

# 시물레이션 기반 자체 구동 롤러 컨베이어 물류시스템의 전력 효율 분석

김영주 · 박희남 · 함원경 · 박상철\*

## Simulation-based Analysis of Electric Power Consumption Efficiency for Self-Driving Roller Conveyor Systems

Young J. Kim · Hee N. Park · Won K. HAM · Sang C. Park\*

### ABSTRACT

This paper is to analyze the efficiency of power consumption in logistic systems that are based on self-driving roller conveyors by the simulation technology. The improvement of the efficiency brings advantages for reducing greenhouse gas emission and logistics costs. A self-driving roller conveyor is operated only when products are loaded on itself. Thus, the self-driving roller conveyor systems consume less electric power than continuous-driving roller conveyor systems. In this paper, we design a DEVS (Discrete-Event based System) based simulation model and construct self-driving roller and continuous-driving roller conveyor models. For the verification and validation of the designed simulation system and conveyor models, we model a corresponding logistic model for the experimental environment and compare between the model and a real system. The main objective of this paper is to describe the power consumption advantage of self-driving roller conveyor based logistic systems using a simulation method.

**Key words** : Conveyor simulation, Green manufacturing, Modeling and simulation, Reduce logistics cost, Reduce power consumption, Self actuating conveyor

### 요 약

본 논문은 시물레이션을 기반으로 자체 구동 롤러 컨베이어 물류시스템의 전력 효율을 분석하는 연구이다. 물류 시스템의 전력 효율 향상은 온실 가스 배출과 물류 비용을 감소시키는 이점을 가져온다. 자체 구동 롤러 컨베이어는 제품이 접근할 때에만 구동이 된다. 따라서 자체 구동 롤러 컨베이어 기반 시스템은 연속 구동 롤러 컨베이어 시스템에 비해 더 적은 전력을 소비한다. 본 논문에서는 DEVS(이산 사건 기반 시스템) 기반의 시물레이션 시스템을 설계하고 자체 구동 롤러와 연속 구동 롤러 컨베이어 모델을 구축하였다. 설계된 시물레이션시스템과 컨베이어 모델의 검증과 확인을 위해 우리는 실험 환경에 대응하는 물류 모델을 모델링하고 모델과 실제 시스템간의 비교를 하였다. 본 연구의 주된 목적은 시물레이션 방법을 사용하여 자체 구동 롤러 컨베이어 기반 물류 시스템의 전력 소비의 이점을 설명하는 것이다.

**주요어** : 컨베이어 시물레이션, 그린 제조, 모델링, 시물레이션, 물류 비용, 전력 소모, 자체 구동 컨베이어

## 1. 서 론

\* This research was supported by a grant from "Transportation & Logistics Research Program" funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) of Korean government(14TLRP-C068170-02).

**Received:** 28 August 2015, **Revised:** 14 September 2015, **Accepted:** 17 September 2015

\***Corresponding Author:** Sang C. Park

E-mail: scpark@ajou.ac.kr

Department of Industrial Engineering, Ajou University

최근 세계적으로 지구 온난화의 다양한 원인들이 제시되며 논란이 이어지고 있으며 그린 솔루션이 주목받고 있다. 이에 따라 국내에서도 정부의 물류에너지 목표 관리제의 도입을 확대시키면서 녹색물류를 권장하고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 지난 2011년 블랙아웃으로 인하여 혼란을 겪은 이후 전력부족의 우려 또한 늘어 전력 소모를 줄이는 노력 이 시도 되었다.

물류 시스템은 자동화 저장/생산 시스템의 근간을 이루는 핵심적 기능 모듈이며 물류 시스템의 효율성이 전반적 시스템의 효율을 결정하는 경우가 많기에 효율적 물류 시스템의 설계 및 운용은 매우 중요한 사안이라 할 수 있다. 물류 시스템은 AGV(Auto Guided Vehicle), RGV(Rail Guided Vehicle)과 같이 유연하면서도 첨단 제어가 필요한 복잡한 시스템부터, 사람의 판단이 중요한 역할을 담당하는 대차, 방개차와 같은 시스템까지 다양하게 있다<sup>2)</sup>.

최근 물류업계는 온실가스 감축을 위해 최단거리 산출 시스템 도입등을 통해 친환경 물류제도를 시행하고 있다.<sup>[3][4]</sup> 수송 단계에서 Green car 도입과 차량공기저항 감소기술 적용, 경량 재질 차량 도입, 차량 적재 공간 확대, 타이어 에너지 소비효율 제도, 에코드라이빙 장려, 터미널 위치의 최적화, 수송수단 에너지 효율 향상 기술 등을 시행하고 있으며 물류 시설 단계에서는 저에너지 컨베이어 시스템, 지열과 태양열 설비를 통한 저에너지 첨단 냉장 냉동 시설, 제로탄소 고기능 단열재를 이용한 열교차단용 구조 단열재, 열전지시스템을 이용한 지열 냉난방 시스템 등을 시행하고 있다. 하지만 이러한 시행들은 대부분이 시스템의 변화보다 사람의 행동의 변화를 요구하고 시스템의 변화의 경우도 기술적인 한계와 비용문제로 인해 보다 더 나은 효율을 기대하기가 어려워 졌다.

공장 내 물류 시스템 중 컨베이어 기반 물류 시스템은 재고 이송에 높은 신뢰성을 확보할 수 있으며, 타 물류 시스템에 비해 상대적으로 구축 및 유지비용이 저렴하다. 따라서 자동화 개념이 최초로 도입되었던 1900년 초반부터, 현재 까지 물류 자동화의 필수적으로 고려되는 시스템이다. 컨베이어 시스템은 그 특징에 따라 매우 다양한 종류가 있으나, 대표적으로 ‘벨트 컨베이어’와 ‘롤러 컨베이어’로 나눌 수 있으며 ‘롤러 컨베이어’는 ‘연속 구동 롤러 컨베이어’와 ‘자체 구동 롤러 컨베이어’로 나눌 수 있다.

연속 구동 롤러 컨베이어는 상단에 무구동 롤러가 있고 아래쪽으로 구동 띠 벨트를 장착 하여 띠 벨트와 무구동 롤러의 마찰에 의해 롤러를 회전 시키는 형태로 무거운 제품을 이송하기에 적합하나 분기, 합류 및 박스단위의 제어하는데 어려움이 있다. 자체 구동 롤러 컨베이어는 롤러 자체에 모터가 장착되어 하나의 파워 롤러로 4개 정도의 무구동 롤러를 링 벨트로 연결하여 구동시키는 방법으로 특히 DC타입의 경우 분기와 합류지점 등에서 정확한 제어를 할 수 있으나 가격이 고가라는 단점을 가지고 있다<sup>5)</sup>.

본 논문에서는 시뮬레이션 기반 전력 소모 측정 시스템을 구축하여 물류센터 전기에너지 절감을 위해 개발 중

인 자체 구동 롤러 컨베이어의 전기에너지 소모량을 산정하고, 화물 처리 빈도 등의 물류 시나리오에 따른 전기에너지 소모량을 산출한다. 이를 위해 본 연구는 연속 구동 롤러 컨베이어와 자체 구동 롤러 컨베이어의 단위 전력 소모율을 도출하고, 연속 구동 롤러 컨베이어 기반 물류 시스템 모델과 자체 구동 롤러 컨베이어 기반 물류 시스템 모델을 구축한다. 구축된 각 모델의 시뮬레이션을 통해 물류 시스템이 사용하는 전력소비량을 산출하고, 효율적인 물류 시스템 구축 방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 본 논문의 전반적인 접근 방법을 소개하고 3장에서는 제안된 DEVS 기반 물류시스템 시뮬레이션 구축에 대한 설명을 하고 4장에서 시뮬레이션을 통한 전력 효율 분석에 대해 설명한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 접근 방법

### 2.1 DEVS 기반 시스템 모델링

이산사건 시스템은 아날로그 신호가 일정 주기로 표본화된 이산 신호들의 시스템으로 시스템의 상태변수가 특정 시점에서 순간적으로 변화하도록 하는 시스템이다. 이산사건 시스템은 Fig. 1과 같이 입력이벤트, 출력이벤트 그리고 상태 변수로 표현되어 진다<sup>6, 9)</sup>.

본 논문에서는 Timed-FSA(Finite State Automata)에 Hierarchy를 결합한 DEVS formalism을 이용하여 시뮬레이션 모델링을 하였다. 이산사건 기반의 시뮬레이션에서 시스템을 모델링 하는 데 필요한 요소들을 정의하고 그 구성방법을 형식적으로 정형화한 명세인 DEVS formalism은 Atomic Model과 Coupled Model로 구성되어있다<sup>8)</sup>.

#### 2.1.1 Atomic Model

Atomic Model은 내부에 그 모델의 상태를 표시하는 state set을 갖고 적절한 transition function에 따라 자신

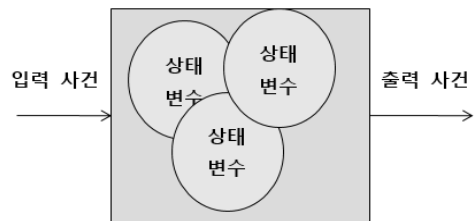


Fig. 1. Discrete Event System Diagram

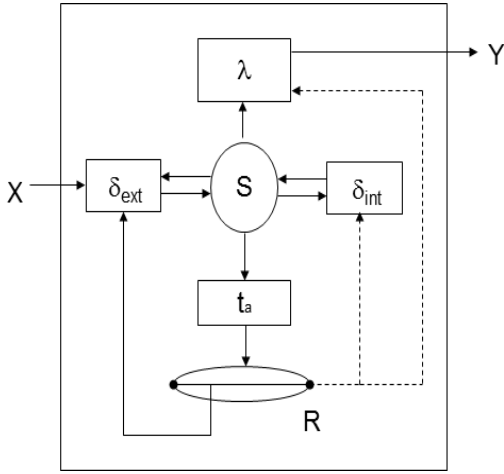


Fig. 2. Atomic Model Diagram

의 state를 변화시키는 것으로 시스템을 표현한다. 시간전진함수는 각 상태에서 입력 없이 다음 상태로 천이 하는데 걸리는 시간을 정의하는 함수이고 입력 상태 변환 함수는 시간전진함수에서 정의된 시간이 완전히 경과되기 전에 입력사건이 발생할 때 야기되는 외부상태천이를 정의하는 함수이며 출력함수는 어떤 상태에서 시간전진함수에서 정의된 시간이 완전히 경과할 때 내부 상태 천이와 동시에 발생하는 출력을 정의하는 함수이다.  $\delta_{int}$ ,  $\delta_{ext}$ ,  $\lambda$ ,  $t_a$  4개의 characteristic function을 통해 실제 atomic model의 행동양태를 결정하게 된다. Atomic model M은 다음의 식과 Fig. 2와 같이 정의될 수 있다<sup>7)</sup>.

- $M = \langle S, X, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, t_a \rangle$
- X : external input event set(입력사건 집합)
- Y : external output event set(출력사건 집합)
- S : sequential state set(상태변수 집합)
- $\delta_{int}$  : internal transition function  
(무입력상태변환함수)( $S \times R \rightarrow S$ )
- $\delta_{ext}$  : external transition function  
(입력상태변환함수)( $S \times R \times X \rightarrow S$ )
- $\lambda$  : output function(출력함수)( $S \times R \rightarrow Y$ )
- $t_a$  : time advance function(시간전진함수)( $S \rightarrow R$ )

### 2.1.2 Coupled Model

atomic model의 집합인 coupled model은 atomic model이 표현할 수 없는 계층구조를 표현할 수 있게 해준다. EIC는 coupled 모델 외부에서의 입력과 내부의 atomic 모델의 관계를 정의하고 EOC는 atomic model과 모델 외

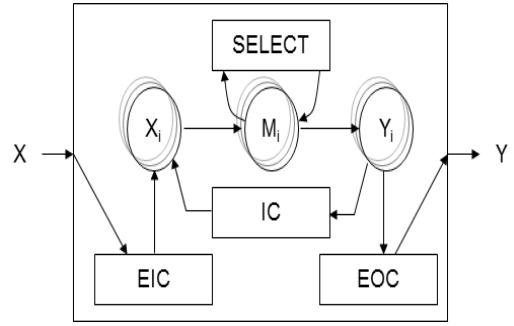


Fig. 3. Coupled Model Diagram

부로의 출력 관계를 정의한다. IC는 atomic모델 간의 관계를 정의한다. Coupled model DN은 다음식과 Fig. 3과 같이 정의될 수 있다<sup>7)</sup>.

- $DN = \langle X, Y, M, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$
- X : input events set(입력사건 집합)
- Y : output events set(출력사건 집합)
- M : set of all component models in DEVS  
(구성 요소 모델 (원자 혹은 결합 모델) 집합)
- EIC : external input coupling relation  
(외부입력 연결 명세)
- EOC : external output coupling relation  
(외부출력 연결 명세)
- IC : internal coupling relation(내부 연결 명세)
- SELECT : Select Function(우선 순위 함수)

### 2.2 컨베이어 물류 시스템

본 연구에서는 Fig. 4의 연속 구동 롤러 컨베이어와 자체 구동 롤러 컨베이어 기반의 물류 이송 수단을 비교하



Fig. 4. Roller Conveyor Belts

며, 각 수단은 다음과 같은 특징을 갖는다.

• 연속 구동 롤러 컨베이어

- 무거운 제품을 이송하기에 적합
- 제품 이송 유무 상관없이 지속적 가동
- 라인의 분기와 합류의 제어가 어려움

• 자체 구동 롤러 컨베이어

- 제품이 접근하면 센서를 통해 인식 후 가동
- 제품이 들어오지 않으면 가동 중지
- 분기와 합류 등의 복잡한 라인의 정확한 제어 가능
- 연속 구동 롤러 컨베이어보다 고가의 가격

### 3. DEVS 기반 물류 시스템 구축

#### 3.1 컨베이어 모델링

##### 3.1.1 연속 구동 롤러 컨베이어

연속 구동 롤러 컨베이어는 Fig. 5에서와 같이 Idle상태에서 전원이 켜지면 Work상태로 변하고 전원이 꺼지면 다시 Idle상태가 되도록 모델링 되었다.

##### 3.1.2 자체 구동 롤러 컨베이어

자체 구동 롤러 컨베이어는 Fig. 6 Idle상태에서 센서

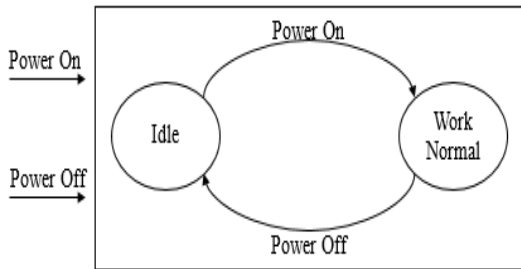


Fig. 5. Continuous-Driving Roller Conveyor Model Diagram

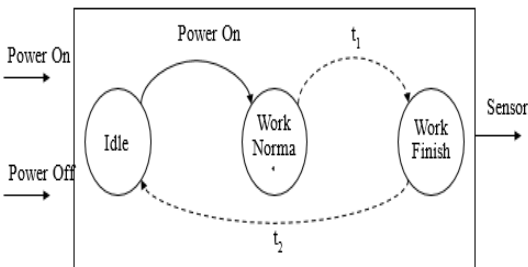


Fig. 6. Self-Driving Roller Conveyor Model Diagram

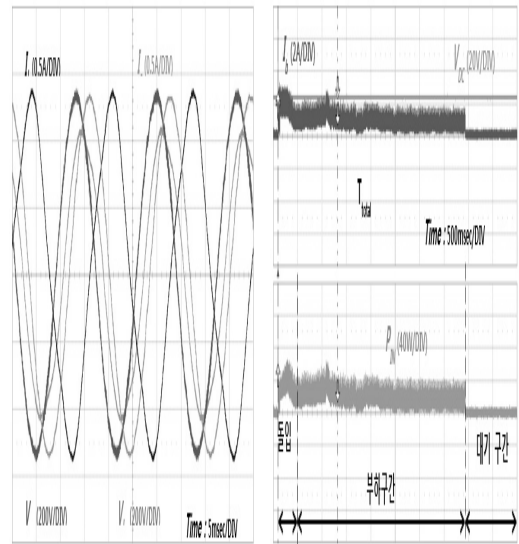


Fig. 7. Conveyor Belts measured waveform

에 의해 전원이 켜지면 전력이 순간적으로 튀는 Work Normal상태로 되며 일정 시간 이후 Work Finish 상태로 변한 후 시간이 지나도 센서에 입력이 없으면 Idle상태로 바뀌게 된다.

#### 3.2 전력 소모 모델링

설치되어 있는 연속 구동 롤러 컨베이어와 자체 구동 롤러 컨베이어 테스트 라인에서 여러 종류의 무게 부하 조건에서 가동 될 때의 전력을 측정하여 Fig. 7과 같은 그래프를 가지고 Table 1의 초당 소모 전력으로 환산하여 모델링 하였다.

연속 구동 롤러 컨베이어 벨트는 Fig. 8에서 보이는 것처럼 대기하는 동안 소모전력을 0W로 가지고 있으며 가동되기 시작하면 0.5마력 모터 벨트는 초당 308.6W 1마력 모터 벨트는 초당 677W를 소모하도록 구현 되었다.

자체 구동 롤러 컨베이어는 Fig. 9에서 보이는 것처럼

Table 1. Power Consumption Measurements

| 구 분              |       | 소모전력(W) |
|------------------|-------|---------|
| 자체 구동<br>롤러 컨베이어 | 대기    | 1.92    |
|                  | 풀링    | 29      |
|                  | 구동    | 21.4    |
| 연속 구동<br>롤러 컨베이어 | 0.5마력 | 308.6   |
|                  | 1마력   | 677     |

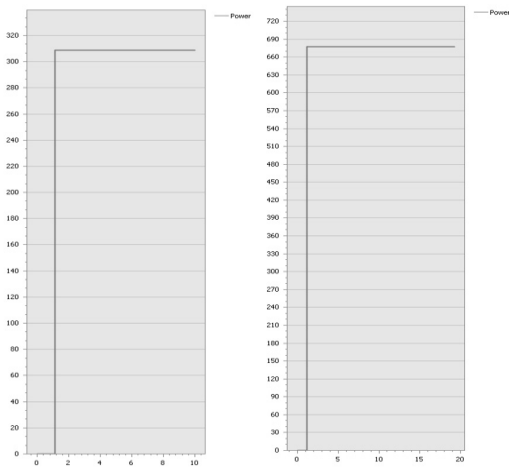


Fig. 8. Continuous-Driving Roller Conveyor Belts Power Consumption Implementation

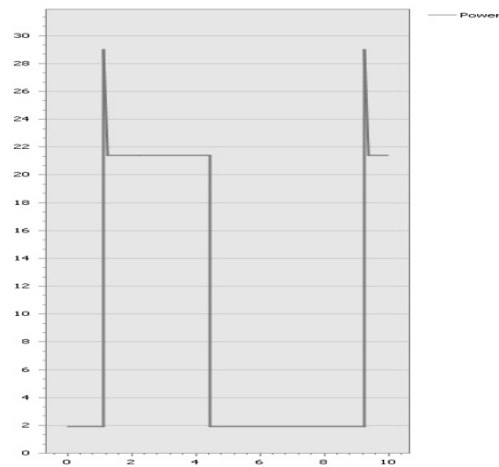


Fig. 9. Self-Driving Roller Conveyor Belts Power Consumption Implementation

대기하는 동안 소모 전력을 1.92W를 가지고 있으며 가동되기 시작하면 0.15초 동안 전력이 튀는 구간에서 초당 29W를 소모하고 이후 가동되는 동안 초당 21.4W를 소모하며 1.85초 이후 센서에 인식되는 물건이 없을 경우 가동이 중지되고 물건의 투입을 기다리는 동안 초당 1.92W를 소모하도록 구현 되었다.

### 3.3 물류 시스템 모델링

시뮬레이션 엔진은 Fig. 10에서와 같이 크게 Simulation Engine과 Model Base로 이루어져 있으며 Simulation

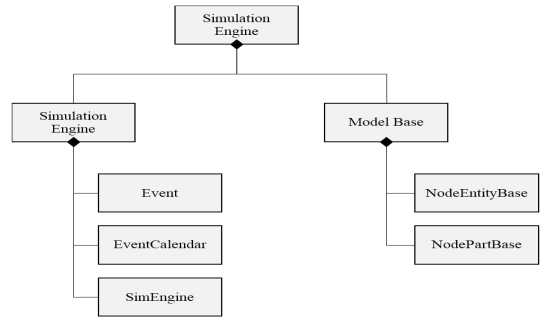


Fig. 10. Simulation Engine Model Diagram

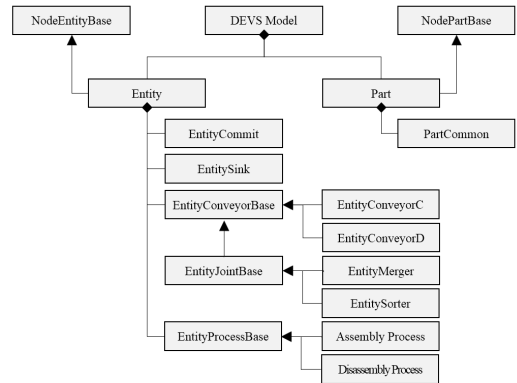


Fig. 11. DEVS Model Diagram

Engine은 실행되는 이벤트를 정의한 Event, 실행되는 이벤트들을 순서대로 저장해 놓는 EventCalendar 그리고 저장된 이벤트들을 순서대로 실행하는 SimEngine으로 이루어져 있으며 Model Base는 NodeEntityBase, NodePartBase로 이루어져 있다. Devs Model은 Fig. 11과 같이 Entity와 Part로 이루어져 있으며 Entity는 EntityCommit, EntitySink, EntityConveyorBase, EntityJointBase, EntityProcessBase로 이루어져 있으며 EntityConveyorBase는 연속 구동 롤러 컨베이어인 EntityConveyorC와 자체 구동 롤러 컨베이어인 EntityConveyorD로 이루어져 있다. EntityJointBase는 합류를 표현하는 EntityMerger와 분기를 표현하는 EntitySorter로 이루어져 있으며 EntityProcessBase는 Assembly Process와 Disassembly로 이루어져 있다.

Fig. 12의 SimEntityMgr은 객체들을 저장하는 리스트인 List<SimEntity>Array of SimEntities, 객체들의 연결들 리스트인 List<SimRelation>Array of Entity Relations, 파트들을 저장하는 리스트 List<SimPart>Array of Sim Parts, 그리고 시뮬레이션 엔진인 SimEngine:Simulation

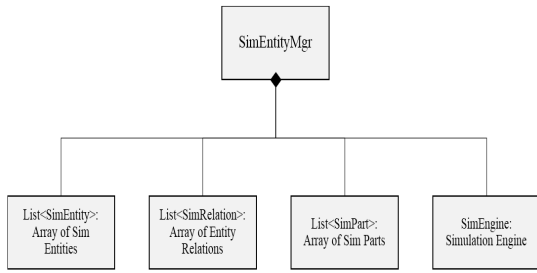


Fig. 12. Simulation Entity Manger Diagram

Engine으로 이루어져 있다.

### 4. 시뮬레이션 기반 전력 효율 분석

#### 4.1 시뮬레이션 모델

최종적으로 전력 소모를 비교하기 위한 물류센터의 모델을 구현하기 위해 필요한 시스템들이 제대로 구현되었는지 확인하기 위해 직선모델, 합류모델, 그리고 분기모델과 같은 간단한 모델들을 통해 확인을 해 보았으며 마지막으로 물류센터를 모델링 하여 소모 전력을 비교 하였다. Fig. 13과 같이 0.5마력, 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 각각 2개, 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 12개로 이루어진 12M 길이의 직선 컨베이어 벨트를 구현하여 소모 전력을 비교 하였다. 컨베이어는 속도 40M/Min, Inter-Arrival Time은 4초 8초 16초로 24시간 동안 세 번의 실험을 하였다. Fig. 14와 같이 0.5마력, 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 각각 3개, 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 18개

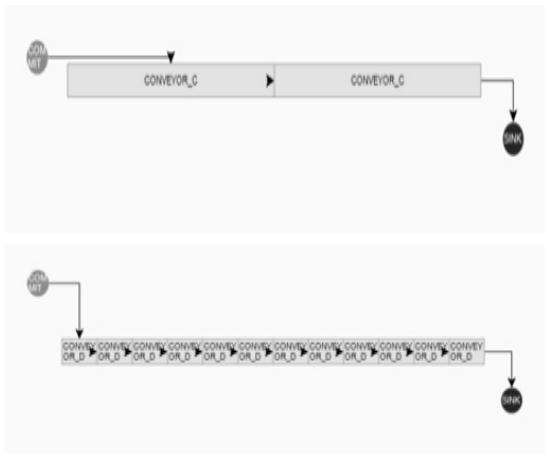


Fig. 13. Straight Model Implementation

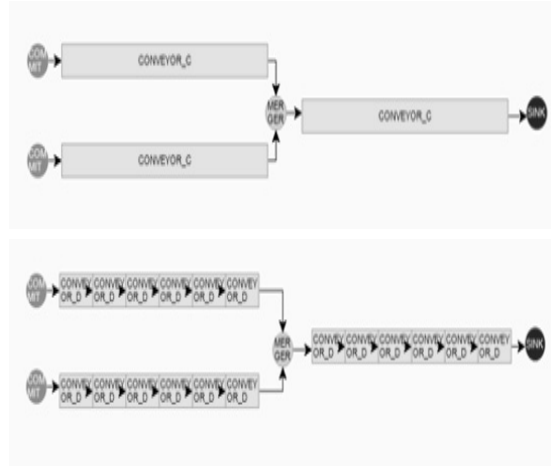


Fig. 14. Merging Model Implementation

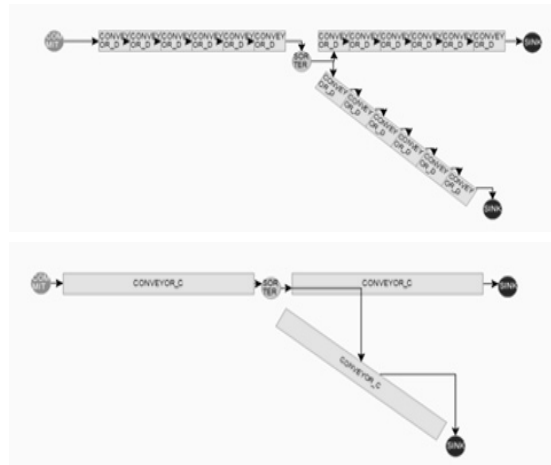


Fig. 15. Sorting Model Implementation

로 이루어진 18M 길이의 합류컨베이어 벨트를 각각 구현하여 소모 전력을 비교 하였다. 컨베이어는 속도 40M/Min, Inter-Arrival Time은 4초 8초 16초로 24시간 동안 세 번의 실험을 하였으며 합류에서는 1초의 시간이 걸리도록 하였다. Fig. 15에서는 0.5마력, 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 각각 3개, 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 18개로 이루어진 18M 길이의 분기컨베이어 벨트를 각각 구현하여 소모 전력을 비교 하였다. 컨베이어는 속도 40M/Min, Inter-Arrival Time 4초 8초 16초로 24시간 동안 세 번의 실험을 하였으며 분기에서는 1초의 시간이 걸리도록 하였다. 최종적으로 연속 구동 롤러 컨베이어와 자체 구동 롤러 컨베이어의 효율을 비교하기 위해 A사의 물류창고의

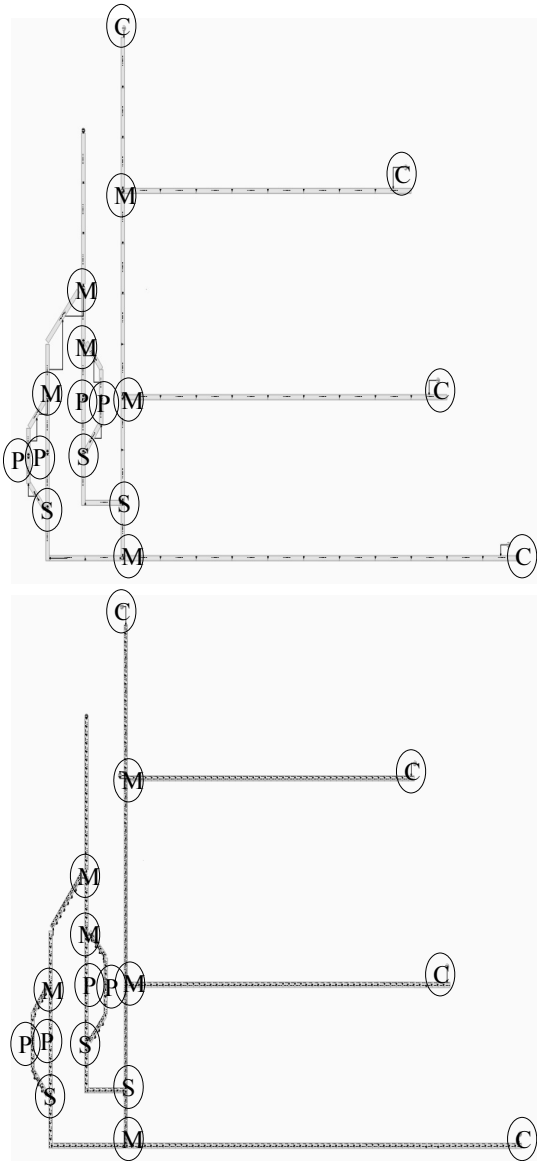


Fig. 16. Logistics Center Model Implementation

시스템을 Fig. 16과 같이 모델링 하였다. 각각의 모델은 0.5마력, 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 각각 58개, 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 348개로 이루어져 348M의 길이로 구현 하였다. Fig. 16에서 C부분은 물건의 들어오는 COMMIT부분, M부분은 합류가 일어나는 MERGER 부분, S부분은 분기가 일어나는 SORTER부분, P부분은 작업이 일어나는 PROCESS부분 이다. 컨베이어는 속도 40M/Min, Inter-Arrival Time은 4초 8초 16초로 24시간 동안 세 번의 실험을 하였으며 분기와 합류에서는 1초의

시간이 걸리도록 하였다.

#### 4.2 전력 소모 분석

Table 2에서 확인 할 수 있듯이 소모 전력은 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트에서 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트를 사용할 때 보다 큰 폭으로 감소되었다. 특히 Inter-Arrival time이 늘어날수록 그 차이는 더 커짐을 알 수 있었다. Table 3의 내용을 바탕으로 물류센터 모델의 컨베이어 설치비용과 함께 Table 4와 같이 전기료(연간, 24시간\*365 일, 1KWh 당 100원 가정)를 비교 하였다. 4초의 투입 간격을 가질 경우 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트를 사용하는 경우 0.5마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트의 사용에 비해 연간 11,890천원의 전기료 절감을 기대 할 수 있으며 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트의 사용에 비해 31,560천원의 전기료 절감을 기대 할 수 있다. 8초의 투입 간격을 가질 경우에는 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트

Table 2. Amount of Power Consumption by 24 Hours

| 구 분      |                  |        | 소모 전력(Wh)  |            |            |
|----------|------------------|--------|------------|------------|------------|
|          |                  |        | 4초         | 8초         | 16초        |
| 직선 모델    | 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 | 0.5 마력 | 14812.042  | 14812.042  | 14812.042  |
|          |                  | 1 마력   | 32494.338  | 32494.338  | 32494.338  |
|          | 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 |        | 5508.448   | 3030.757   | 1791.903   |
| 분기 모델    | 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 | 0.5 마력 | 22217.275  | 22217.275  | 22217.275  |
|          |                  | 1 마력   | 48739.776  | 48739.776  | 48739.776  |
|          | 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 |        | 5866.706   | 3348.128   | 2088.821   |
| 합류 모델    | 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 | 0.5 마력 | 22218.218  | 22218.218  | 22218.218  |
|          |                  | 1 마력   | 48741.845  | 48741.845  | 48741.845  |
|          | 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 |        | 8210.183   | 4578.323   | 2677.646   |
| 물류 센터 모델 | 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 | 0.5 마력 | 451420.490 | 451420.490 | 451420.490 |
|          |                  | 1 마력   | 990313.607 | 990313.607 | 990313.607 |
|          | 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 |        | 125667.864 | 93869.439  | 58934.965  |

**Table 3.** Conveyor Belts Installation Costs

| 구분    |    | 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 | 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트         |         |
|-------|----|------------------|--------------------------|---------|
| 기준    | 크기 | 610W×6,000L×700H | 610W×6,000L×700H(6 zone) |         |
|       | 사양 | 0.5마력            | 1마력                      |         |
| 구축 비용 |    | 3,040천원          | 3,210천원                  | 4,480천원 |

**Table 4.** Annual electricity cost and installation logistics center model

| 구분               |       | 전기료      |          |          | 설치비용      |
|------------------|-------|----------|----------|----------|-----------|
|                  |       | 4초       | 8초       | 16초      |           |
| 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트 | 0.5마력 | 16,476천원 | 16,476천원 | 16,476천원 | 176,320천원 |
|                  | 1마력   | 36,146천원 | 36,146천원 | 36,146천원 | 186,180천원 |
| 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트 |       | 4,586천원  | 3,425천원  | 2,151천원  | 259,840천원 |

를 사용하는 경우 0.5마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트의 사용에 비해 연간 13,051천원의 전기료 절감을 기대할 수 있으며 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트의 사용에 비해 32,720천원의 전기료 절감을 기대할 수 있다. 16초의 투입 간격을 가질 경우에는 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트를 사용하는 경우 0.5마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트의 사용에 비해 연간 14,325천원의 전기료 절감을 기대할 수 있으며 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트의 사용에 비해 33,995천원의 전기료 절감을 기대할 수 있다. 자체 구동 롤러 컨베이어 벨트의 설치비용을 회수 하는데 0.5마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트는 4초의 투입 간격에서 7년 8초의 투입 간격에서 6.3년 16초의 투입 간격에서는 5.8년을 기대할 수 있으며 1마력 연속 구동 롤러 컨베이어 벨트에서는 4초의 투입 간격에서 2.3년 8초의 투입 간격에서 2.2년 16초의 투입 간격에서는 2.1년을 기대할 수 있다.

### 5. 결론 및 향후 연구

물류 시스템은 자동화 저장 및 생산 시스템의 필수적인 요소로서, 생산 비용 절감 및 환경 비용 감소 측면에서 물류 시스템의 에너지 효율화는 필수적인 요소이다. 본

논문은 재고 이송에 높은 신뢰성을 갖는 컨베이어 기반 물류 시스템을 대상으로 전력소비량 감축을 위한 구축 방안을 제시하기 위해 수행되었다. 이를 위해 컨베이어 기반 물류 시스템 구축 요소를 연속 구동 롤러 컨베이어와 자체 구동 롤러 컨베이어로 구분하고, 각 구성요소에 의한 물류 시스템 설계 및 시뮬레이션을 통한 전력 소비량 산출을 수행하였다. 물류 시뮬레이션을 위한 시뮬레이션 시스템은 DEVS Formalism을 기반으로 컨베이어 모델을 구축하였으며, 구축된 컨베이어 모델을 다양한 물류 시스템 설계에 적용하여 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 각 설계에 대한 실험의 분석 결과로서 자체 구동 롤러 컨베이어 기반 물류 시스템의 전력 효율이 연속 구동 롤러 컨베이어에 비해 최소 60% 이상의 절감이 가능함을 도출했으며, 비교되는 연속 구동 롤러 컨베이어의 성과와 물류 운송 시나리오에 따라 절감율이 더욱 높아질 것으로 기대된다.

본 논문에서 수행된 시뮬레이션 시스템은 향후 공정별 전력 소모량에 따른 제조 간접비 산출, 공장 내 물류 효율, 물류 시스템에 따른 제조 사이클 타임 산출 등에 적용할 예정이다. 향후 연구를 통해 제조/물류 자원 계획 및 제조/물류 시스템 운영의 상호적인 시뮬레이션을 통해 효율적인 설계 도출을 달성하고자 한다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업 “물류센터의 전기에너지 절감을 위한 물류설비(도크 및 팬시스템, 자체구동롤러) 및 능동형 에너지 제어시스템 기술 개발”의 지원에 의해 연구되었음.

### References

- Rommert Dekker, Jacqueline Bloemhof, Ioannis Mallidis. (2012), “Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges”, *European Journal of Operational Research*, 219, pp. 617-679.
- S. Takakuwa. (1994), “Precise Modeling and Analysis of Large-Scale AS/RS”, 1994 Winter Simulation Conference, pp. 1001-1007.
- Chieh-Yu Lin, Yi-Hui Ho. (2008), “An Empirical Study on Logistics Service Providers’ Intention to Adopt Green Innovations”, *Journal of Technology Management & Innovation*, 3, pp. 17-26.
- Liwen Zheng, Juan Zhang. (2010), “Research on Green



Logistics System Based on Circular Economy”, Asian Social Science, 11, p. 116-119.

5. Michael G. Kay. (2012), “Material Handling Equipment”.
6. Tag Gon Kim. (1994), “DEVSIM++ User’s Manual”, Department of Electrical Engineering, KAIST, Korea.
7. Tag Gon Kim, Sung Bong Park. (1992), “The DEVS Formalism: Hierarchical Modular Systems Specification

in C++”, Proc of 1992 European Simulation Multiconference, p. 152-156.

8. B. P. Zeigler. (1984), “Multifaceted modeling and discrete event simulation”, Academic Press, Orland.
9. A Varga. (2001), “THE OMNET++ DISCRETE EVENT SIMULATION SYSTEM”.



**김 영 주** (osot@krii.re.kr)

2008 KAIST 산업공학과 박사  
 2002 KAIST 산업공학과 석사  
 1999 KAIST 기계공학과 학사  
 2007년 10월~현재 한국철도기술연구원 물류시스템연구팀 선임연구원

관심분야 : 철도물류, 물류센터, 물류장비 및 효율화 기술개발



**박 희 남** (karizzang@ajou.ac.kr)

2015 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사  
 2015~현재 아주대학교 대학원 산업공학과 석사과정

관심분야 : 모델링 및 시물레이션, 이산사건 모델링



**함 원 경** (lunacy@ajou.ac.kr)

2011 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사  
 2011~2013 아주대학교 대학원 산업공학과 석사  
 2013~현재 아주대학교 대학원 산업공학과 박사과정

관심분야 : 모델링 및 시물레이션, 분산 시물레이션 시스템, 제조 시스템 모델링



**박 상 철** (scpark@ajou.ac.kr)

Ph.D. (2000) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 B.S. (1994) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 M.S. (1996) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 2000년 9월~2001년 12월 큐빅테크, 선임연구원  
 2002월 1년~2004년 2월 DaimlerChrysler ITM Dept. Research Engineer  
 2008년 2월~현재 아주대학교 산업정보시스템 공학부, 교수

관심분야 : 시물레이션, 제조 시스템, 이산사건 모델링, CAD/CAM, PLC