시간은 개선안 적용을 위해 장비가 정지(Down)되어 있어야 하는 총누적시간을 의미하며, 세부적도의 기준은 Table 4와 같이 정하였다.

Table 4. Equipment Down Time to Improve

Points	Criteria (x: time(hour))
1	$x \leq 1$
2	$1 < x \leq 3$
3	$3 < x \leq 6$
4	$6 < x \leq 24$
5	$24 < x$

품질은 개선/개조안을 적용한 결과로 발생하게 될 품질 Risk를 의미하며 세부적도의 기준은 Table 5와 같이 정하였다.

Table 5. Quality Risk Level

Points	Criteria
1	Unrelated to quality
3	No direct effect on following process
5	Related to customer spec.

비용은 개선/개조안을 구현할 때 발생하는 비용을 의미하며, 세부적도의 기준은 Table 6과 같이 정하였다.

Table 6. Cost Level

Points	Criteria (y: cost(won))
1	$y = 0$
2	$0 < y \leq 2,000,000$ (ex. Replacement of simple part in equipment)
3	$2,000,000 < y \leq 5,000,000$ (ex. Remodeling in simple unit level)
4	$5,000,000 < y \leq 10,000,000$ (ex. Remodeling in complex unit level)
5	$10,000,000 < y$ (ex. Designing new equipment)

2.1절에서 기술하였듯이 사례기업의 공정개선팀의 최종 목표가 생산용량의 증대에 있으므로, Return 측면의 측정은 개선안을 적용하면 얻게될 사이클 타임의 예상 단축 시간의 크기를 사용하기로 하였고 시간 단위로는 초 단위를 사용하기로 하였다.

각각의 개선안에 대한 Risk와 Return의 평가가 끝나면 이를 기준으로 어떤 개선안을 우선적으로 실행에 옮길 것인가를 최종 결정하여야 하는데, 이를 위해서 R&R 블록다이어그램(R&R block diagram)이라는 도표를 작성한다. 먼저 도출된 각 개선안에 대한 실행난이도, 개선/개조 소요시간, 품질, 비용 측면의 Risk 평가 결과로 얻어진 계량치들을 곱하여 R&R 블록다이어그램작성용 X 값을 산출하고, Risk 평가 결과로 얻어진 사이클타임의 단축시간(sec)을 Y값으로 정한다. 최종 산출한 (X, Y)의 값들을 Fig. 2와 같은 4개 영역으로 분할된 block diagram 위의 특정지점에 표시한다. Fig. 2를 R&R 블록다이어그램이라 명명하였는데, 영역 분할의 기준은 공정 및 제품 특성에 따라 달리 적용할 수 있다. 3장에서 기술할 적용사례인 EPS모터제조공정의 경우는 Risk는 중심값을 40으로 하고, Return은 1.5초를 기준으로 하여 영역을 분할하였다.

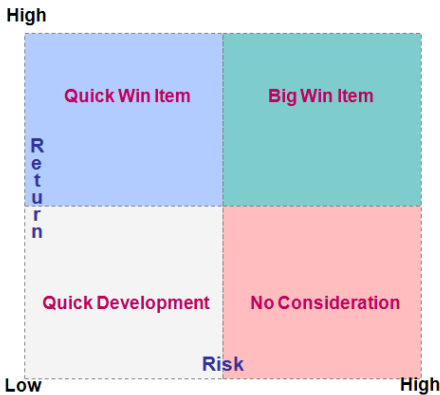


Fig. 2. R&R Block Diagram

각 개선안의 Position에 따라 Fig. 2에 표시한 바와 같이 명칭을 달리하였다. 먼저 Risk는 낮으면서 Return은 높은 개선안은 가장 좋은 경우이므로 시급히 구현할 대안을 뜻하는 Quick Win으로 명명하였다. Return은 낮더라도 Risk가 낮은 대안은 구현에 부담이 적기 때문에 Quick Development라고 명명하였고, Risk는 높지만

Return이 높은 개선안은 개선효과가 크다는 데 의미를 두고 Big Win이라고 명명하였다. 마지막으로 Risk는 높으면서도 Return은 낮은 개선안은 구현 대상에서 제외하는 것이 합리적이므로 No Consideration 영역으로 명명하였다. 각 개선안의 영역 구분이 완료되면 Quick win, Quick development, Big win 순으로 개선안을 실행하며, No Consideration은 실행 고려대상이 되지 않는다.

### 3. 적용 사례

2장에서 개발한 생산성 향상 프로세스를 사례기업인 L사의 차량전장사업부의 주력생산품목인 EPS(Electronic Power Steering)모터 공정을 대상으로 현상분석, 개선안 도출, 개선안 평가 및 실행을 실시하였다.

자동차의 조향시스템(Steering System)은 주행시 방향 전환을 위해 사용되는 장치를 말한다. 조향시스템의 기본적인 작동은 운전자가 흔히 핸들이라고 부르는 스티어링휠(Steering Wheel)을 조작하면 그 회전에 스티어링샤프트(Steering Shaft)를 통해 기어 장치가 전달되고 기어 장치가 타이로드를 움직여 바퀴가 원하는 방향으로 움직이므로써 이루어진다. 근래에 생산되는 대부분 제품은 기존의 유압펌프 대신 모터가 작동하는 EPS가 적용되고 있다. EPS는 전자식 조향 시스템으로 주차 및 저속시 핸들 조작을 용이하게 하며 중·고속에서는 중량감을 더해 줌으로써 운전자에게 최적의 핸들감 및 안정성을 제공하고 연비절감에 기여하는 역할을 한다. 기존의 유압펌프 대신 모터가 작동하는 시스템이며 차별화된 고효율, 고내구성 BLDC(Brushless Direct Current) 기술을 적용하여, 고회전력, 저소음, 소형화 및 빠른 응답성을 가진다. EPS모터가 장착되는 위치와 외형은 Fig. 3과 같다.

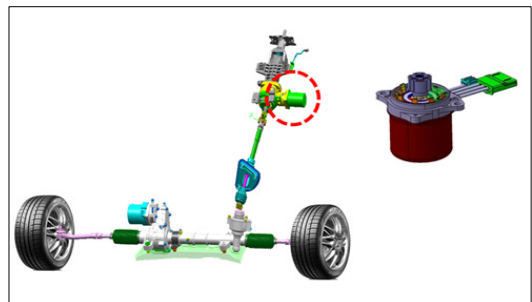


Fig. 3. Shape & Installation of EPS

L사의 EPS모터 제조 라인의 초기 생산용량(Capacity)은 일간 1,481대로 가동을 시작하였으나 고객물동량이 증가하고 있어서 수요량에 대응하기 위해서는 생산용량을 일간 1,700대까지는 확보해야 하는 것으로 판단되었다. 그러나 초기 시장진입을 위해 판매가격을 낮게 설정한 관계로 자동차부품 사업이 적자상태를 유지하고 있어서 추가적인 설비투자를 할 여유가 없었다. 경영혁신팀에서 공장가동초기 상태인 제조현장을 점검한 결과 비효율적인 설비배치와 불필요한 낭비가 존재하며, 라인밸런스도 좋지 않은 상태라는 것을 파악하였다. 이러한 현상의 낭비를 줄이고 추가의 설비투자 없이 생산성 향상을 달성하기 위해 공정개선팀을 구성하고 공정개선활동을 추진하였다.

### 3.1 개선 전 공정 현황

L사의 EPS 제조공정은 Fig. 4의 공정도에 묘사한 바와 같이 크게 10가지 단위공정으로 구성된다. EPS모터 생산공정 프로세스는 Yoke에 열을 가해서 Stator를 로딩(Load)한 후에 착자기로 착자하는 것으로 시작한다. 그 다음으로 Rotor에 베어링을 로딩하는 작업을 한다. 그 후에 버스카드를 로터에 조립하고 제품을 볼트로 체결하여 고정을 한다. 그런 다음에 용접봉으로 터미널을 용접을 진행하고 전동 드라이버로 PCB를 조립하는 작업을 한다. PCB조립을 끝낸 후에는 부하검사와 무부하검사 등의 성능검사를 실시하게 된다. 마지막으로 케이브로 브라켓(Bracket)을 체결한 후에 최종 제품의 외관 불량유무를 확인하여 출하창고로 보내게 된다.

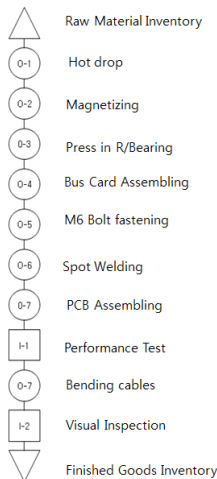


Fig. 4. Operation Process Chart of EPS Motor Manufacturing Process

공정혁신팀에서는 먼저 2.2절에서 설명한 As-Is 분석 4 단계를 실시하여 현상파악을 실시하였다.

스톱워치 측정과 비디오분석을 실시하여 각 동작별 소요시간을 측정한 후에 이를 각 단위 공정별로 합산하여 단위공정별 사이클 타임을 측정하였다. 예를 들어 성능검사공정은 17개의 동작으로 분해 측정하였는데, 그 중 일부를 보이면 Table 7과 같다.

Table 7. Performance Test Cycle Time

Motion	Time
Unloading the goods from the electrical loading tester	1.2
Moving the goods to ears & Noise testing	2.6
Moving the goods & Correcting position	2.8
Reaching to the switch which moves goods to the next process & Pressing the switch	0.4
Moving the Hand to the no loading tester	0.9
Unloading the goods from no-loading tester & Loading it on the electrical loading tester	2.1
Moving the hand to the electrical loading tester & Pressing the switch	0.6
Inserting the connector into the electrical loading tester	1.7
Moving the Hand to the Pallet & Holding the goods	2.6

Fig. 4의 공정도에 제시된 10개의 각 공정별 사이클 타임은 Fig. 5와 같으며, 성능검사공정(38.1초), PCB조립공정(36.4초), Spot Welding공정(35.9초), 버스카드조립공정(35.6초) 순으로 사이클 타임이 길고, 이들 공정이 제약공정임이 파악되었다. 따라서 이들 공정에 대한 개선이 시급함을 알 수 있었다.

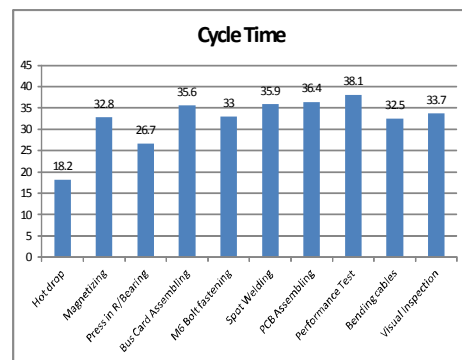


Fig. 5. Cycle Times before a Process Improvement

각 공정별 사이클 타임을 데이터로 사용한 결과 아래의 식에 의해 EPS모터 제조공정의 라인밸런스효율( $E_b$ )은 85%로 계산되었다. 이는 편성 오류로 인해 15%의 낭비가 발생하고 있음을 의미한다.

$$E_b = \frac{\sum \text{각단위공정작업시간}}{\text{사이클타임} \times \text{단위공정수}} \times 100(\%)$$

$$= \frac{322.9}{10 \times 38.1} \times 100(\%)$$

$$= 85\%$$

EPS 제조공정의 제약공정으로 파악된 4개의 단위공정에 대해 점검한 결과 대표적인 문제점들은 다음과 같았다.

- 버스카드 조립공정 작업자에 의한 수작업시간이 길며, 설비 PLC Delay로 인한 대기의 낭비가 존재한다.
- PCB조립공정에서 제품운반 및 사람의 이동이 빈번하고 스톱퍼 동작 지연시간이 길며, 파렛트가 지속적으로 배출되지 못한다.
- Spot Welding의 동시용접 불가로 인한 대기의 낭비가 발생하고 있으며 PLC Delay설정으로 작업지연이 발생되고 있다.
- 이음검사 시 수동검사로 인한 낭비가 많으며, 공정 이동 스위치가 불합리하고 부하검사를 위한 커넥터 연결 시 자동적으로 부하가 걸리지 않는다.

### 3.2 공정 개선 결과

제약공정으로 파악된 성능검사공정, PCB조립공정, Spot Welding공정 및 버스카드조립공정을 중심으로 기능분석을 실시하고 이를 바탕으로 혁신안을 도출한 후 R&R 평가를 통해 최종 도입 결정된 개선안을 실행해 옮겼다.

사이클 타임이 가장 긴 성능검사공정을 대상으로 생산성혁신 프로세스에 따라 기능분석, 혁신안도출, 혁신안평가 등의 절차를 수행한 내용을 상술하면 다음과 같다.

#### ① 기능분석

각 동작을 기본기능, 보조기능, 손실기능 등 3가지 기능으로 구분하고 기본기능은 10%, 보조기능은 50%, 손실기능은 100%를 개선하는 극한 목표를 설정한다. Table 8은 성능검사에 대한 기능분석내용이다.

#### ② 혁신안 도출

각 요소동작별로 혁신목표를 달성하기 위한 혁신안 아이디어를 도출한다. Table 9는 성능검사에 대한 혁신안 도출내용이다.

Table 8. Function Analysis

Motion	Time	Function Analysis	Ideal Goal
Unloading the goods from the electrical loading tester	1.2	Auxiliary function	0.6
Moving the goods to ears & Noise testing	2.6	Basic function	2.3
Moving the goods & Correcting position	2.8	Auxiliary function	1.4
Reaching to the switch which moves goods to the next process & Pressing the switch	0.4	Loss function	0.0
Moving the Hand to the no loading tester	0.9	Loss function	0.0
Unloading the goods from tester & Loading it on the electrical loading tester	2.1	Auxiliary function	1.1
Moving the hand to the electrical loading tester & Pressing the switch	0.6	Loss function	0.0
Inserting the connector into the electrical loading tester	1.7	Auxiliary function	0.9
Moving the Hand to the Pallet & Holding the goods	2.6	Loss function	0.0

Table 9. Performance Innovation Idea

Motion	Innovation Idea	Saving Time
Unloading the goods from the electrical loading tester	-	0.0
Moving the goods to ears & Noise testing	Semi-automatic Noise Test	2.0
Moving the goods & Correcting position	Masking the block keeping cables neat on the pallet	1.0
Reaching to the switch which moves to the next process & Pressing the switch	Changing the location of switch	0.2
Moving the Hand to the no loading tester	Narrowing the space between the tester and worker	0.5
Unloading the goods from no-loading tester & Loading it on the electrical loading tester	Changing the lay out	1.0
Moving the hand to the electrical loading tester & Pressing the switch	Working automatically on inserting the connector	0.3
Inserting the connector into the electrical loading tester	-	0.0
Moving the Hand to the Pallet & Holding the goods	Narrowing the space between the tester and worker & Changing lay out	0.5

#### ③ 혁신안 평가

도출된 혁신안에 대해서 2.3절에서 기술한 평가척도에 따라 Risk평가 및 Return 평가를 실시하고 이를 바탕으로 R&R Block Diagram을 작성하였다. 성능검사의 개선하는 방법으로 제안된 7가지 개선안을 대상으로 실시한 R&R 평가결과를 예로 보이면 Table 10과 같다.

Table 10. Risk & Return Evaluation

	Innovation Idea	Quality	Cost	Difficulty	Time	Risk	Return
A	Semi Automatic Noise Test	2	3	4	2	48	2.0
B	Masking the block keeping cables neat on the pallet	2	3	3	3	54	1.0
C	Changing the location of switch	2	2	2	2	16	0.2
D	Narrowing the space between the tester and worker	2	3	3	3	54	0.5
E	Changing the lay out	2	3	3	3	54	1.0
F	Working automatically on inserting the connector	1	3	3	2	18	0.3
G	Narrowing the space between the tester and worker & Changing layout	2	3	3	3	54	0.5

Table 10의 자료를 사용하여 성능검사 공정을 개선할 7개 대안의 R&R 블록다이어그램을 작성하면 Fig. 6과 같다.



Fig. 6. Performance Test R&R Evaluation Block Diagram

2.3절에서 설명한 기준에 의해, 제안된 안 중 Quick Win에 해당하는 A안과 Quick Development에 해당하는 C안 및 F안을 최종 개선안으로 선택하고 실행에 옮겨 현장에 구현하였다. 그 결과 성능검사 공정의 사이클 타임이 38.1초에서 33초로 단축되었다.

Fig. 7은 성능검사공정의 최종 실행안으로 선택된 A, C 및 F안을 제조현장에 구현하여 개선한 상황을 보여주고 있다.

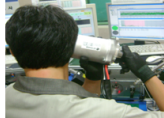
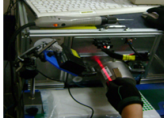




Improved Contents		
Conte	As-is	To-be
1. Semi Automatic Noise Test	▶ Checking noise test manually by moving the work's ear 	▶ Checking odd sound Semi-automatically and eliminating loss 
2. Moving the location of S/W	▶ Location of the S/W is far And the button is inconvenient 	▶ Changing the Location of the S/W to the worker nearby and improving the button 
3. Inserting the connector and Working automatically	▶ When Checking the electrical loading test, inserting the connector and press the S/W On button 	▶ Inserting the connector and Working automatically 

Fig. 7. Performance Test Improvement

모든 단위공정을 대상으로 개선안을 선택하고 제조현장에 구현한 결과 최종적으로 Fig. 8과 같이 사이클 타임이 단축되었다.

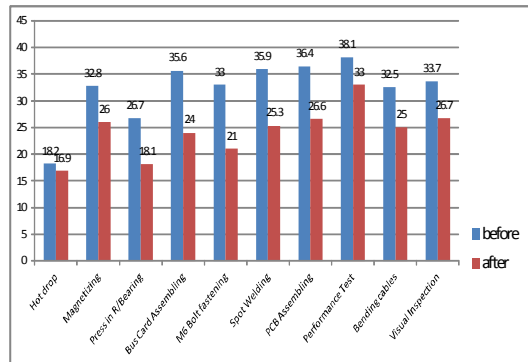


Fig. 8. Cycle Times Before and After a Process Improvement

Fig. 8에 보인 바와 같이 각 단위공정 사이클 타임 시간 합이 기존의 322.9초에서 242.6초로 단축되었고, 전체공정의 사이클 타임도 38.1초에서 33초로 단축되었다. 이 결과를 이용하여 개선된 공정의 라인밸런스를( $E_b$ )을 계산하면 91%로 개선되었음을 알 수 있다.



$$E_b = \frac{242.6}{10 \times 33} \times 100(\%)$$

$$= 91\%$$

라인밸런스효율은 85%에서 91%로 6%p 증가하였고 증가율은 7.06%이다.

현재 EPS모터 제조공정은 하루 근무시간 8시간, 2교대로 가동하고 있으며, 수율은 98%이다. 따라서 현재의 공장가동을 기준으로 살펴볼 때, 일일 생산능력도 개선 전 하루 1,481대 생산에서 개선 후 하루 1,710대 생산으로 약 15.5% 향상되었고 결과적으로 당초 목표인 일간 생산능력 1,700대를 상회하여 달성하였다.

#### 4. 결론

기업의 경쟁력 확보에 있어서 가장 중요한 원천 중의 하나가 생산성을 기반으로 한 수익성의 확보이다. IE기법은 적은 비용의 투자로 생산성을 향상 시키는 기본적인 방법인 바, IE기법을 체계적으로 사용하여 생산성 향상 활동을 전개하는 프로세스를 개발하는 것이 필요하다. 사례기업인 L사는 공정개선팀을 구성하여, 각 공정의 사이클 타임을 측정 후 라인밸런스 상태를 분석하고 병목공정을 파악하여 IE기법을 적용하여 개선함으로써 라인균형효율을 향상시켜 최종적으로 생산성 향상을 달성하는 고유의 생산성향상 절차를 설정하였다. 특히 개선안 개발단계에서 제안된 여러 가지 대안 중 개선의 우선순위를 결정하는 R&R (Risk & Return)평가라는 고유의 방법을 개발하였다. 개선 절차를 EPS모터 제조 공정에 적용한 결과 라인균형효율을 높이고 생산능력을 증대 시킴으로써 개선팀의 개선목표를 달성하였는데, 첫째 라인밸런스효율을 70.6% 증가시켰으며, 둘째 일간생산능력을 15.5% 향상시켰다.

본 사례에서 개발한 고유의 대안비교선택 방법인 R&R분석단계에서 R&R 블록다이어그램을 작성할 때 영역분할의 기준이 되는 중심값의 설정이 중요한 의미를 갖는데, 현재는 개선팀원이 제품 및 공정특성에 따라 주관적으로 판단하고 있지만 이에 대한 객관적인 논리를 정립하는 추가적인 연구를 진행하는 것이 필요하다.

#### References

- [1] Michael L. George, *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*, pp. 33-38, McGraw-Hill, 2002.
- [2] S. Y. Lee, S. H. Hong, J. H. Kim, "A Process Improvement of the SMPS Assemble Line Using Motion Study and Line Balancing Technique", *IE Interfaces*, vol. 11, no. 3, pp. 155-166, 1998.
- [3] B. W. Kwon, D. H. Lee, J. S. Kim, J. M. Lim, "A Case Study on the Process Improvement Using JIT Concept in a Company", *Journal of the Korea Society of Industrial & Systems Engineering*, vol. 23, No 55, pp. 43-50, 2000.
- [4] S. H. Park, "The Design of the U-Shaped Assembly Line to Replace Conveyor System", *IE Interfaces*, vol. 16, no. 2, pp. 240-247, 2003.
- [5] J. S. Jang, S. C. Rim, S. C. Park, S. J. Kwon, C. J. Yoon, "Design of Automobile Assembly Line Using Assembly Cell Method", *Proceedings of KIIIE Conference*, pp. 395-402, Fall. 2004.
- [6] Y. H. Lee, S. G. Kwon, H. Lee, H. Lee, C. M. Kim, "A Case Study on Application of Toyota Production System in Korea Global Enterprise", *IE Interfaces*, vol. 20, no. 3, pp. 245-256, 2007.
- [7] D. K. Chung, W. Y. Yun, "A Case Study on Productivity Improvement for Conveyor Assembly Production Line in Medium and Small-Sized Manufacturing Factories", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, vol. 41, no. 2, pp. 209-219, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.7232/JKIIIE.2015.41.2.209>
- [8] D. K. Chung, W. Y. Yun, "A Study on the Shop Management and Improvement Systems in Medium and Small-Sized Manufacturing Factories", *Journal of the Korea Management Engineers Society*, vol. 20, no. 2, pp. 27-52, 2015b.
- [9] D. H. Cho, J. S. Lee, K. W. Lee, "Applying Value Streaming Mapping for Implementing Lean Manufacturing Process : A Case Study", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, vol. 15, no. 1, pp. 93-104, 2015.
- [10] Rahani A. R., Muhammad al-Ashraf, Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study, *Proceedings of International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, pp. 1727-1734, 2012.
- [11] T. Y. Hwang, C. J. Kwak, "A Study of the Bottleneck Operation on the Assembly Line of Excavator Pumps: A Case of Manufacturer FT", *Journal of the Korea Management Engineers Society*, vol. 21, no. 4, pp. 19-34, 2016.
- [12] Stephen A. Ross, Randolph W. Westerfield, Bradford D. Jordan, *Corporate Finance Fundamentals*, 7th Edition, pp. 399-400, McGraw-Hill, 2007.

**김 정 섭(Jung Seop Kim)**

**[정회원]**



- 1998년 2월 : 경상대학교 산업공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 금오공과대학교 산업대학원 산업공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 대학원 건설팅학과 박사과정
- 2017년 5월 ~ 현재 : 중소기업진흥공단 경북지역본부 전문위원

<관심분야>

Six Sigma, SPC, 생산성 혁신, 품질경영시스템

---

**이 지 수(Ji Soo Lee)**

**[정회원]**



- 1981년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학사)
- 1983년 2월 : KAIST 산업공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : KAIST 산업공학과 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 산업공학부 교수

<관심분야>

생산계획 및 통제, SCM, 원가관리