

Verification of ERP Standard Time Using TOC Technique and Improvement of MES Routing Point

Sung-Min Kim · Jaekyoung Ahn[†]

Department of Industrial & Systems Engineering, Graduate School of Public Policy and Information Technology, Seoul National University of Science of Technology

TOC 기법을 적용한 ERP 표준시간 검증 및 MES 공정실적개선

김성민 · 안재경[†]

서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템전공

Recently domestic manufacturing companies have been experiencing worsening profitability and stunted growth due to the long-term economic recession and the rapid rise of developing countries such as China and Southeast Asia. These difficulties force many companies to concentrate their core competencies on new value creation and innovation in order to gain momentum for new growth. Enterprise Resource Planning (ERP) has been considered as one of viable solutions. Among the various modules in ERP, shop floor control function in the production management module is rather limited. In order to overcome this problem, Manufacturing Execution System (MES) has been used as a subsystem which has a strong information gathering power and flexibility. Both systems interact closely with each other. In particular, ERP requires fast, accurate shop floor information at MES. This paper describes how to synchronize relevant information between ERP and MES with theory of constraints (TOC). The processing time information transmitted from the MES workplace is received at the ERP workplace. In the process, the received processing time is causing information distortion in ERP, when the information gathering standard of MES is different from the ERP information interpretation standard. The Drum-Buffer-Rope theory of TOC was applied to resolve this problem, therefore, information synchronization between both systems was made. As a precondition, the standard time of the upper ERP system was rearranged according to the capacity constraints resource. As a result, standard time restructuring has affected changes in labor costs. Standard labor costs have come close to actual ones, and information synchronization of MES transmission data has improved the reliability of standard product costs, such that it enabled various company-wide restructuring actions to be much more effective.

Keywords : TOC, ERP, Standard Time, MES, Capacity Constraint Resource

1. 서 론

국내의 제조 기업들은 장기적인 경기침체와 중국과 동남아 등 개발도상국의 급부상으로 기업성장의 한계와 수

익성이 악화되는 상황에 처해 있다. 때문에 많은 기업들이 새로운 성장의 추진력 얻고자 새로운 가치 창출 및 혁신에 핵심 역량을 집중하고 있다. 그에 대한 혁신 활동 중에 다수의 기업들이 전사적자원관리시스템(Enterprise Resource Planning, 이하 ERP)구축을 통하여 프로세스와 시스템의 통합을 시도 하였으며, 제조물류 부문의 신 부가가치 창출과 원가회계의 신속 정합성을 꾀하고 있다. ERP는 기업 경영활동 전 부분의 자원과 프로세스를 상호 유기적인

Received 31 July 2018; Finally Revised 4 October 2018;
Accepted 22 October 2018

[†] Corresponding Author : jkahn@seoultech.ac.kr

통합시스템으로 구축해줌으로써 기업 가치를 향상 시킬 수 있는 비즈니스 혁신 기법이다. 기업은 원재료 입고부터 출하까지 ERP를 통하여 활동 단위별 정보를 통합할 수 있으며, 경영의사결정에 필요한 정보를 신속하게 제공할 수 있다. 이와 동시에 업무처리에 발생하는 인적, 물적 비용의 발생이 크게 감소하는 효과가 있다. 또한 기업 사업구조의 변화와 비즈니스 프로세스 생성, 변경, 통합에 대한 시스템 적용 과제를 ERP의 표준화된 업무설정 기능(Configuration) 또는 고객 맞춤형 구축(Customizing)을 통하여 효과를 극대화할 수 있기 때문에 ERP는 많은 기업들이 구축하여 사용을 하고 있다. 이미 포춘(Fortune) 500대 기업의 80% 정도가 ERP를 도입했다는 조사결과가 있으며[2], 2015년 미래창조과학부 보도 자료는 “우리나라 전체 기업의 ERP 도입 비율은 38.4% 비중”을 차지하고 있다고 한다[21]. 또한 50인 이상 기업인 경우 50% 가량, 1,000인 이상의 기업의 경우 87.4%라는 높은 비율의 ERP 도입을 한 상황이다[5]. 이러한 여건에서, ERP 도입이 국내기업에 미치는 정성적, 정량적 효과와 영향력에 대해서는 다양한 연구가 이루어지고 있다.

이장건과 정용기[17]는 ERP 도입 효과에 대한 연구를 ERP 도입 전후의 재무상황으로 조사 하였다. 분석결과에서는 수익성 분석의 경우 ERP 도입 이후에 성과가 오히려 감소하는 경향을 보이고 있으며, 성장성 분석에서도 유의한 차이를 보이고 있지 않는 것으로 나타났다. 또한 재고자산의 경우에도 회전율이 오히려 감소하는 경향을 보이고 있으며, 장기 분석기간에도 명확한 투자효과가 없다는 결론으로 생산성 역설(Productivity Paradox)현상을 주장하였다.

반면 강다연, 장활식[10]은 ERP 도입에 대한 정성적, 정량적 성과에 대한 기준과 비교연구를 통계적 가설을 통하여 분석하였다.

분석 결과, ERP 도입으로 정성적인 성과에 대한 양의 상관관계가 유의하게 나타났으며, 정량적인 경우에도 매출액, 총자산의 변수가 유의하게 분석되었다.

또한 임규찬[19]의 연구에서는 ERP 도입의 성공요인을 환경적 요인, 정보적 요인으로 구분하여 시스템 성과에 미치는 영향을 검증하였다. 결론에서는 ERP를 도입하면 기업의 생산성과 가치상승에 양의 상관관계가 있다는 것에 문제를 제기하지 않는다고 주장하였다.

위와 같은 연구에서 나타난 바와 같이 ERP 도입이 반드시 긍정적인 효과만을 보이는 것이 아니며, 일부 연구에서는 오히려 역설적인 결과를 보이기도 한다는 사실이 드러났다. 따라서 본 연구에서는 사례분석을 통하여, ERP 도입효과가 뚜렷하게 입증되지 않은 경우에 문제점을 진단하여 이를 해결함으로써 의도한 효과를 실현할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

본 논문에서는 ERP 도입 이후, 효과에 대한 생산성 역설현상이 현저한 기업을 대상으로 시스템 구축의 제반 문제점을 파악하고, 이를 해소할 수 있는 방안으로 제약 이론(Theory of Constraints, 이하 TOC)을 적용한 ERP 시스템 개선과정을 연구하였다. 구체적으로는 제조실행시스템(Manufacturing Execution System, 이하 MES)에서 공정실적집계 작업장에 TOC를 적용하여 현실에 부합하도록 재설계하였으며, 표준시간 설정에 있어서도 실제 공수를 반영하기 위하여 TOC를 적용하여 표준시간을 재설정하였다. 이러한 MES 재설계와 표준시간 재설정으로 비로소 ERP와 MES 시스템의 정보동기화가 가능하게 되었다. 이를 통해 해당 기업의 고질적인 문제점 중 하나인 제조원가의 비정합성을 해결함으로써 제조원가의 신뢰도를 제고시킬 수 있었다, 또한, 새로운 공정이 생성되거나 변경될 때 절차갱신 및 관리통제가 가능하도록 시스템을 개발하였으며, 궁극적으로 공정 환경의 변화에 따라 MES를 유연하게 ERP 시스템에 연계시킬 수 있는 토대를 마련함으로써 ERP 시스템의 효과적인 실행방안을 모색하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 TOC에 대한 이론적 연구

TOC(Theory of Constraints)는 이스라엘의 물리학자인 골드렛 박사가 1970년대부터 연구해 왔던 개념과 도구를 집대성한 경영 패러다임이다. TOC의 기본 개념은 시스템의 제약에 초점을 맞추어 제약을 찾아 집중 관리함으로써 시스템 전체의 능력을 개선시키는 것이다[1].

TOC 이론에서 DBR(Drum-Buffer-Rope, 이하 DBR) 분야는 제약자원의 처리 능력이 전체 시스템의 생산 능력을 결정 한다는 기초 가설을 가지고 있으며, 구성요소는 아래와 같다. Drum은 시스템의 전반적인 상태를 나타내는 것으로 일종의 제약 자원이다. 제약자원은 전체 공정의 속도를 나타내며, 가장 취약한 자원을 CCR(Capacity Constraint Resource, 이하 CCR)로 정의한다[32]. CCR은 생산능력, 품질, 시장수요, 업무규정, 의사결정 기준, 정책적 갈등, 경영철학 등 기업전반에 걸친 프로세스에서 발생이 되는 중요한 제약 자원이다.

DBR에서 Buffer는 고장, 결근, 결품 등 예상되지 못하는 혼란으로부터 CCR을 보호하기 위해, 공정 위험 요인들을 완충하는 역할을 한다. 제약 자원을 보호하기 위한 Buffer, 출하를 지원하기 위한 출하 Buffer, 비제약 부품의 지연을 방지하는 조립 Buffer로 구성이 된다[18].

그리고 Rope는 CCR과 시작공정 간의 통신 장치로,

CCR의 속도에 맞추어 시작공정에 자재가 투입되는 속도를 제어하는 역할을 수행한다[32]. CCR 중심으로 여러공정을 Rope로 연결 해 놓은 것처럼 흐름 제어를 수행하기 때문에 Rope라는 명칭을 사용한다.

TOC를 통하여 식별된 CCR은 비제약자원으로 전환하기 위한 개선활동을 수행함으로써, 전체프로세스의 능력을 향상시킬 수 있다. TOC는 이러한 배경을 바탕으로 확장형 유한 생산계획 시스템(Advanced Planning & Scheduling, 이하 APS), ERP, MES에서 생산계획시스템의 핵심 도구로 사용되고 있다.

2.2 연구현황 조사

현재까지 ERP에 TOC를 적용한 많은 연구 중에는 효율적이고 최적화된 생산계획 시스템을 구축하는 연구와 공정관리의 효율성을 개선시키는 연구가 주류를 이루고 있다. 최근에는 김병주[11]의 연구에서 TOC-DBR 기법을 스마트공장레이아웃 설계에 적용하여 물리적인 레이아웃의 구체적인 방법론을 제시하였다.

김우상[14]은 ERP와 APS시스템을 운영하는 제조업체에 TOC기반의 생산관리 시스템을 구축한 사례를 분석하였다. 이 연구에서는 생산계획시스템과 ERP, APS 시스템의 관계를 설명하고 최적의 생산계획을 수립할 수 있도록 TOC를 적용한 재고보충시스템을 제시하였다.

요시다 아쓰노리와 박정현[34]은 생산성, 품질 등을 고려하면서 리드 타임을 단축하기 위한 방법을 연구하였는데, 2개의 DBR 개념을 도입하여 제조리드타임이 감소하는 효과가 있음을 소개하였다.

김승권, 이주현[12]은 반도체 조립공정에 있어서 제약공정인 금속연결(Wire Bonding)공정의 전선(Wire)수를 생산능력치(Capacity)로 가정하고 그 중 낮은 생산능력의 병목공정(Bottleneck)을 제약자원으로 정의하여 간편하게 자원소요계획을 수립하는 것이 가능하다는 결과를 제시하였다.

박민선, 김경래[25]는 건축 마감공사에 쓰이고 있는 텍트 공정관리기법의 문제점을 개선하기 위해 제약이론의 주요 개념을 적용하여 새로운 텍트 공정관리 개념을 제시하였으며, 사례 연구를 통해 이러한 개념이 기존 기법의 문제점들을 개선할 수 있는 지에 대한 여부를 검증하였다.

홍민선 외[4]는 공정별 소요비용 중 원가영향도가 높은 공정을 제약공정으로 선택하고 이것을 기준으로 공정 설계를 하였다. 즉, 제약자원을 물류 흐름상에서의 부하공정이 아닌, 설비비용 측면에서 소요비용이 높은 공정을 제약자원으로 선택하고 공정 설계를 하였다. 결론에서는 설비비용이 많이 투입 되는 공정이 물류 흐름에서 제약자원인지는 추가 검증의 필요성을 제시하였다.

윤건구 외[32]는 플라스틱보트 제조공정의 문제점을 제약이론의 DBR과 사고프로세스를 이용하여 CCR과 개선방안을 도출 하였다. 그리고 제조 공정에서 발생하는 공정상의 문제들을 제약이론과 통계적 분석을 통해 해결방안을 제시하고 기대효과를 검증 하였다.

TOC를 적용한 ERP 시스템에 대한 기존 연구는 최근 스마트공장의 TOC 적용을 포함하여, 생산계획 및 재고보충, 자재소요량계획(Material Requirement Planning), 공정관리 등 생산의 상위 프로세스를 연구한 것으로 조사되었다(<Table 1> 참조).

<Table 1> Related Literature

Topics	Author
Project Management	Park, M.S. and 3 others[25], Izmailov and 3 others[6]
Supply Chian Management	Wu, Horng-Huei and 2 others[30], Wen, Zhang and 3 others[29]
Advanced Planning System/ Production Planning/ Material Requirement Planning	Kim, W.S.[14], Kim, S.K. and Lee, J.H.[12, 13], Na, C.H.[22]
	Yok, Y.S. and Kim, B.K.[31], Yoshida, A. and Park, J.H.[33, 34]
	Jang, S.Y.[7], Jung, N.G. and 6 others[9], Jee, Y.G.[8]
	Denisa, Ferencikova[1], Golmohammadin[3], Na, C.H.[22]
	Ock, Y.S. and Park, C.H.[23]
Research Capacity Constraint Resource	Kwak, T.H.[15], Yoon, G.G. and 3 others[32]
	Hong, M.S. and 3 others[4], Okutmus and 2 others[24]
	Zhou, Zhugen, and Oliver Rose[35], Umble & Larry[28]
Distribution & Logistics	Viera Sukalovaa and Pavel Cenigaa[27]
Manufacturing Cost	Lea, Bih-Ru[16]
Stock replenishment	Lowalekar, Harshal, and R. Raghavend-ra Ravi.[20]
	Wu, Horng-Huei and 2 others[30], Umble and Larry[28]
Facility Lay-Out	Kim, B.J. and 3 others[11]

본 연구에서는 ERP, MES를 운영하는 제조업체의 공정 실적 집계지점(Gathering Point)을 TOC 사상 기반으로 재정의하였다. 이에 수반하여 ERP 생산기준정보인 작업장(Work Center)정의를 CCR을 가진 작업장 중심으로 정의하였으며, 표준시간을 재정립함으로써 제조원가의 신뢰도를 향상시키고자 하였다.

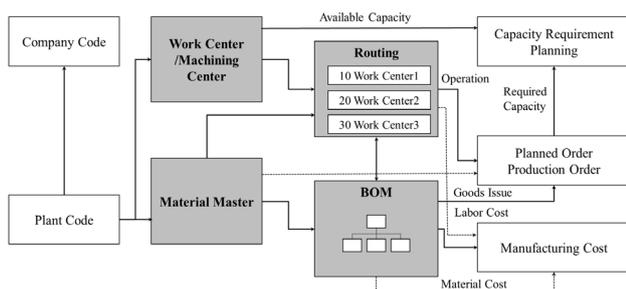
2.3 ERP 표준 공정도와 작업장

2.3.1 작업장(Work Center)

ERP에서 작업장(Work Center, 이하 작업장)은 공장이나 공정에서 작업을 해야 하는 장소, 혹은 기계설비 또는 작업자그룹으로 표현된다. 즉, 작업장은 생산행위가 처리되는 장소나 위치로 정의된다. 일부에서는 Machining Center나 Capacity Center로 부르기도 한다. 또한 작업장은 관리 회계모듈의 비용 집계처(Cost Center)와 연결되어, 표준원가(Standard Cost)를 계획하는 중요한 역할을 한다. 즉 해당 공정의 공정실적은 각 작업장 단위로 집계가 된다. 작업장은 귀속된 비용집계처로 실적을 다시 전송하게 되며, 비용집계처는 기간단위로 실적을 집계하여 원가결산 시 직접노무비 산정의 중요한 자료로 사용된다.

2.3.2 표준 공정도(Routing)

표준 공정도는 생산을 수행하기 위한 일련의 작업순서로써 작업장을 통해서 구현되며, 작업지시와 생산계획의 기본 자료로 사용된다. 또한 부품구조도(Bill Of Material, 이하 BOM) 단계 중 완제품과 반제품이 해당 표준 공정도에 연계되어 사용된다.



<Figure 1> Integration of Production Master Data

따라서 표준 공정도는 공장이나 제조현장에서 제품을 만들기 위한 순서로써 작업 장소, 작업량, 표준시간 정보를 포함하고 있다. 다시 말해, 작업장순서의 조합이 표준 공정도라고 간주할 수 있다.

<Figure 1>을 보면 표준 공정도는 자재마스터의 완제품 혹은 반제품을 대상으로 할당이 되며, 공정에서 작업을 해야 할 작업순서를 정의하고 있다. 작업순서에는 각각의 작업장이 지정되어 있으며, 공정(Operation)이라는

형태로 완성된다. 또한 각 공정은 BOM과 연계되어 해당 공정에 투입되어야 할 자재투입량 정보를 가지고 있다. 각각의 기준정보는 통합연계가 되어 생산원가계산과 생산계획을 하는 용도로 사용된다.

작업장과 표준 공정도는 ERP 구축 성공의 중요한 요소 중 하나이다. 해당 표준 공정도를 어떻게 정의하고 설계하느냐에 따라 공정관리에 많은 영향을 미친다. 본 논문에서는 TOC 이론을 적용하여 작업장과 표준공정도를 재정의하였다.

3. 적용사례 개요

3.1 주요 사업 및 경영환경

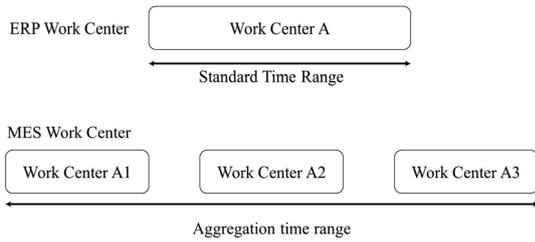
해당 회사는 설립된 지 50년 이상 된 전자부품 제조회사이며, 주 생산품은 전기를 일정기간 충전하였다가 방전하는 콘덴서를 제조하는 회사이다.

세부 생산 품목은 전력용 콘덴서, 세라믹 콘덴서, 칩(Chip)형 콘덴서 등이 있다. 콘덴서는 전기를 저장(충전)하고 사용(방전)하는 부품으로 배터리보다 규모가 훨씬 작은 규모의 전기 저장장치로써 TV, 디지털카메라, 자동차, 퍼스널컴퓨터 대부분의 전기 제품에 사용된다. 해당 사업장은 지속적인 성장을 보이며, 2000년도 중반에 접어들면서 국내의 경기둔화와 전방 전기/전자 산업의 부진으로 매출 규모가 축소되었다. 그러나 지속적인 경영혁신과 원가개선으로 영업이익과 순이익이 흑자 전환되고, 활발한 연구개발과 신제품 개발로 콘덴서 업계의 선두를 차지하고 있는 우량기업으로 변화하였다.

이러한 지속적인 성장 속에서 경영체질 개선 및 추가 성장의 발판을 ERP 도입을 통하여 진행하려고 하였다. 구축 이후에 조기결산 체제 및 통합정보시스템으로서의 효과도 있었지만, 사양별 정확한 제조원가 산출과 ERP를 통한 제조공정혁신은 제한적이었다.

3.2 구축의 문제점

해당 회사는 2000년도 초반에 경영혁신의 일환으로 ERP를 구축하였다. 구축 후 2번의 고도화를 진행하였으나, MES에서의 생산실적 송신공정과 전송 받는 ERP 작업장에서 정보의 비동기성 문제가 있다는 것이 발견되었다. 구축당시의 ERP에서 작업장은 유사 공정을 그룹화하여 정의하였다. 때문에 작업장 기준으로 정의된 표준시간도 여러 유사 공정의 표준시간 총합으로 설정된 상황이었다. 반면에 MES에서는 라인현장의 특수성과 작업관리를 감안하며 공정별로 보다 세분화한 작업장으로 분류하여 구분하였다.



<Figure 2> Difference between ERP and MES

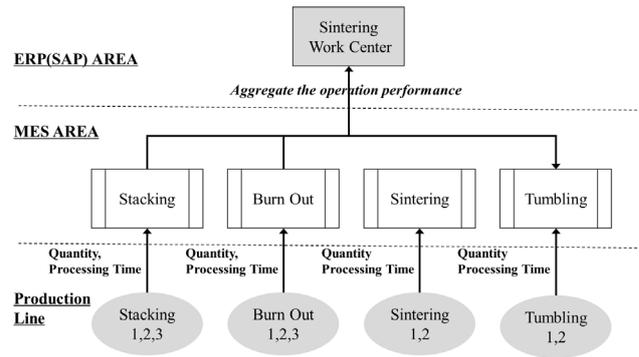
<Figure 2>는 ERP 작업장 ‘A’는 공정 혹은 생산 라인의 대표성을 의미한다. 그러나 ERP 작업장이 MES 세부 작업장의 모든 속성을 포함할 수 없다는 것을 알 수 있다.

위와 같은 이유로 MES에서 집계한 작업시간이 ERP로 전송되는데, 표준시간의 범위와 실적시간의 범위가 다른 사유로 결산 시 표준시간과 실제 실적시간을 비교, 평가할 수 없었다. 더구나 실적시간은 제조원가와 관련이 있기 때문에 제조원가 정합성의 평가가 현실적으로 불가능하였다.

또한 신규제품이 발생하여 기준정보를 생성할 경우에, 표준시간은 기존 유사 사양(Specification)의 표준시간 정보를 복사(Copy)하여 등록하는 업무관행이 지속적으로 진행되었다. 그 결과, 사양별 표준시간의 신뢰도에 많은 문제가 발생되었다. 제품 사양의 차이가 큰 제품의 실제 공정 가공시간은 두 배 가량의 심각한 차이를 보이고 있는데도 불구하고, ERP에 등록된 표준시간은 유사하거나, 동일하게 등록되기도 하였다. 이 경우 생산계획을 수립 하더라도 공정능력 부하조정을 할 수 없으며, 표준원가가 왜곡되는 중요한 요인 중의 하나가 될 수밖에 없었다. 따라서 전반적으로 표준공정도 및 표준시간의 재정립이 필요한 상황이었다.

MES에서는 생산라인을 통제하고 공정상황을 반영하기 위해, ERP 작업장에 대응하는 세부 공정별 설비를 분리하여 라인의 실적을 수집하였다. ERP 작업장으로의 실적 전송 방식은 <Figure 3>처럼 첫 공정 시작시각과 마지막 공정 종료시각의 작업시간 총합과 작업수량을 ERP에 전송하였다.

이러한 이유 때문에 각 공정간 이동시간과 대기시간이 포함된 실적이 ERP 작업장에 전송되는 현상도 발생이 되었다. 결국 월 결산 시 표준원가가 제공하는 데이터 중 노무비 부분의 표준시간과, 결산 후 제공되는 실제 공정실적



<Figure 3> Relationship between ERP and MES

데이터간의 큰 편차로 인하여 제조원가 신뢰도 저하의 원인이 되었다. 이는 ERP 작업장은 유사공정을 그룹화한 대공정 개념의 작업장으로 설계가 되었으며, MES 작업장은 소공정 중심으로 설계가 되어 두 작업장 간의 관계가 1:多의 종속적인 관계로 구성되었기 때문이다.

3.3 이슈에 대한 통계적 검증

표준시간과 실제 공정실적 시간과의 차이를 검증하기 위하여 특정부품, 특정공정의 실적 데이터를 표본추출(sampling)하고, 취합하여 대응표본 t-검정을 실시하였다.

분석 대상 데이터는 공정활동 및 데이터발생 빈도가 많은 소성공정에서 채집하였다. 데이터는 아래와 같다(<Table 2> 참조). 실제 집계된 공정실적을 표준시간의 기본 Lot 수(1,000개)에 맞게 변환하였으며, 표본 수 n = 45로 진행하였다.

차이에 대한 t-검정을 실시한 결과, 해당 데이터는 표준과 실적에 차이가 있다고 판단할 수 있다.

4. TOC를 적용한 이슈해결

공정 실적 집계지점(Gathering Point)을 재설정하고 표준시간을 재정의하기 전에 우선적으로 해당 공정의 속성을 파악하여야 한다. 공정을 우선적으로 직렬공정, 병렬공정, 혼합공정이라고 사전에 가정하고 공정물류의 흐름을 분석하였다.

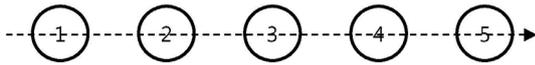
<Table 2> Actual Process Time of Sintering Operation

(minute/1,000lot)

Operation	Actual Processing Time										Standard Processing Time
Sintering	0.326	0.294	1.321	0.543	0.350	0.337	0.124	0.124	0.123	0.102	
	0.011	0.338	0.329	0.324	0.338	0.342	0.330	1.176	1.146		
	1.188	1.146	0.303	0.014	0.307	0.299	0.305	0.206	0.594		
	0.131	0.187	0.196	0.413	0.217	0.205	0.200	0.197	0.193		
	0.164	0.163	0.180	6.152	0.159	0.163	0.177	0.178	0.179		

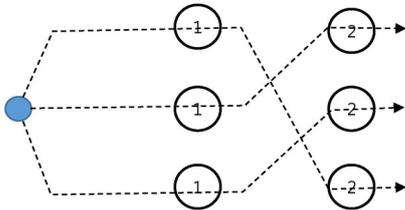
4.1 정의

물류 흐름과 설비의 배치에 따라 직렬공정(Serial Process)과 병렬공정(Parallel Process)으로 정의한다. 직렬공정은 단일설비 또는 단일공정이 <Figure 4>처럼 작업 순서에 따라 물류가 순차적으로 이동을 하며, 각 공정별 생산능력(Capacity)은 서로 독립적이다.



<Figure 4> Serial Process

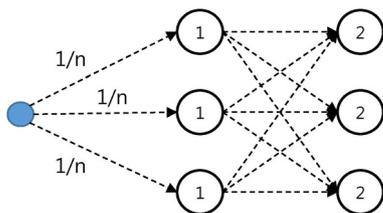
병렬공정은 유사설비 또는 유사 그룹이 동일 장소에서 같은 작업 또는 행위를 하는 것을 의미하며, 해당 반제품이 각 공정 그룹 내 설비 생산성 및 대기시간 상황에 따라 유동적으로 투입된다(<Figure 5> 참조). 각 공정 그룹은 같은 공정능력으로 묶여 있으나, 설비특성은 같은데 공정능력이 다른 경우도 존재할 수 있다. 이 경우 각 설비별 공정 능력치 평균으로 가용 생산능력(Available Capacity, 이하 가용 생산능력)을 산정하거나, 사용 빈도에 따라 가중평균을 구하여 가용 생산능력으로 산정한다.



<Figure 5> Parallel Process

병렬공정을 X_i 라고 정의하면 해당공정의 가용 생산능력은 설비 생산능력의 평균으로 정의한다.

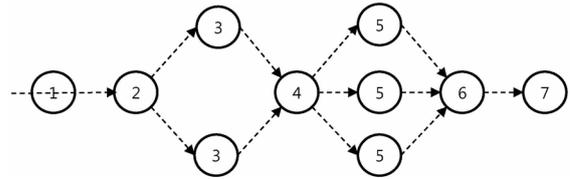
분산공정(Dispersion Process)은 병렬공정과 물리적으로 유사한 배치를 가지고 있다. 차이점은 Lot가 투입되면 여러 개의 유사 동일 공정 중 하나를 선택하여 투입되는 것이 아니라, 투입 Lot 수÷유사 공정수로 분할되어 Lot가 투입된다. 이 경우 <Figure 6>과 같이, 해당 공정의 가용 생산능력은 설비별 생산능력치를 더한 값이다. 즉 분산공정의 가용 생산능력은 설비별 생산능력치의 합으로 정의한다.



<Figure 6> Dispersion Process

4.2 공정현황

부품 사업부와 중전기 사업부의 경우 <Figure 7>과 같이 직렬공정과 병렬공정, 분산공정이 혼재하여 물류가 흐르고 있는 것으로 분석되었으며, 해당공정의 애로공정을 파악하여 CCR 정의가 가능하다고 판단하였다.

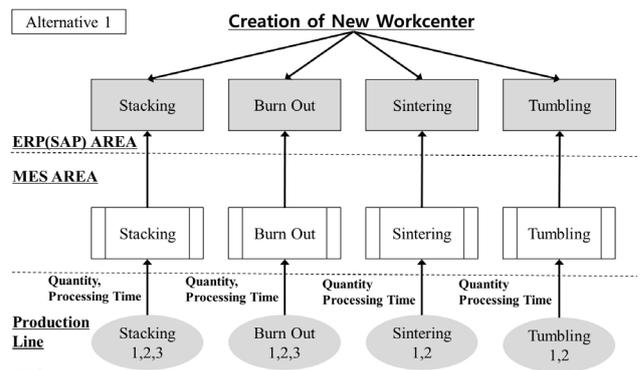


<Figure 7> Result of Sample Process

4.3 공정 실적 Point 적용 및 작업장 정의

위에서 제시한 것처럼 ERP 작업장과 MES 간의 공정 실적 정보 비동기화가 문제되기 때문에 정확한 원가정보 파악이 힘들고 생산 작업지시, 공정 스케줄링이 현실대로 적용되지 않는 문제점이 발생하게 된다.

이에 대한 대처 방안으로 MES의 현재 집계 포인트 중에서 공정별 제약조건을 찾은 뒤 해당 제약조건에 해당하는 공정을 ERP 공정에 대응하는 작업장으로 간주한다. 즉, MES 실적집계 및 공정능력산정의 기준을 각 공정별 세부공정 중 부하공정을 기준으로 설정한다. 또한 기준 유사사양에 의한 표준시간 산정에서 각 공정별 특성치에 따른 표준시간을 도출하도록 기준을 설정한다.



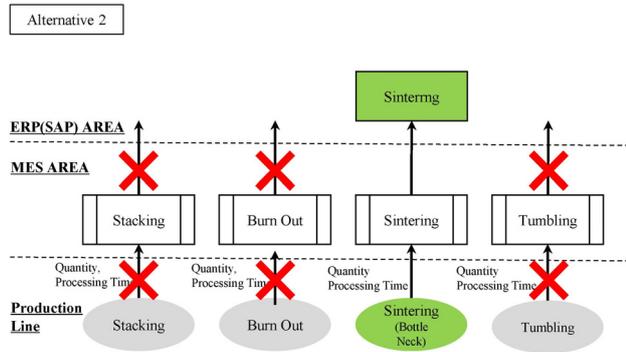
<Figure 8> Alternative 1

세부공정 상황을 고려한 MES 등록 작업은 2개의 안으로 정의한다. 첫 번째 안의 경우 위 <Figure 8>처럼 MES 세부공정과 동일하게 ERP의 작업장을 재분류하여 설정하는 방안이다. 이 경우 ERP 표준공정도의 공정순서가 급격하게 증가하여, 공정부하계획(Capacity Planning)의 복잡도와 관리 포인트의 증가 현상이 나타난다.

두 번째 안은 MES의 공정실적집계 작업장 중 CCR 공정만 정의하여 ERP 작업장과 1:1로 정보를 송수신하는 방안으로 재정의하는 방안이다. <Figure 9>에서 적층 세라믹을 열처리 하는 일련의 공정 중 소성공정(Sintering)이 가장 많은 제약을 가진 CCR 공정이며, 가용 생산능력 공정임을 알 수 있다.

본 연구에는 위 대안 중 2안을 선택하여 각 공정의 요소작업 중 CCR을 공정실적 포인트로 선정하고, 그 외 요소작업은 공정실적 포인트 내 작업시간에 종속된다고 간주하였다. 또한 각 공정별 CCR을 기준으로 표준공수를 재산정하였다.

또한 표준공수는 제품의 노무비, 생산능력 분석, 공정 스케줄링에 중요한 영향을 끼치는 요소이기 때문에 각 공정별 변동요인을 동작분석을 통하여 다시 도출하였다.



<Figure 9> Alternative 2

변동요인은 가용 생산능력에 영향을 미치는 인자(Factor)이며 길이, 면적, 체적, 수량 등으로 정의된다. 그리고 공정별 변동요인 중 CCR 공정의 변동요인을 대표 변동요인으로 결정하였다.

<Table 3>의 NH 조립 공정의 경우, 각 요소작업 중 제약요소인 결선작업을 제약공정으로 정의하고 해당 제약공정의 변동요인을 도출하여 가용 생산능력 계산식을 도출한다. 가용 생산능력계산의 목적은 변동요인을 함수화하여 표준시간을 도출하는데 있다.

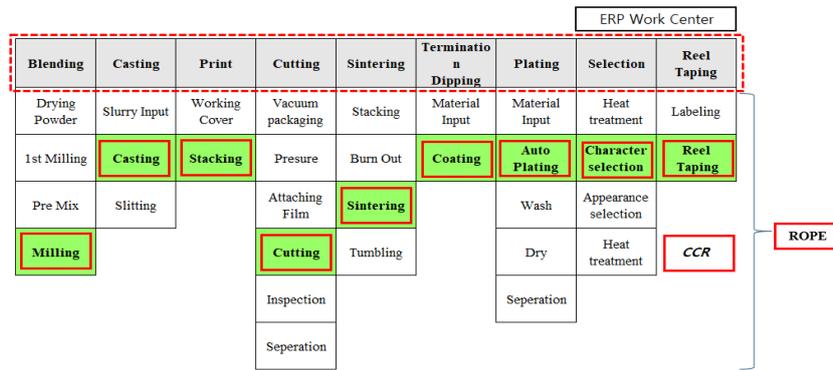
예를 들어 전해지를 원통형으로 등글게 감는 권취공정(Winding)의 경우 전기 저장소의 수(소자 수)와 전극장의 크기 그리고 권취설비의 회전속도가 변동요인이다. 이 변동요인은 상호 비례의 관계에 있기 때문에 다음과 같은 공정능력 계산식이 도출된다.

$$\text{권취공정 공정능력} = \text{소자수} \times \text{전극장} \times \text{설비속도}(0.32\text{M/sec})$$

권취공정에 투입되는 부품의 사양이 각각 3,300V, 3P, 300K, 24소자, 35전극장인 경우에 표준시간은 24소자×35전극장×3.12 sec/Meter의 계산식이 사용되며 각각의 수치를 곱한 값이 표준시간의 정의가 된다. 즉 권취공정에 투입되는 해당 사양의 표준시간은 단위 Meter당 3.75분이 도출된다. 최종적으로 <Figure 10>과 같은 TOC의 DBR 이론을 적용한 CCR과 Rope, 공정별 실적포인트를 전사 공정에 적용하였다.

<Table 3> Derivation of Variable factors through Time & Motion Study Analysis

Operation	Work of Element	Personnel	Variable factor		Operation	
					Start	End
NH Assembly	Receiving Materials	1	-	-	Carriage	Standby for Assembly
	Set up Laser welding	2	Material Specification	Size	Position Change	Waiting for welding
	Insulator welding work	1	Phase Classification	Single Phase	Loading	Seperation
	Electric Wiring	2	Phase Classification	Three Phase	Take Over	Close
	Set up Facility	1	By product specification		Loading	Positioning
	Welding	1	Base Size	43 size	Put On the Machine	Waiting for washing after welding
				53 size		
				63 size		
	Impurity removal	1	Sanding Time	-	Air injection	Cleaning after sealing
	Nitrogen input	1	Product Size	43 size	Wash	Exit after nitrogen injection
				53 size		
				63 size		
Impregnation process movement	1	Number of pallets	1~2	Nitrogen injection end	Impregnation process inlet	
Preparation of welding auxiliary materials	1	Moving Distance		Assembly	Assembly	



<Figure 10> Process Performance Point Considering CCR

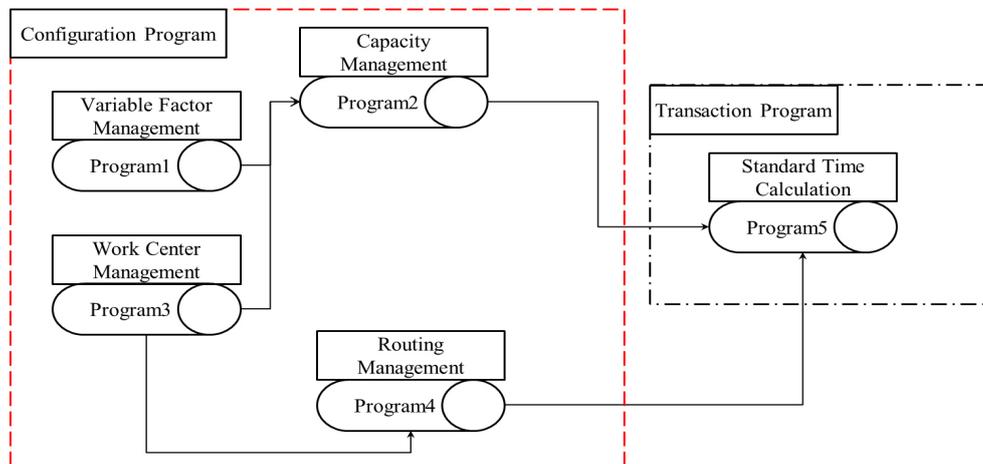
4.4 표준시간 생성 프로그램 개발

ERP 도입 당시, 사례회사는 신속한 원가정보제공과 원가통제관리 도구로써 표준원가 계산제도를 도입하였다. 이 제도는 실제원가와 대응되는 개념으로 모든 프로세스가 정상적인 상황일 때, 실적과 일치되는 원가개념이다. 따라서 표준원가 대비 실제원가의 차이가 크면, 정상적이지 않은 이슈가 발생하였다는 것이며, 이런 비정상적인 요소를 찾아내 개선하는데 그 의의가 있다. 그리고 표준원가 구성요소에 영향을 미치는 것이 표준시간이며,

직접노무비산정의 기준이 되는 중요한 요소가 된다. 그러므로 공정 생산능력치 계산식을 이용한 표준시간 재구축과 생성, 변경에 대한 절차 갱신 및 관리 통제가 필요하게 된다. 이에 부응하고자 표준공수생성, 변경에 대한 프로세스를 ERP 시스템의 아랍(Advanced Business Application Programming)프로그램으로 개발하였다(<Figure 11> 참조). 이 프로세스에서는 변동 요인과 요인별 공정능력치, 표준공정, 공정능력치 추세를 DB에 저장하고 마스터 프로그램을 구성하여 주기적으로 가용 생산능력을 관리하게 하였다. 주요 절차는 <Figure 12>와 같다.

Plant	Material Code	Text	Basic Qty	Work Center	Variable Factor 1	Value	Variable Factor 2	Value	man	Machine	Pitch Time
1001	D0500*****	**00VDC *P* S;f	1	1122	Device Qty_Electrode Length	2	Device Qty_Electrode Length	58.69	1	2	0.49 min

<Figure 11> Example of Standard Time Calculation Program



<Figure 12> Mega Process of Standard Time Calculation

우선 해당 마스터 프로그램을 기반으로 생성, 변경 시마다 담당자가 변동요인에 해당되는 파라메타 값을 입력하게 된다. 각 파라메타 값은 마스터프로그램 정보를 참고하여 표준시간을 생성하게 된다. 다시 표준시간 생성 후 자동적으로 표준공정도를 생성하는 프로그램을 통하여 표준 공정도를 신규, 갱신하게 한다. 이로 인하여 표준시간을 CCR(계약자원)중심으로 업데이트 하였으며, 신규 생성 시 마다 제품 사양에 따른 정확한 표준시간이 산출된다. 또한 MES 실적 포인트와 1:1 관계를 유지하게 되어, 실제 공정실적과 비교 분석할 수 있는 기반이 마련된다.

4.5 원가차원에서의 개선

TOC의 DBR 이론을 적용한 MES의 실적 Point 개선과 CCR을 이용한 표준시간 재정립은 시스템간의 비동기 현상을 제거하여 생산현장의 운영효율성과 업무투명성을 확보할 수 있도록 한다. 또한 CCR을 중심으로 재정비된 표준시간은 사양별 노무비의 변화를 가져와서, 정비 전에 비해서 표준노무비가 최소 30%에서 최대 50%까지 감소하였다(<Table 4(A)>, <Table 4(B)> 참조).

정비 전 표준시간은 유사 공정을 그룹화한 대공정 기준의 표준시간으로, 다수 세부공정 표준시간의 총합이 포함되어 노무비를 과대평가하여 계산하였기 때문에 큰 폭의 감소가 발생한 것으로 판단된다.

4.6 표준시간 정비에 대한 타당성

<Table 5>는 최근(2017년 6월 기준) MES에서 전송된 실적과 표준시간과의 차이를 표준/실적의 공수효율지표로 수치화한 한 달 간의 실적 비교표이다. 공수효율이란 보유한 표준작업공수 대비 실제 생산 공수로써 이를 비교 분석하여 기간별 생산효율을 구하는데 의의가 있다. 산출 공식은(표준시간×생산량)/(실제 작업공수)로 정의한다. 본 공수효율로 생산성을 분석할 경우 작업유실 여부와 표준시간 산정의 정합성을 파악할 수 있으며, 공정물류 흐름에 무리가 없는지 원인분석을 할 수 있다.

<Table 4(A)> Changes in Standard Labor Costs of Power Capacitor through Standard Time Updates

Power Capacitor Standard Cost per 1ea (₩)

	High Voltage Kva	Low Voltage Kva	Low Voltage μF
Before(A)	74,294	24,659	9,728
After(B)	44,138	15,860	4,847
Difference(B-A)	-30,156	-8,799	-4,881
Rate	-41%	-36%	-50%

<Table 4(B)> Changes in Standard Labor Costs of Laminated Ceramic Capacitor through Standard Time Updates

Laminated Ceramic Capacitor Standard Cost per 10,000ea (₩)

	1005	1680	2012	3216	3225
Before(A)	2,407	4,174	6,533	16,734	3,8410
After(B)	1,339	2,420	4,520	10,839	27,048
Difference(B-A)	-1,068	-1,754	-2,013	-5,895	-11,362
Rate	-44%	-42%	-31%	-35%	-30%

<Table 5>에 나타난 바와 같이, 표준시간 적용 전에는 60%대의 공수효율을 보이고 있다. 즉 표준시간이 적절하게 산출되어있지 않으며, 집계된 실적공수 또한 표준공수보다 30% 이상 상향 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 반면 TOC의 DBR 이론을 적용한 표준공수와 실적공수를 비교하면 전반적으로 100%선의 공수효율을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

일부 공정(고압검사, 도장공정)의 경우 공수효율이 다소 상향으로 산출되었는데, 이는 해당공정이 인적요소에 의한 영향이 큰 공정이기 때문에 발생한 것으로 파악되었다. 즉 작업자가 숙련공이 되어 작업처리 능력이 향상되었음을 의미한다. 이러한 경우에는 계약자원의 생산능력 변동요인(전압, 용량)의 파라메타 입력값을 상향 조정하여 적절하게 변경할 수 있도록 하였다.

즉, 해당 실적공수의 추세를 분석하여, 상승 추세나, 하강 추세를 보이면 표준공수를 재조정하고 변동요인의 가용 생산능력 계수를 조정할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

<Table 5> Production Efficiency Ratio

		High Voltage Winding	High Voltage Assembly	High Voltage Impregnation	High Voltage Inspection	FC Wiring	Spray	Sum
Before	Production Quantity	18,793	9,687	11,690	5,798	21,892	10,111	
	Standard Time(min)	553	353	1,096	148	768	567	3,484
	Actual Time (min)	889	659	1,569	197	1,543	811	5,667
	Production Efficiency Rate	62.2%	53.6%	69.9%	75.1%	49.8%	69.9%	61.5%
After	ProductionQuantity	1,298	1,956	1,606	1,507	1,380	1,990	
	Standard Time(min)	56,618	38,168	43,926	13,257	142,963	34,788	329,720
	Actual Time(min)	51,800	35,404	39,060	10,145	139,560	30,019	305,988
	Production Efficiency Rate	109.3%	107.8%	112.5%	130.7%	102.4%	115.9%	107.8%

5. 결 론

본 연구에서는 TOC의 DBR 이론을 아래와 같은 부문에 적용하였다.

첫 번째 ERP에서 생산기준정보인 작업장 정의에 대한 방법론이다. 설비의 형태별, 위치별, 기능별 분류에 따른 기존 정의방법과는 다르게 TOC의 DBR 이론 기반으로 정의하였다.

두 번째 ERP 시스템과 MES 시스템 간의 정보 송수신에 대한 동기화를 위하여, 제약자원인 CCR을 찾아서 공정 현장 정보의 실질적인 연계가 가능하도록 하였다. 그리고 MES 시스템 작업장 정의를 CCR 기준으로 재정비하고, 실적을 취합하고 전송하는 공정 실적 집계지점(Gathering Point)을 정의하였다.

세 번째 ERP 시스템의 표준시간을 CCR과 변동요인 기준으로 사양별, 용량별로 재정의하여, 현실적인 표준시간 도출이 가능하게 되었다. 정비 전에는 제품 사양별 표준시간 산출이 불가하였으며, 제품 사양별 원가 산출에 대한 신뢰도가 저하되어, 그에 수반되는 경영분석활동을 할 수 없었다. 사양별 원가 분석은 ERP를 통하여 데이터는 산출되었으나, 제공되는 정보 신뢰도에 대한 문제로 인하여, 별도의 엑셀작업으로 가공, 정제된 데이터를 사용하는 실정이었다.

본 연구에서 제시한 CCR 기반의 표준시간 재정비는 노무비 변동에 영향을 미쳤으며, 표준노무비가 기존에 비해 하향조정 되었다는 것을 알게 되었다. 실제월가 측면에서는 MES 송신 데이터의 정보동기화로 사양별 실제 원가의 신뢰도를 향상시킬 수 있었다. 해당 회사에서는 변동비와 고정비를 계획 배부율로 즉, 동일 기준으로 적용할 수밖에 없었으나, 본 개선 이후 변동비는 실적 기준으로, 고정비는 계획 배부율로 변경하였으며, 제조 공통 인건비와 경비 또한 사양별 제조시간 기준으로 배부하게 하였다. 이를 계기로 실적원가 기준의 사양별 한계이익을 ERP에서 제공할 수 있게 되었으며, 경영진과 관리자는 경영의사결정의 도구로 사용할 수 있게 되었다.

생산관리에서는 생산계획자가 표준 대비 실적공수에 대한 생산효율을 분석한 후, 공정별 월 공수계획을 생산 라인에 재배포하고, 공수효율이 낮은 CCR에 대한 관리가 가능해졌다. 즉, 생산계획 물량에 대한 잔업관리를 잔여 물량에 대한 표준시간 기준으로 통제하였다. 또한 공수효율이 좋지 않은 공정은 원인을 조사하여 공수효율을 향상하기 위한 관리가 가능하게 되었으며, 이를 통해 생산성 향상의 효과와 원가절감 효과를 도모하였다.

끝으로 생산계획 수립 시 공정별 가용 생산능력 및 부하산정을 CCR 중심으로 수행하여, 공정별 부하를 고려한 생산계획수립이 가능하게 되었으나, 본 논문에서는

이에 대한 연구검증이 없기 때문에 이에 대한 효과는 배제하였다. 따라서 TOC와 공정능력계획(Capacity Requirement Planning)에 대한 연계성에 대해서 추가적인 연구계획이 필요하다고 본다. 아울러 Industry4.0 생산공장(Smart Factory)에서 본 연구에서와 같이 TOC 이론의 적용에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

Acknowledgement

This study was supported by the Research Program funded by the SeoulTech(Seoul National University of Science & Technology).

References

- [1] Denisa, F., Bottleneck management in discrete batch production, *Journal of Competitiveness*, 2012, Vol. 4, No. 2, pp. 161-171.
- [2] Gattiker, T.F. and Goodhue, D.L., What happens after ERP implementation : Understanding the impact of interdependence and differentiation on plant-level outcomes, *MIS Quarterly*, 2005, Vol. 29, No. 3, pp. 59-585.
- [3] Golmohammadi, D., A study of scheduling under the theory of constraints, *International Journal of production Economics*, 2015, Vol. 165, pp. 38-50.
- [4] Hong, M.S., Yun, C.J., Min, B.D., and Rim, S.C., Determining CCR by considering facility cost, *Journal of the Korean Operations Research and Management Society*, 2004, pp. 387-391.
- [5] Hwang, J.H., Realizing an Object-Oriented Informationalization for Activity-Based Business Processing, *Journal of The Korea Society of IT Services*, 2013, Vol. 12, No. 1, pp. 309-321.
- [6] Izmailov, A., Korneva, D., and Kozhemiakin, A., Effective Project Management with Theory of Constraints, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2016, Vol. 229, pp. 96-103.
- [7] Jang, S.Y., State-of-the-Art of DBR Scheduling Methodology, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2003, pp. 654-661.
- [8] Jee, Y.J., TOC/JIT/MRP integration model for flexible production scheduling under dynamic manufacturing environment, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2004, pp. 383-386.
- [9] Jung, N.G., Choi, J.G., Jung, S.H., and Kim, S.J., A Study of APS System Design based on the TOC DBR,

- Journal of the Korean Operations Research and Management Society*, 2001, pp. 532-535.
- [10] Kang, D.Y., Jang, H.S., and Kim, J.K., Comparative on Impact of Qualitative and Quantitative of ERP Systems on Korean Firms, *Journal of The Korea Contents Association*, 2009, Vol. 9, No. 4, pp. 42-153.
- [11] Kim, B.J., Kim, D.H., Lee, I.S., and Jun, C.S., A Study on a Smart Factory Layout Design Based on TOC-DBR, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2017, Vol. 43, No. 1, pp. 12-18.
- [12] Kim, S.K. and Lee, J.H., A Study on Resource Plan for Semi-Conductor Assembly Through Wire Count Factor Based on TOC : A Case Study of S Corp., *Journal of DAEHAN Association of Business Administration*, 2013, pp. 1341-1356.
- [13] Kim, S.K. and Lee, J.H., An Application Case of TOC Theory on Semi-Conductor Assembly Process, *Journal of The Korean Operations Research And Management Society*, 2010, pp. 657-662.
- [14] Kim, W.S., Production Management System Construction based on TOC-the case of Hwacheon Machine Tool, [dissertation], [Gwangju, Korea] : The Graduate School, Chonnam University, 2009.
- [15] Kwak, T.H., An Analysis on Important Factors for Selection of Constraint Resource based on Theory of Constraints, [dissertation], [Seoul, Korea] : The Graduate School, Myongji University, 2015.
- [16] Lea, B.-R., Management accounting in ERP integrated MRP and TOC environments, *Industrial Management & Data Systems*, 2007, Vol. 107, No. 8, pp. 1188-1211.
- [17] Lee, J.G., Jung, Y.K., and Heo, B.K., Financial Analysis of the Effect of the ERP System Implementation and the Productivity Paradox, *Journal of The Korean Academic Society of Business Administration*, 2008, pp. 1-23.
- [18] Lee, S.H., Application of Information Technology using Theory of Constraint, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 1996, Vol. 19, No. 37, pp. 271-278.
- [19] Lim, K.C., An Analysis of Effect of a Fit Between Success Factors of ERP Implementation and Information Characteristics of ERP System Performance, *Journal of The Korea Contents Association*, 2006, Vol. 6, No. 2, pp. 136-145.
- [20] Lowalekar, H. and Ravi, R.R., Revolutionizing blood bank inventory management using the TOC thinking process : An Indian case study, *International Journal of Production Economics*, 2017, Vol. 186, pp. 89-122.
- [21] Ministry of Science, ICT and Future Planning, February 6, 2015 Press Release, 2015, p. 3.
- [22] Na, C.H., A Study on the Improvement of JIT/MRP System with Constraint, [dissertation], [Seongnam, Korea] : The Graduate School of Gachon University, 2015.
- [23] Ock, Y.S. and Park, C.H., Development of the DBR Scheduling system using UML and the Visual Basic, *Journal of the Korea Contents Society*, 2006, pp. 31-36.
- [24] Okutmus, E., Kahveci, A., and Kartasova, J., Using theory of constraints for reaching optimal product mix : an application in the furniture sector, *Intellectual Economics*, 2015, Vol. 9, No. 2, pp. 138-149.
- [25] Park, M.S., Kim, K.R., Shin, D.W., and Cha, H.S., Improvement on TACT Scheduling Method Applying Theory of Constraints, *Journal of The Architectural of Institute of Korea Structure & Construction*, 2006, Vol. 22, No. 6, pp. 139-146.
- [26] Shin, H.S. and Kim, S.H., Research on the Typical Mis-Conceptions on Enterprise Resource Planning, *Journal of The Korea Society of IT Services*, 2010, Vol. 9, No. 20, pp. 107-127.
- [27] Sukalovaa, V. and Cenigaa, P., Application of The Theory of Constraints Instrument in The Enterprise Distribution System, *Procedia Economics and Finance*, 2015, Vol. 23, pp. 134-139.
- [28] Umble, M., Umble, E., and Von Deylen, L., Integrating enterprise resources planning and theory of constraints : a case study, *Production and Inventory Management Journal*, 2001, Vol. 42, No. 2, pp. 43-48.
- [29] Wen, Z., Ya-Ming, Z., Jinbo, C., and Kaijun, L., Research on a scheduling mechanism in a complex system based on TOC, *Chaos, Solitons & Fractals*, 2016, Vol. 89, pp. 335-347.
- [30] Wu, H.-H., Lee, A.H., and Tsai, T.-P., A two-level replenishment frequency model for TOC supply chain replenishment systems under capacity constraint, *Computers and Industrial Engineering*, 2014, Vol. 72, pp. 52-159.
- [31] Yok, Y.S. and Kim, B.K., Chassis Module assembly process of the production performance method of Acquisition research, *Journal of the Korean Operations Research And Management Society*, 2013, pp. 2493-2500.
- [32] Yoon, G.G., Kim, T.G., and Lee, D.H., A Study on the Improvement of Plastic Boat Manufacturing Process

Using TOC & Statistical Analysis, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2016, Vol. 39, No. 1, pp. 130-139.

[33] Yoshida, A. and Park, J.H., Development of an Effective Manufacturing Scheduling System for PCB Manufacturing Line Using Dual DBR Method, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 2009, Vol. 10, No. 10, pp. 2935-2944.

[34] Yoshida, A. and Park, J.H., Improvement of Lead Time at A PCB Manufacturing Line Using TOC Methodology,

Korea Industrial Engineering Association spring joint conference, 2006, pp. 927-932.

[35] Zhou, Z. and O. Rose, A bottleneck detection and dynamic dispatching strategy for semiconductor wafer fabrication facilities, *Simulation Conference(WSC)*, Proceedings of the 2009 Winter, IEEE, 2009.

ORCID

Sungmin Kim | <http://orcid.org/0000-0002-6303-924X>

Jaekyoung Ahn | <http://orcid.org/0000-0001-9646-9097>