

3D 팩토리 시뮬레이션 기술의 특징과 응용 분야에 대한 고찰*

조다설** · 김준우***

〈 목 차 〉

I. 서 론	IV. FlexSim 소프트웨어를 이용한 3D 팩토리 시뮬레이션
II. 시뮬레이션 소프트웨어	4.1 FlexSim 소프트웨어 특징점
2.1 시뮬레이션 소프트웨어의 필요성	4.2 FlexSim 소프트웨어 응용 사례
2.2 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어의 구조	V. 결론 및 향후 연구과제
2.3 3D 팩토리 시뮬레이션	참고문헌
III. 상용 시뮬레이션 소프트웨어 비교	<Abstract>

I. 서 론

시뮬레이션이란 현실 세계에 존재하는 실제 시스템을 단순화하여 모형으로 표현하고, 이를 이용하여 해당 시스템의 물리적 특성 및 논리적 특성들을 모방하는 과정을 말한다. 특히, 최근에는 제조, 물류/유통, 운송 및 보건의료 등과 같은 다양한 산업 분야에서 특정 시스템의 성능을 평가하기 위한 목적으로 시뮬레이션을 활용하고 있으며, 이 같은 경우에는 시뮬레이션 모형을 작성한 후, 이를 이용한 실험이 수행되어야 한다(John et al., 1988; 김의창, 2000; 이경근 등, 2008; Stewart et al., 2010). 다만, 실제

시스템이 가진 모든 물리적, 논리적 특성들을 빠짐없이 시뮬레이션 모형에 반영하기는 어렵다. 따라서, 시뮬레이션 모형을 이용하여 실험이나 분석을 할 때는 대상 시스템이 가진 다양한 특성들 중, 분석 목적에 영향을 주는 중요한 것들을 적절히 식별하고 모형에 반영하는 것이 중요하다(송시한, 2009).

한편, 일반적으로 시뮬레이션을 이용한 분석은 몇 가지 유형으로 구분할 수 있는데, 이들 중 대표적인 것들로는 독립 변수들과 종속 변수 간의 관계가 비교적 명확할 때, 난수를 생성하여 독립 변수들의 값을 결정한 후 종속 변수를 산출하는 과정을 반복하는 몬테카를로 시뮬

* 이 성과는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017R1C1B1008650).

** 동아대학교 산업경영공학과, ektjf0422@hanmail.net(주저자)

*** 동아대학교 산업경영공학과, kjunwoo@dau.ac.kr(교신저자)

레이션(송시호, 2008; 김태준, 2016), 시간이 경과하는 도중 이산적인 사건의 발생 시점에만 시스템 또는 시스템 구성요소들의 상태를 변경 시켜가면서 시스템의 특성을 관찰하고자 할 때 사용하는 이산 사건 시뮬레이션(아약스, 2013; Sharma, 2015), 이산 사건 시뮬레이션과 유사하나, 시간의 경과 도중 시스템이나 그 구성요소들의 상태 변화가 이산적인 시점이 아닌 연속적인 기간에 걸쳐 변화하는 것을 허용하는 연속 사건 시뮬레이션(Sharma, 2015), 복잡한 거시적 현상을 에이전트라는 미시적 행위자들의 상호작용으로 설명하고자 할 때 사용되는 에이전트 기반 시뮬레이션(Samuelson et al., 2006; 정형진, 2018) 등이 있다(De Giusti et al., 2008). 그 중에서도 이산 사건 시뮬레이션은 다양한 산업 분야에서 어떤 업무를 처리하는 역할을 수행하는 운영 시스템(operations system), 즉, 생산 시스템의 성과를 분석하는데 가장 널리 활용되고 있다(김준우, 2018; Beaverstock et al., 2018).

생산 시스템이란 어떤 투입물을 산출물로 변환하는 역할을 수행하는 시스템을 말하며, 생산 시스템의 예로는 제조 현장이나, 물류 시스템, 서비스 영업장 등을 들 수 있다. 나아가, 생산 시스템은 일반적으로 인간 근로자(man), 기계나 설비(machine), 여러 가지 자재(material) 등과 같은 구성요소들을 가지며, 생산 시스템의 효과적인 운영관리를 위해서는 해당 시스템의 성과를 측정하거나, 현재의 성과를 개선하는 방법을 결정하기 위한 의사결정이 지속적으로 이루어져야 한다(Stevenson, 2017). 하지만, 실제 시스템을 이용하여 이 같은 과정을 수행하는데는 상당한 비용과 시간이 소요된다. 생산 시

스템에 대한 운영관리에서 시뮬레이션 기법을 활용하는 이유는 이 같은 비용과 시간을 절감하기 위해서이며, 적절한 시뮬레이션 모형이 작성되기만 하면, 이를 모의실행하여 훨씬 적은 비용과 시간을 들이고도 실제 시스템의 특성을 관찰할 수 있게 된다(Barton et al., 1996, 김상태, 2016).

물론, 오늘날 산업 현장에서는 상기한 생산 시스템의 성능 분석 이외에, 제품 설계나 제품의 품질 또는 사용성에 대한 평가, 기계나 장비의 상호운용성 평가 등에 시뮬레이션을 활용하는 경우도 많다(De Giusti et al., 2008). 다시 말해, 생산 시스템의 성능 분석이 시뮬레이션 기술의 유일한 응용 분야인 것은 아니며, 시뮬레이션은 특정 사물이나 기계적 시스템의 특성을 분석하기 위한 목적으로도 얼마든지 활용될 수 있다(Abu-Taieh and El Sheikh, 2007). 다만, 경영학이나 산업공학 분야에서는 대기 시간이나 생산 현장 내의 흐름 시간, 재공품 수준 및 운영 비용 등과 같은 생산 시스템의 성과지표들의 값을 추정해 보고, 생산 시스템의 개선 방안 중 최적의 대안을 선택하기 위한 목적으로 시뮬레이션을 주로 활용하고 있으며, 관련 기술의 발전에 따라 시뮬레이션의 활용도는 앞으로 점점 더 높아질 것으로 예상된다(김상태, 2016; Vieira et al., 2018). 이에, 본 논문에서는 생산 시스템을 모델링하고, 그 성과지표에 대한 분석을 실시하는데 사용할 수 있는 시뮬레이션 소프트웨어들에 대해 고찰해 보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 먼저, 시뮬레이션을 이용하여 생산 시스템을 모델링하고 그 성과지표들을 분석하는데 전문적인 시뮬레이션 소프트웨어가 필요한 이유와 함께,

이러한 소프트웨어들의 일반적인 구조 및 발전 과정 등을 소개할 것이다. 이어, 3장에서는 시뮬레이션 소프트웨어 중에서도 최근 활용도가 증가하고 있는 3D 팩토리 모델링이 가능한 시뮬레이션 소프트웨어들의 특징을 비교분석하며, 4장에서는 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어 중, 강력한 3D 그래픽 기능과 손쉬운 사용자 인터페이스가 돋보이는 FlexSim 소프트웨어의 응용 사례들에 대해 고찰하고자 한다. 끝으로, 5장에서는 결론 및 추후 연구 과제를 제시한다.

II. 시뮬레이션 소프트웨어

2.1 시뮬레이션 소프트웨어의 필요성

일반적으로, 생산 시스템의 성과지표들의 값은 작업물의 도착 간격(inter-arrival time)이나 보유한 자원이 작업물을 처리하는데 소요되는 처리 시간(process time) 등과 같은 모형 파라미터들의 값에 의해 영향을 받게 된다. 예를 들어, 도착 간격이 짧고, 처리 시간이 길수록 작업물들의 대기 시간과 같은 성과지표들의 값이 악화된다는 점은 자명하다. 다만, 실제 생산 시스템에서 이 같은 모형 파라미터들 중 대부분이 어느 정도의 불확실성(uncertainty)을 갖는다(Mula et al., 2006). 불확실성이란 값의 변동성(variability)을 의미하며, 따라서, 불확실성을 갖는 모형 파라미터들은 항상 값이 일정한 상수가 아니라, 매번 그 값이 변할 수 있는 변수에 해당한다.

일반적으로, 어떤 시스템을 모형으로 표현하

는 과정에서 모형 파라미터들이 갖는 불확실성은 확률 분포를 이용하여 표현한다. 따라서, 특정 모형 파라미터가 가진 불확실성을 표현할 때는 그 특성에 맞는 확률 분포의 종류와 해당 확률 분포의 모수값을 가능한 정확하게 결정하여야 한다(Law, 2013). 문제는, 모형 파라미터들이 상수인 경우, 모형 파라미터들이 성과지표에 미치는 영향을 수리적으로 분석하는 것이 비교적 쉬운 반면, 불확실성을 가진 모형 파라미터들과 성과지표 간의 관계는 수리적으로 분석하기가 상당히 까다롭다는 점이다(Babin and Greenwood, 2011). 물론, 대기행렬 이론(queueing theory)과 같이 모형 파라미터들이 불확실성을 갖는 생산 시스템의 성과지표들을 수리적으로 분석하기 위한 기법도 존재한다(Ross, 2015; Shortle, 2018). 하지만, 대기행렬 이론의 경우, 다음과 같은 몇 가지 한계점들을 지닌다. 첫째, 가장 널리 사용되는 Erlang-C 모형(Chromy et al., 2011)의 경우처럼, 대기행렬 이론에서 제안하는 기본적인 분석 모형들은 보통 도착 간격이나 처리 시간과 같은 모형 파라미터들이 지수 분포(exponential distribution)를 따른다고 가정하는 경우가 많다(Kim and Park, 2010). 이는 지수 분포가 가진 무기억 속성(memoryless property)으로 인해 불확실성이 있더라도 시스템의 성과지표를 수리적으로 분석하는 것이 비교적 용이하기 때문인데, 지수 분포는 본질적으로 확률 밀도가 좌측으로 치우쳐져 있어, 0에 가까운 매우 작은 값들이 표본으로 추출될 가능성이 큰 확률 분포이고, 실제 모형 파라미터들이 지수 분포를 따르지 않는 경우도 많다. 둘째, 기본적인 대기행렬 모형들의 경우, 분석 대상 시스템이 가진 세부적인 특

성들을 고려하지 않는 경우가 많다. 예를 들어, 상기한 Erlang-C 모형의 경우, 대기행렬에 합류한 작업물이 대기 시간이 길어져도 절대로 중도포기하지 않고, 생산 시스템이 가진 자원들이 가동 중단을 일으키는 일도 없다고 가정하는데, 실제 생산 시스템에서는 이와 같은 돌발 상황이 발생할 수 있다. 나아가, 이 같은 예외적인 상황이나 세부적인 특성들까지 고려하는 대기행렬 모형을 개발하는 것은 매우 까다롭다. 셋째, 대기행렬 이론에서는 분석 대상 시스템의 안정 상태(steady state) 성과지표들을 산출하는데 초점을 맞춘다. 안정 상태란, 시스템의 가동이 시작된 후, 충분히 오랜 시간이 경과하여 시스템의 평균적인 특성이 더 이상 변하지 않는 상태를 말하며, 시스템이 안정 상태에 진입하기 위해서는 그 전에 오랜 과도 상태(transient state)를 거쳐야 한다. 하지만 일선 현장에서는 하루 일과 시간이나 특정 상황에 해당하는 수십 분~수 시간 정도의 기간에 대한 성과지표를 산출해야 하는 경우도 비일비재하다.

결과적으로, 불확실성을 가진 모형 파라미터, 다양한 예외 상황 및 세부 특성, 나아가 낮은 안정 상태 도달 가능성 등으로 인해 실제 생산 시스템의 성과 지표를 수리적으로 분석하는 것은 일반적으로 곤란하며, 시뮬레이션은 이 같은 경우에 사용할 수 있는 매우 유용한 생산 시스템 성과지표 분석 도구이다(Law, 2007; Kim and Ha, 2010).

본질적으로, 시뮬레이션은 모형 파라미터들과 성과지표 간의 관계를 수리적으로 표현하는 대신, 분석 대상 시스템을 가상적으로 실행하여 그 운영 경과에 따라 성과지표들의 값을 집계해 보는 식으로 진행된다. 즉, 시뮬레이션은 도

착 간격이나 처리 시간, 고장 발생 시각 등과 같은 다양한 모형 파라미터들의 값을 임의로 정해놓고, 이를 토대로 시간의 경과에 따라 분석 대상 시스템의 행태가 어떤 식으로 변화하는지를 관찰하는데 초점을 맞춘다. 따라서, 대기행렬 이론 등과 같은 분석 모형들에 비해 시뮬레이션 모형에서는 다양한 모형 파라미터들을 반영하기가 훨씬 수월하다(김준우, 2018; Beaverstock et al., 2018).

다만, 시뮬레이션 분석을 진행하기 위해서는 불확실성을 갖는 모형 파라미터들의 구체적인 값을 결정하기 위해 각 파라미터들의 확률 분포로부터 표본값을 추출하는 과정이 필요한데, 모형 파라미터들의 종류가 다양하고 분석 대상 기간이 길수록 매우 많은 횟수의 표본값 추출 및 이를 고려한 모형 상태 변경이 필요해진다. 따라서, 대부분의 경우, 시뮬레이션을 수작업으로 수행하는 것은 매우 비효율적이며, 이로 인해 실제 시뮬레이션 분석에서는 시뮬레이션 분석에 특화된 전문적인 소프트웨어를 사용하는 경우가 많다.

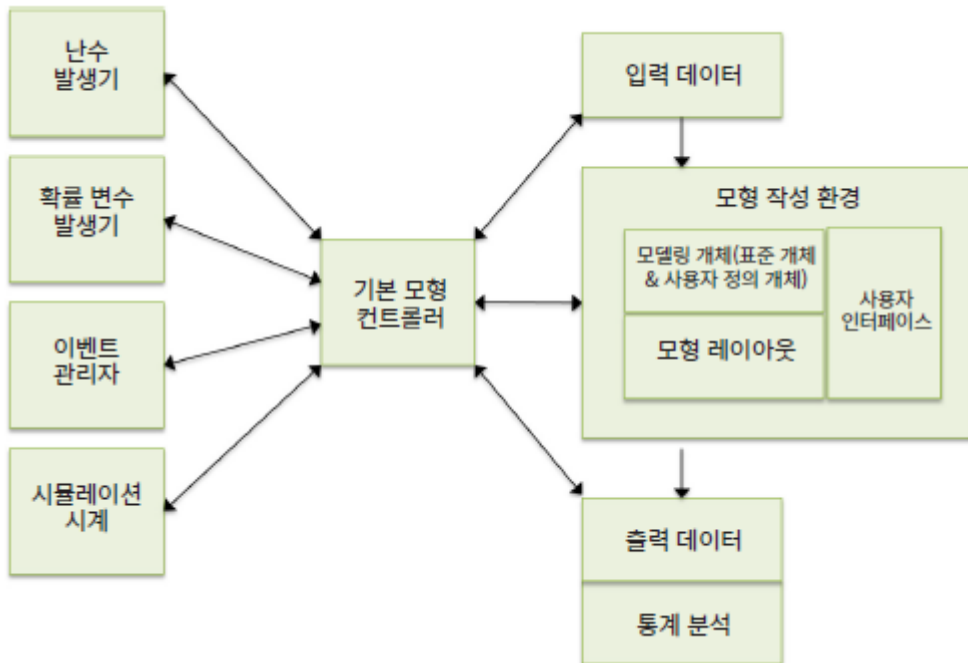
2.2 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어의 구조

시뮬레이션 소프트웨어란 일련의 표본 추출 및 모형 상태 변경을 반복하여, 시간의 경과에 따른 시스템의 행태를 가상의 환경, 즉, 컴퓨터 상에 구현하고, 이를 토대로 해당 시스템의 성과지표를 분석해 주는 소프트웨어이다. 실제 시스템과 매우 유사한 특성을 가진 모형을 비교적 손쉽게 작성할 수 있다는 장점으로 인해 이 같은 시뮬레이션 소프트웨어들은 현재 매우 다

양한 분야에서 활용되고 있다.

최근에 출시된 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들은 공통적으로 <그림 1>과 같은 구조를 갖는다(Beaverstock et al., 2018). 먼저, 그림 오른쪽에 보이는 모형 작성 환경은 모델링 개체 및 모형 레이아웃, 사용자 인터페이스 등과 같은 구성요소들을 갖는데, 이들은 모두 사용자가 분석 대상 시스템을 모형으로 표현하는데 사용된다. 나아가, 입력 데이터는 모형 파라미터들의 값 또는 확률 분포를 의미하며, 출력 데이터란 여러 가지 성과지표들에 해당한다. 한편, 가운데에 있는 모형 컨트롤러의 역할은 작성된 모형을 실행하여 그 행태가 변화하는 과정을 구현하는 것이며, 이산 사건 시뮬레이션의 특성상, 이들은 다음 번 사건의 발생 시각을 결정한 후, 해당 시각이 도래했을 때 시스템의 상태를

적절히 변화시키는 일을 반복적으로 수행하게 된다(Varga, 2001). 아울러, 이러한 임무를 수행하기 위해 모형 컨트롤러는 좌측에 있는 난수 발생기, 확률 변수 발생기, 이벤트 관리자 및 시뮬레이션 시계 등을 이용하는데, 이들 중 난수 발생기는 보통 0에서 1사이의 난수값을 생성하는데 사용되며, 엄밀히 말해 시뮬레이션 소프트웨어들이 가진 난수 발생기가 생성하는 것은 실제 난수라기보다 유사 난수(pseudo-random number)에 해당한다. 유사 난수란, 쉽게 말해 일련의 숫자값들의 반복적인 나열에서 순서대로 추출한 값들을 말하는데, 반복 주기가 도래하기 전까지는 추출된 값들이 난수와 같이 보이나, 반복 주기가 도래한 후에는 이전에 추출되었던 값들이 다시 순차적으로 추출되기 때문에, 추출된 값들이 어느 정도의 규칙성을 갖



<그림 1> 시뮬레이션 소프트웨어의 기본 구성 요소들(Beaverstock et al., 2018)

게 된다(James, 1990). 다만, 전문적인 시뮬레이션 소프트웨어들이 가진 난수 발생기들의 경우 반복 주기가 수억~수십 억에 이를 정도로 매우 길기 때문에, 유사 난수들을 사용해도 실제 난수와 같은 분석 결과를 얻을 수 있다(김준우, 2018; Beaverstock et al., 2018). 확률 변수 발생기는 난수 발생기가 추출한 난수값을 전달받아 특정 확률 분포로부터 표본값을 추출하는 역할을 담당하는데, 이 때 역변환 기법(inverse transformation method) 등이 이용되며, 추출된 표본값은 시뮬레이션이 진행되는 동안, 모형 파라미터의 값으로 사용된다. 이벤트 관리자는 시뮬레이션이 진행되는 동안, 앞으로 발생할 사건들의 목록을 생성하고, 발생 시점이 지난 사건들을 이 목록에서 삭제하는 등의 역할을 수행하면서, 모형 컨트롤러가 해야 할 작업을 알려주는 모듈에 해당한다. 끝으로, 시뮬레이션 시계란, 시뮬레이션이 시작된 후 현재까지의 경과 시간을 기록하는데 사용되며, 실제 시계와 달리, 이산 사건 시뮬레이션에서는 어떤 사건의 발생 시점에만 전체 시스템 및 시스템 구성요소들의 상태가 변하기 때문에, 시뮬레이션 시계는 항상 특정 사건의 발생 시점을 가리키게 된다.

약간씩의 차이는 있겠으나, 최근에 출시된 시뮬레이션 소프트웨어들의 경우, <그림 1>에서 모형 작성 환경을 제외한 나머지 구성요소들의 형태나 성능은 어느 정도 유사한 경우들이 많다. 그에 반해, 컴퓨터 기술의 발달과 함께 시뮬레이션 소프트웨어들이 가진 모형 작성 환경에는 다양한 변화와 발전이 있었으며, 그 중에서도 주목할 만한 것으로는 3D 팩토리 시뮬레이션 기술을 들 수 있다.

2.3 3D 팩토리 시뮬레이션

시뮬레이션 전용 분석 도구가 등장한 것은 1960~70년대의 일로, 이 시기에는 주로 SIMULA(Dahl and Nygaard, 1966)나 GPSS(Schriber, 1974) 등과 같은 시뮬레이션 전용 언어가 개발되었다. 이로 인해, 이전까지 범용 프로그래밍 언어를 이용하여 시뮬레이션 분석을 수행해야 했던 불편함이 어느 정도는 해소되었으나, 아직까지 시뮬레이션 모형을 작성하고 실행하기 위해 상당한 분량의 스크립트나 소스 코드를 작성해야 했기 때문에, 시뮬레이션 분석이 대중화되는데는 뚜렷한 한계가 존재하였다. 이후 1980년대까지는 컴퓨터 성능의 제약으로 인하여 대부분의 시뮬레이션 소프트웨어들이 주로 기업용으로 출시되었으며, 이러한 소프트웨어들은 고가임에도 사용자 인터페이스들이 편리하지 않았다. 그럼에도 불구하고, 이 시기에는 시뮬레이션 소프트웨어의 모형 작성 환경에 있어, 매우 중요한 발전이 이루어졌는데, 그것은 바로 WITNESS(Clark, 1991)와 같이 모델링 개체(modeling object)를 포함한 시뮬레이션 소프트웨어가 등장하기 시작했다는 것이다.

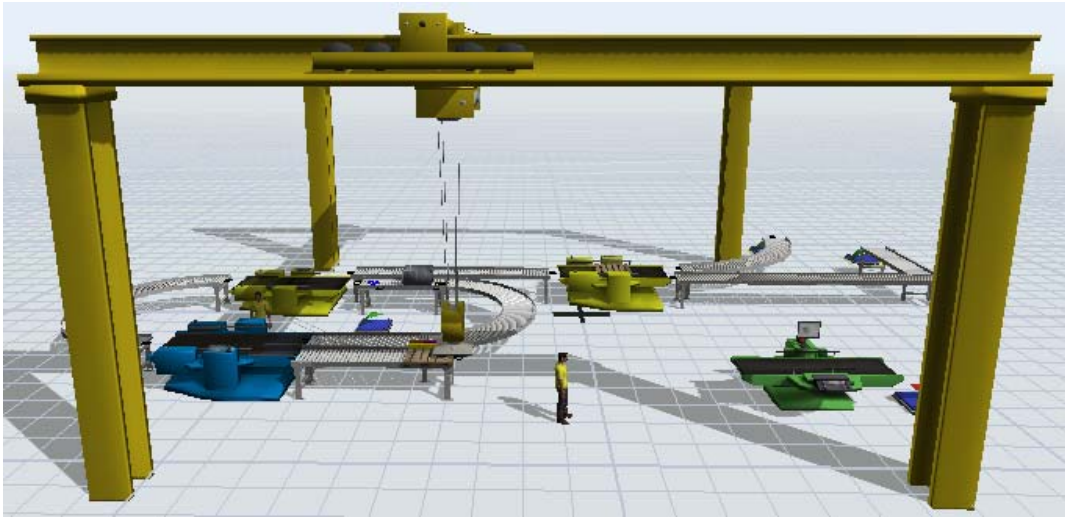
모델링 개체란, 모형을 작성할 때 사용할 수 있는 가상적인 구성요소들을 의미하며, 초창기에는 보통 생산 시스템이 가진 자원들과 이들 간에서 발생하는 작업물의 흐름을 다이어그램 형태로 표현하는데 이 같은 모델링 개체들이 사용되었다. 다시 말해, 모델링 개체란, 다이어그램을 작성할 때 사용되는 기호들과 유사한 것으로 볼 수 있다. 나아가, 이 같은 모델링 개체의 개념은 모형 작성 과정에서 다양한 스크

립트를 작성하는 불편함을 대폭 감소시켜, 이후 시뮬레이션 소프트웨어의 대중화에 크게 기여하였다(Roberts and Pedgen, 2017).

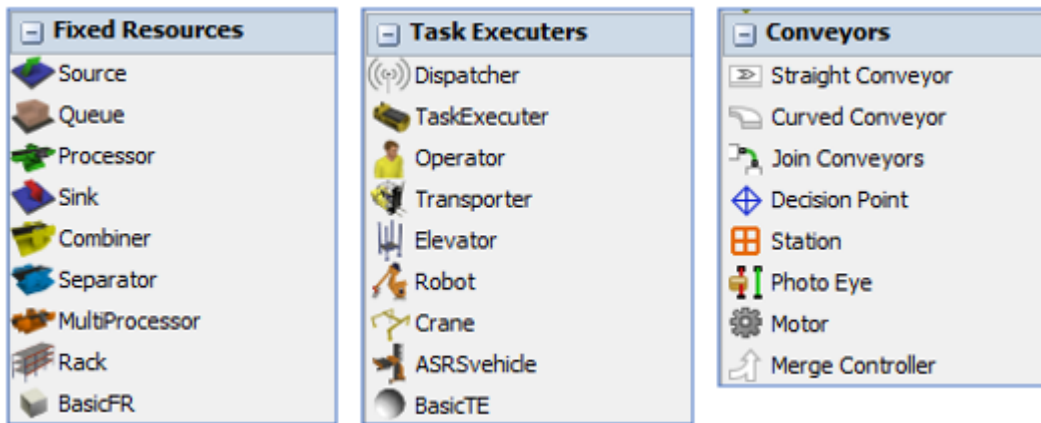
이후 1990년대에는 컴퓨터 및 소프트웨어의 발전과 더불어, 보다 개선된 사용자 인터페이스를 가진 시뮬레이션 소프트웨어들이 활발하게 출시되었고, 이러한 예로는 Simple++(Geuder, 1995)나 Taylor II(King, 1996) 등을 들 수 있다. 아울러, 이 시기의 시뮬레이션 소프트웨어들의 경우, <그림 1>의 모형 작성 환경 구성요소들 중, 모형 레이아웃 측면에서의 발전이 두드러졌고, 이로 인해 시뮬레이션 모형을 실행시켰을 때, 모형의 행태를 애니메이션 등의 형태로 시각화하는 것이 가능해졌다는 특징을 갖는다(Klingstam and Gullander, 1999). 결과적으로, 이러한 시뮬레이션 소프트웨어들은 모형의 실행이 종료되었을 때 단순히 여러 가지 통계량이나 결과값들을 나열하기만 하는 것이 아니라, 시뮬레이션이 진행되는 동안 모형이 어떤 행태를 보이는지를 보다 효과적으로 시각화하게 되었고, 이를 통해 분석자들은 재공품 수준의 변동이나 병목(bottleneck) 현상의 발생 등을 실시간으로 관찰할 수 있게 되었다. 특히, Taylor II는 PC용으로 개발된 최초의 3D 시뮬레이션 소프트웨어로, 모형이 실행되는 모습을 2D가 아닌 3D 형태로 보여주어, 모형의 구조와 모형이 실행되는 모습을 보다 이해하기 쉽다는 특징을 갖는다. 나아가, 이처럼 공장이나 생산 시스템이 운영되는 모습을 3D 형태로 구현해 줄 수 있는 소프트웨어를 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어라 한다.

이후에도, 시뮬레이션 소프트웨어 개발자들은 <그림 1>에서 볼 수 있는 모형 작성 환경의

세 가지 구성요소, 즉, 모델링 개체, 모형 레이아웃 및 사용자 인터페이스를 개선하는데 초점을 맞추어왔다. 먼저, 모델링 개체의 경우 시각적으로 이해하기 쉽고, 특정 분야의 시스템을 분석하는데 용이하도록 발전하는 추세인데, 이 같은 예로는 제조 현장과 같은 생산 현장의 구성요소, 즉, 기계나 설비, 차량 등을 직관적으로 표현할 수 있는 모델링 개체들을 들 수 있다. 다시 말해, 예전의 2D 기반 시뮬레이션 소프트웨어에서 순서도 작성에 사용되는 도형과 같이 덜 직관적인 모델링 개체들이 사용되었던 것과 달리, 최근에는 실제로 현장에서 볼 수 있는 사물들이 시뮬레이션 소프트웨어 내에서 직접적으로 표현되는 추세이다. 마찬가지로, 모형 레이아웃이란 모델링 개체가 배치되는 공간을 의미하는데, 종래의 2D 기반 시뮬레이션 소프트웨어에서는 모형 레이아웃에 배치된 모델링 개체들의 논리적인 특성이나 관계만이 중요했던 반면, 최근에는 모형 레이아웃이 일종의 가상 공간과 같은 역할을 하여, 그 안에 배치된 모델링 개체들의 물리적인 특성, 예를 들어, 각 모델링 개체들의 크기나, 모델링 개체들 간의 거리 등을 보다 손쉽게 반영할 수 있게 되었다. 나아가, 사용자 인터페이스의 경우에는 소프트웨어의 사용법을 보다 쉽게 익힐 수 있는 방향으로 발전해왔는데, 이러한 소프트웨어 사용법에는 GUI(graphics user interface)의 사용법 뿐만 아니라, 모형이 가진 세부적인 논리적 특성을 표현하는데 필요한 스크립트 또는 소스 코드의 작성 방법도 포함된다. 아울러, 본 논문의 저자들은 이 같은 현대 시뮬레이션 소프트웨어의 특징을 가장 극명하게 보여주는 사례로 FlexSim을 들고자 한다.



<그림 2> FlexSim을 이용하여 작성한 모형을 실행하는 모습

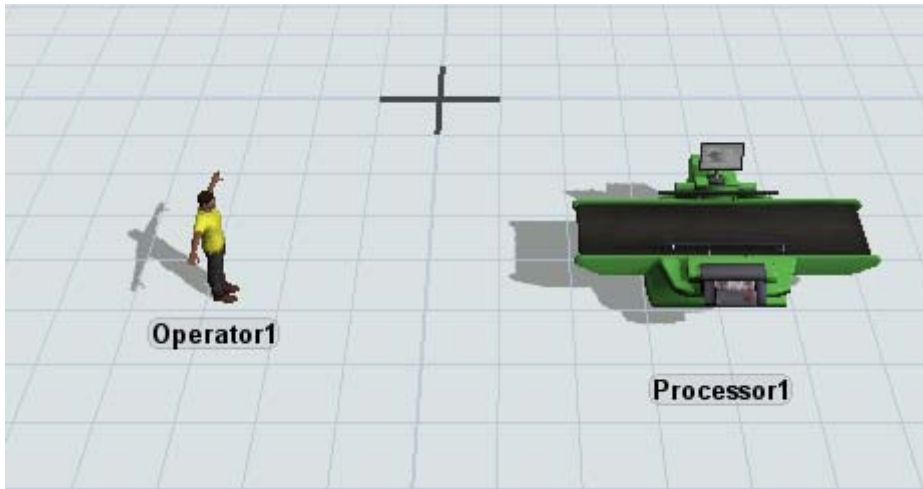


<그림 3> FlexSim 소프트웨어 모델링 개체

FlexSim이란 FlexSim Software Products사 (FlexSim Software Products, Inc.)에서 개발한 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어로, 2003년에 최초로 출시된 이래, 지속적인 버전업을 거쳐, 현재 2018버전이 공개되어 있는 상태이다. 아울러, <그림 2>는 FlexSim을 이용하여 간단한 제조 현장에 대한 모형을 작성하여 실행한 모습에 해당하는데, 이를 보면, 실제 공장에서 볼 수 있는 것과 같은, 컨베이어 벨트, 크레인,

기계, 근로자 및 작업물들의 움직임이 매우 직관적으로 시각화되어 있는 점을 알 수 있다. 즉, 3D 팩토리 시뮬레이션이란, 종래의 시뮬레이션 소프트웨어와 달리, 컴퓨터 안에 가상적인 공장 또는 생산 시스템을 구성해 놓고, 이를 실행하여 분석 대상 시스템의 행태를 보다 현실적으로 표현 및 관찰할 수 있게 해 주는 기술을 말한다.

앞서 언급한 바와 같이, FlexSim 소프트웨어는 매우 진보된 형태의 모델링 개체, 모형 레이



<그림 4> FlexSim 소프트웨어 모델 뷰

아웃 및 사용자 인터페이스를 갖고 있다. 먼저, <그림 3>은 FlexSim이 제공하는 모델링 개체들 중 일부를 보여주며, 사용자들은 이들 중 필요한 것들을 선택하여 자신이 만들 모형의 구성요소로 포함시켜가면서 분석 대상 시스템과 유사한 특성의 모형을 작성하게 된다. 이들을 보면, 종래의 2D 기반 시뮬레이션 소프트웨어와 달리, 모델링 개체들이 현실 세계의 사물들과 상당히 닮아 있는 것을 알 수 있는데, 예를 들어, 그림 좌측 부분의 개체들 중 Processor나 Rack은 각각의 아이콘이 나타내는 바와 같이, 실제 제조 현장에서 볼 수 있는 기계나 진열대에 해당한다. 또한, 가운데 부분의 개체들 중 Operator, Transporter, Robot 등의 경우에는 각각의 아이콘이 가진 모습처럼 인간 근로자, 지게차, 산업용 로봇 팔을 의미하는 모델링 개체들이다.

이 같은 모델링 개체들은 단순히 아이콘 모습만 실제 사물과 비슷한 것이 아니다. <그림 4>는 모델 뷰(model view)라고 불리는 FlexSim 소프트웨어의 모형 레이아웃을 보여주고 있는데, 현재 이 모델 뷰에는 Operator 개

체와 Processor 개체가 각각 1개씩 배치되어 있는 상태이다. 이를 보면, 종래의 2D 기반 시뮬레이션 소프트웨어에서 순서도나 다이어그램과 같은 형태로 모형의 내용을 표현하던 것과 달리, 실제 공장과 시각적으로 유사한 방식으로 모델링 개체가 모델 뷰에 배치되는 것을 볼 수 있다. 즉, FlexSim과 같은 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어에서 모형 레이아웃은 가상적인 공장이 만들어지는 일종의 3D 가상 공간으로 볼 수 있다.

세부적으로, FlexSim의 모델 뷰는 3D 좌표 공간에 해당하기 때문에, 배치된 모델링 개체들은 위치나 크기 등과 같은 물리적인 특성들까지 갖게 된다. 예를 들어, <그림 4>의 근로자(Operator 개체)가 기계(Processor 개체)를 조작하기 위해 기계 쪽으로 이동해야 한다고 가정해 보자. 이들 사이의 거리가 멀수록 근로자가 기계로 이동하는 데는 더 오랜 시간이 소요될 것이다. FlexSim 모델 뷰에서는 단순히 이 두 개체를 더 멀리 배치하여, 이와 같은 사항을 매우 손쉽게 표현할 수 있다.

나아가, FlexSim 소프트웨어의 가진 특징 중 중요한 것으로 개체지향적(object-oriented) 구조를 들 수 있는데, 이는 JAVA나 C++과 같은 개체지향 프로그래밍 언어에서와 같이 다양한 속성과 기능을 가진 개체들을 조합하여 시뮬레이션 모형을 작성할 수 있음을 의미한다. 기존의 절차형 프로그래밍 언어에 비해 개체지향 프로그래밍 언어가 보다 사용하기 쉬운 것과 같이, FlexSim 소프트웨어의 이 같은 개체지향적 구조는 해당 소프트웨어가 매우 편리하고 손쉽게 익힐 수 있는 사용자 인터페이스를 갖게 하는데 크게 기여하였다.

Ⅲ. 상용 시뮬레이션 소프트웨어 비교

FlexSim 이외에도 현재 시중에는 3D 애니메이션

이션을 지원하는 다양한 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들이 출시되어 있으며, 최근의 연구에서는 각각에 대한 사용자 평가나 판매량 등을 고려하여 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들의 순위를 <표 1>과 같이 제시한 바 있다 (Dias et al., 2016). 아울러, 이들 소프트웨어들은 대부분 앞에서 설명한 애니메이션 기능을 포함하고 있어, 시뮬레이션이 진행되는 동안 사용자가 모형을 관찰하는 것이 가능하다.

<표 1>에 나열된 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들 중, 가장 순위가 높은 것은 Arena(Vieira et al., 2014)와 ProModel(Harrel and Price, 2002)이며, 앞에서 소개한 FlexSim 역시 3위에 올라 있는 것을 볼 수 있다. 특히, FlexSim은 2006년 조사에서 10위, 2011년 조사에서 7위에 올랐다가, 최근의 2016년에는 순위가 3위까지 상승하여, Simio(Pedgen, 2007) 등과 함께 상승세가 매우 두드러지는 시뮬레이션 소프트웨어 중 하나이다.

<표 1> 주요 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어 평가 순위 (Dias et al., 2016)

순위	소프트웨어명	2011년 평가 순위	순위 변동폭
1	Arena	1	0
2	ProModel	4	상승 2
3	FlexSim	7	상승 4
4	Simul8	2	하락 2
5	WITNESS	3	하락 2
6	ExtendSim	6	0
7	Simio	14	상승 7
8	Plant Simulation	9	상승 1
9	AnyLogic	5	하락 4
10	SIMPROCESS	12	상승 2
11	AutoMod	8	하락 3
12	Micro Saint	15	상승 3
13	QUEST	10	하락 3
14	Enterprise Dynamics	11	하락 3
15	ProcessModel	13	하락 2
16	SimCAD Pro	16	0
17	GPSS World	19	상승 2
18	SLX + Proof 3D	17	하락 1
19	ShowFlow	18	하락 1

<표 1>의 순위는 시뮬레이션 분야에서 세계적인 권위를 가진 학술 대회인 Winter Simulation Conference (WSC)에서 발표된 자료로, 소프트웨어의 기능이나 대외적인 인지도, 판매량 등이 다각적으로 고려된 것이다. 따라서, 상용 시뮬레이션 소프트웨어들에 대한 전문가들의 의견으로 볼 수 있을 것이다. 반면, 일반 사용자들의 입장에서는 시뮬레이션 소프트웨어들에 대해 전문가들과 약간 다른 의견을 가질 수 있기 때문에, 이번에는 다양한 업무용 소프트웨어들에 대한 사용자 평가 자료를 제공하는 웹사이트인 Capterra를 이용하여 각 소프트웨어의 사용용이성이나 고객서비스 등에 대한 평가 점수를 수집하였다. 다만, 상기한 웹사이트에서 <표 1>에 포함된 19개의 시뮬레이션 소프트웨어들 모두에 대한 자료를 찾을 수는 없었으며, 이에, 사용자 평가 자료가 공개되어 있는 10개 소프트웨어들에 대한 내용만 <표 2>에 요약하였다.

한 가지 특기할 만한 것은, <표 1>과 <표 2>의 내용이 일치하지는 않는다는 점이다. 즉,

<표 1>에서 높은 순위에 오른 시뮬레이션 소프트웨어가 반드시 <표 2>에서 높은 평점을 받는 못하였다. 이는 <표 1>과 달리, <표 2>는 일반 개인 사용자들에 의한 평가 결과이기 때문이다. 특히, 개인 사용자들은 다양한 시뮬레이션 소프트웨어들을 폭넓게 접하기보다는 특정 1~2가지 소프트웨어를 사용하는 경우가 많은데다, 각 소프트웨어마다 등록된 사용자 의견의 건수도 다르기 때문에, <표 2>의 평가 점수를 이용하여 여러 가지 시뮬레이션 소프트웨어들의 장단점을 정량적으로 비교하는 것은 무리라고 판단된다.

그럼에도 불구하고, 일반 사용자들의 입장에서 시뮬레이션 소프트웨어들의 기능이나 사용성 등에 대해 어떤 의견을 가지고 있는지를 알아보는 것이 전혀 의미가 없는 것은 아닐 것이며, 이에, Capterra 웹사이트에 등록되어 있는 사용자들의 정성적인 의견들 중 각 시뮬레이션 소프트웨어의 장단점에 대한 것들을 <표 3>에 요약하였다.

<표 2> 시뮬레이션 소프트웨어별 사용자 평가 결과(Capterra)

평가 순위	소프트웨어 개발사	소프트웨어명	사용자 평점			
			전체 평점	사용 용이성	고객 서비스	응답자 수
1	Rockwell Automation	Arena	4/0.65	4/0.69	4/0.47	11
3	FlexSim Software Products	FlexSim	4.5/0.63	4/1.13	4.5/0.87	16
4	Simul8	Simul8	4.5/0.62	4/0.66	5/1.23	17
5	LANNER	WITNESS	4.5/0.64	4/0.79	4.5/0.69	28
6	Imagine That	ExtendSim	5/0	5/0	5/0	1
7	Simio	Simio	5/0.48	4/0.74	4.5/0.10	82
9	The AnyLogic Company	AnyLogic	4.5/0.97	3.5/1.33	4.5/0.51	13
14	INCONTROL Simulation Solutions	Enterprise Dynamics	5/0	5/0	5/0	1
15	ProcessModel	ProcessModel	5/0	5/0	5/0	2
16	CreateASoft	SimCAD Pro	5/0	5/0	5/0	2

<표 3> 시뮬레이션 소프트웨어의 장·단점에 대한 사용자 의견(Capterra)

소프트웨어 명	장점/단점	내용
Arena	장점	1. 초보 사용자라도 소프트웨어의 구조에 대해 이해하기가 어렵지 않다.
	단점	1. 실제 데이터 및 통계를 통해 모형을 검증하지 않고 시나리오 시뮬레이션 기반으로 의사결정을 지원한다. 2. Simio, FlexSim과 같은 직관적인 애니메이션을 지원하지 않는다.
FlexSim	장점	1. 다양한 프로세스 또는 유형의 작업을 모델링할 수 있다. 초보 사용자가 사용하기 쉽다. 작업자가 관여해야 하는 공정과 자동화된 공정을 모두 가진 생산 시스템의 표현 및 관찰이 용이하다. 2. Process Flow라는 이름의 강력한 로직 작성 도구를 가지고 있다. 3. 개방형 구조를 가지고 있으며, FlexScript를 이용하여 맞춤형 로직을 개발할 수 있다. 4. 기술 지원이 좋은 편이다. 소프트웨어를 사용하는 도중 불편하거나 궁금한 점이 있는 경우, 이에 대한 피드백이 빠르다. 5. 유연성이 높고, 사용자 인터페이스가 간단하다. 6. 시뮬레이션을 가르치는데 있어 훌륭한 도구이며, 보건의료 등과 같은 특정 분야에 적용할 수 있는 맞춤형 버전이 존재한다. 7. 복잡한 시스템의 세부적인 특성까지 표현할 수 있다.
	단점	1. 고급 기능을 사용하기 위해서는 프로그래밍이 필요하다.
Simul8	장점	1. 인터페이스가 사용자 친화적이다.
	단점	1. 기능은 다양하지만 그에 대한 매뉴얼이 미흡하다. 2. 소프트웨어의 가격이 정기적으로 변경된다.
WITNESS	장점	1. 이산 사건 및 연속 사건에 대한 시뮬레이션이 가능하다.
	단점	1. 모형 파라미터의 분포 결정이나 시스템 최적화 등에 필요한 추가 기능이 다소 부족하다. 2. 3D 시각화를 위해 먼저 2D 모형을 작성해야 한다.
ExtendSim	장점	1. 내부 데이터 및 외부 MS-Excel 파일에 간편하게 연결할 수 있다. 2. 초보 사용자도 모형을 비교적 쉽게 작성할 수 있다.
	단점	1. 시뮬레이션 기능이 다소 제한적이다.
Simio	장점	1. 타 소프트웨어에 비해 오랜 역사를 가지고 있다. 2. 많은 대학에서 교육용으로 활용하고 있다. 3. 업데이트가 빠르다. 4. 조작이 비교적 쉽다. 5. 프로그래밍 없이 기본 모형을 작성할 수 있다.
	단점	1. 규모가 크고 복잡한 모형을 작성할 때는 별도의 스크립트를 작성하여야 한다. 2. 다양한 기능들이 있지만, 이들에 대한 도움말이나 예제 등이 비교적 미흡하다. 3. 3D 모형 작성 시 사전에 2D 모형을 작성해야 한다.
AnyLogic	장점	1. 외부의 지리 정보와의 연동이 가능하다.
	단점	1. 사용자 간 혹은 사용자와 개발사 간에 제품의 기능이나 사용법 등에 대해 문의 또는 토의할 공간이 부족하다. 2. 3D 모형 작성 시 사전에 2D 모형을 작성해야 한다.
Enterprise Dynamics	장점	1. 'Experiment wizard' 기능을 사용하여 모형의 상태에 대한 정보를 비교적 쉽게 얻을 수 있다.
	단점	1. 소프트웨어 활용 중 발생하는 문제나 오류에 대해 개발사에 문의하는 것이 다소 불편하다.
ProcessModel	장점	1. 초보 사용자도 기본적인 기능을 사용하는데 큰 어려움이 없다.
	단점	2. 고급 기능이 다소 부족한 편이다.
SimCad Pro	장점	1. MS-Access, MS-Excel 파일과의 연동이 편리하다. 2. 시나리오 분석 기능을 이용하여 최적의 대안을 결정할 수 있다.
	단점	1. 3D 모형을 작성 시 사전에 2D 모형을 작성해야 한다. 2. 고급 기능이 다소 부족한 편이다.

<표 3>에 나와있는 사용자 의견들의 경우, 대부분 해당 소프트웨어를 직접 사용해보고 등록한 것이기는 하나, 이들의 등록 시점이 동일하지 않아, 지적된 단점들 중 현재는 개선된 사항들도 있다. 나아가, 일반 사용자들이 특정 소프트웨어의 기능이나 관련 사항들에 대해 충분히 숙지하지 못한 상태에서 의견을 등록하였을 가능성도 존재한다. 따라서, 여기서는 개별 소프트웨어의 장단점을 직접적으로 비교하기보다는, 어떤 경우에 사용자들이 시뮬레이션 소프트웨어에 대해 긍정적인 평가를 내리는지를 종합적으로 고려하여, 바람직한 시뮬레이션 소프트웨어의 특성으로 <표 4>와 같은 5가지를 제시하고자 한다.

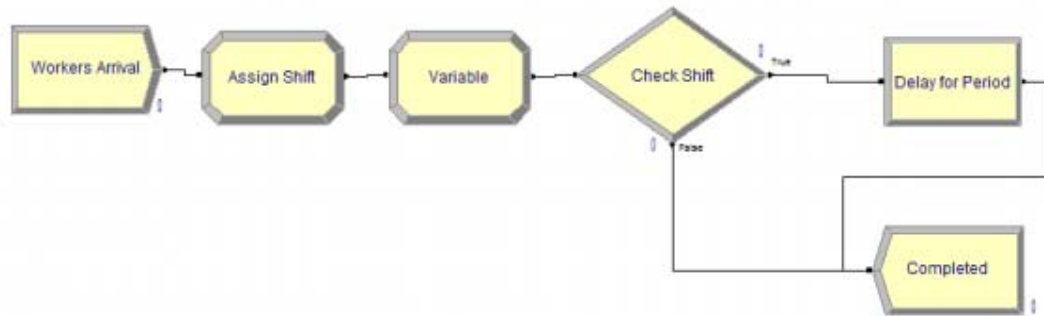
<표 4> 바람직한 시뮬레이션 소프트웨어의 특성

연번	내용
1	모형 작성의 용이성
2	유연성
3	자료 분석 기능
4	외부 연계성
5	기술 지원

첫째, 모형 작성의 용이성이란, 시뮬레이션 모형을 작성하는 과정이 얼마나 편리하며, 이에 필요한 소프트웨어의 기능을 얼마나 손쉽게 익힐 수 있는지를 의미한다. 세부적으로, 모형 작성의 용이성을 높이기 위해서는 직관적인 모델링 개체들이 다양하게 지원되어야 한다. 현대 시뮬레이션 소프트웨어들은 대부분 모형 레이아웃이라는 공간을 제공하고, 사용자가 여기에 다양한 모델링 개체들을 배치 및 조합하여 시뮬레이션 모형을 작성하도록 한다. 따라서, 시뮬레이션 소프트웨어에는 다양한 모델링 개체

들이 내장되어 있어야 하는데, 만약, 모델링 개체들의 역할이나 기능, 사용법을 익히는 것이 까다롭다면, 모형을 작성하는 것도 쉽지 않을 것이다. 한편, <표 3>에서 개별 시뮬레이션 소프트웨어들의 단점으로 자주 지적되는 것으로 3D 팩토리 시뮬레이션을 위해 먼저, 2D 모형을 작성한 후, 이를 3D 모형으로 변환해야 점을 들 수 있는데, 여기서 2D 모형이란 평면 형태의 모형 레이아웃에 도형이나 아이콘 형태의 모델링 개체들을 배치하여 일종의 다이어그램이나 도면과 같이 구성된 모형을 의미한다. 나아가, 시뮬레이션 모형을 실행할 경우, 원자재나 고객 등과 같은 다양한 작업물들은 이러한 모델링 개체들을 순차적으로 거쳐가게 된다. 따라서, 작업물의 모델링 개체 방문 순서 등을 표현하기 위해 보통 모형을 작성할 때는 배치된 모델링 개체들 간에 연결선을 표시하는 경우가 많은데, 이로 인해 2D 모형은 보통 <그림 5>에서 보듯이, 일종의 순서도와 유사한 형태를 갖게 된다(Jilcha et al., 2015).

물론, 이 같은 2D 모형으로도 분석 대상 시스템이 가진 여러 가지 논리적인 특성, 예를 들어, 작업물의 도착 간격이나 처리 시간, 모델링 개체들의 방문 순서 등을 표현할 수는 있다. 문제는, 3D 팩토리 시뮬레이션이란, 시뮬레이션이 실행되는 동안 모형이 어떤 식으로 작동하는지를 <그림 2>와 같이 3D 형태로 구현하여 보여주어야 하는 반면, 2D 모형은 이와 형태가 상이하다는 점이다. 이로 인해, 모형 작성 단계에서 분석 대상 시스템이 가진 물리적인 특성, 예를 들어, 기계나 대기 장소 등과 같은 자원들의 크기나 위치, 나아가 개체들 간의 복잡한 상호 작용 등을 고려하기가 어렵다. 아울러, 2D



<그림 5> Arena를 이용하여 작성한 시뮬레이션 모형 예(Jilcha et al., 2015)

모형을 작성한 후, 이를 이용하여 3D 팩토리 시뮬레이션을 실시하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이, 2D 모형을 3D 모형으로 변환하는 절차가 별도로 필요한데, 이는 사용자 입장에서 부가적으로 수행해야 하는 작업일 뿐만 아니라, 이러한 변환 과정에서 사용자가 직접 기계나 사람 등과 같은 자원들을 나타내는 3D 이미지를 등록해야 하는 경우가 많아, 상당한 시간과 노력이 요구된다. 물론 Google 3D warehouse 등과 같은 웹사이트에서 3D 이미지를 다운로드하여 이용하는 것도 가능하나, 필요한 이미지를 검색하여 일일이 다운로드하기가 불편할뿐더러, 이 같은 공개 3D 이미지에는 보통 애니메이션 기능이 내장되어 있지 않아, 시뮬레이션 도중 세세한 움직임을 표현하는데 한계가 있다. 따라서, 보다 편리하게 3D 팩토리 시뮬레이션을 이용하기 위해서는 시뮬레이션 소프트웨어에 처음부터 애니메이션이 포함된 3D 이미지 형태를 갖는 모델링 개체들이 내장되어 있어야 할 것이다.

둘째, 유연성이란 사용자가 시뮬레이션 모형에 자신이 원하는 다양한 특성이나 로직을 추가할 수 있음을 의미한다. 기본적으로 시뮬레이션 소프트웨어들은 모형이 가진 특성을 설정하

는데 사용할 수 있는 다양한 GUI와 내장 옵션들을 제공한다. 나아가, 비교적 단순한 시뮬레이션 모형이라면, GUI에 간단한 값을 입력하거나, 소프트웨어가 제공하는 내장 옵션들 중 적절한 것을 선택하여 원하는 결과를 얻는 것도 가능하다. 하지만, 실제 생산 시스템들은 종종 복잡한 구조나 특이한 운영 정책을 갖기도 하는데, GUI나 내장 옵션에서 이러한 경우들을 모두 고려하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 현대 시뮬레이션 소프트웨어들은 기본적으로 다양한 모델링 개체와 함께 적절한 GUI 및 내장 옵션들을 제공하되, 일반적이지 않은 로직이 모형에 적용되어야 하는 경우에는 사용자가 이와 관련된 내용을 직접 작성할 수 있도록, 어느 정도의 스크립팅 기능도 함께 제공하고 있다.

스크립팅이란, 프로그래밍 소스 코드와 같은 형태로 원하는 로직을 직접 작성하는 것을 말하며, 일반적으로 스크립팅은 GUI나 내장 옵션에 비해 그 사용법을 익히기가 까다로운 고급 기능에 해당한다. 하지만, 이 같은 스크립팅 기능은 다양한 특성을 가진 시뮬레이션 모형을 유연하게 작성하는데 반드시 필요한 기능이기도 하다. 이로 인해, <표 3>에서는 스크립팅이

가능하다는 점이 장점으로 꼽히는 경우도 있는 반면, 스크립팅을 해야 하는 경우가 있다는 것을 단점으로 생각하는 사용자들도 있는 것을 볼 수 있다. 물론, 프로그래밍과 관련된 배경 지식이 어느 정도 있는 경우라면 시뮬레이션 소프트웨어가 제공하는 스크립팅 기능을 보다 쉽게 익힐 수 있을 것이다. 또한, 시뮬레이션 모형을 작성하기 위해 별도의 스크립팅 언어를 익혀야 하는 불편함을 줄이기 위해서는 우선, 일반적인 프로그래밍 언어와 유사한 문법에 기반한 스크립팅 기능이 제공되어야 할 것이다. 예를 들어, FlexSim에서는 JAVA나 C++ 언어와 유사한 FlexScript라는 이름의 스크립팅 언어가 사용되고, Arena 등은 Visual Basic 언어를 사용한다. 나아가, 전통적인 방식으로 스크립트나 소스 코드를 작성하기보다 시각적인 구성요소들을 적절히 조합하여 필요한 로직을 표현할 수 있으면, 보다 손쉽게 필요한 모형을 작성할 수 있는데, 최근 FlexSim에는 Process Flow라는 이름의 시각적인 로직 작성 도구가 추가되어, 앞으로 그 활용도가 크게 높아질 것으로 기대된다.

셋째, 분석 도구는 여러 가지 자료들에 대한 정량적인 분석 기능을 말한다. 3D 팩토리 시뮬레이션에서 3D 애니메이션 형태의 시각화 기능이 강조되기는 하지만, 근본적으로 시뮬레이션은 성과지표의 추정 등과 같은 분석을 위해 사용되는 기술이다. 나아가, 대기행렬 이론과 같은 분석 모형에서 안정 상태의 성과지표 값을 산출하는데 초점을 맞추는 것과 달리, 과도 상태에 대한 분석에도 많이 활용되는 시뮬레이션의 특성 상, 일반적으로 시뮬레이션을 이용하여 생산 시스템의 성과지표 값을 분석할 때는

시뮬레이션 모형을 여러 차례 반복적으로 실행한 후, 각 반복에서 얻어진 값들에 대한 통계 분석을 실시해야 하는 경우가 많다. 따라서, 시뮬레이션 소프트웨어에는 일반적으로 시뮬레이션 실행 결과값들에 대한 통계 분석 기능이 포함되어 있다. 한편, 앞서 언급한 바와 같이, 일반적으로 생산 시스템이 가진 특성 중에는 불확실성을 가진 것들이 많은데, 시뮬레이션을 통해 정확한 분석 결과를 얻기 위해서는 이 같은 모형 파라미터들의 확률 분포 종류 및 그 모수값들을 적절히 결정하여야 한다. 물론, 일반적인 통계 분석 소프트웨어를 이용하여 이러한 확률 분포의 종류 및 모수값을 추정할 수도 있으나, 시뮬레이션 소프트웨어에 이 같은 기능이 포함되어 있으면 보다 편리하게 모형을 작성할 수 있을 것이다. 예를 들어, FlexSim 소프트웨어에는 일련의 표본값들을 입력했을 때 이에 해당하는 확률 분포의 종류 및 그 모수값을 알려주는 ExpertFit(Law and McComas, 2000)이라는 모듈이 내장되어 있다. 이 외에도 다양한 대안들 중, 가장 우수한 성과지표를 산출하는데 흔히 사용되는 시뮬레이션의 특성 상, 최적의 대안을 탐색하는 기능을 가진 모듈이 시뮬레이션 소프트웨어에 내장되기도 하는데, 이러한 예로는 OptQuest 등을 들 수 있다(Kleijnen and Wan, 2007).

넷째, 외부 연계성이란, 여러 가지 목적을 위해 시뮬레이션 소프트웨어를 외부 애플리케이션이나 시스템 등과 연동시키는 것이 가능한지를 의미하며, 시뮬레이션 소프트웨어의 가장 기본적인 연동 대상으로는 MS-Excel과 같은 스프레드시트나 DB를 들 수 있다. 시뮬레이션 소프트웨어들은 보통 모형의 특성을 설정하는데

필요한 입력 데이터를 불러오거나, 시뮬레이션을 통해 얻어진 실험 결과값들을 내보내기 위한 목적으로 스프레드시트나 DB를 활용하며, 이는 대부분의 상용 시뮬레이션 소프트웨어들이 공통적으로 가진 기능이기도 하다.

한편, 일반적으로 시뮬레이션은 시스템이 가진 문제점을 식별 및 진단하거나, 여러 가지 개선 방안들 중 가장 좋은 것을 선별하는 등과 같은 의사결정 과정에서 활용하는 경우가 많다. 이로 인해, 시뮬레이션 모듈을 구성요소로 포함하는 의사결정지원 시스템, 즉, 시뮬레이션 기반 의사결정지원 시스템에 대한 연구도 다양한 분야에서 이루어지고 있다(김기수, 1993; Kadri et al., 2014; Opacic et al., 2018). 특히, 수리적인 방법이나 분석 모형을 이용하여 최적의 대안을 구하는 것이 곤란한 경우에는 이 같은 시뮬레이션 기반 의사결정지원 시스템이 유용하게 활용될 수 있으며, 대표적인 예로는 NP-문제에 해당하는 조합 최적화 문제를 신속하게 풀이해야 하는 생산 일정계획 분야를 들 수 있다(Jeong, 2010; Zhang et al., 2015). 이 같은 시뮬레이션 기반 의사결정지원 시스템을 효과적으로 개발하기 위해서는 시뮬레이션 소프트웨어와 외부 애플리케이션 간의 연동을 위한 API(application programming interface)가 제공되어야 할 것이다. 예를 들어, FlexSim 소프트웨어는 C++ 기반 애플리케이션과의 연동에 필요한 API를 제공하는데다, 소프트웨어 자체에 웹서버 기능이 내장되어 있어, 작성된 모형을 웹에 게시해 두고, 원격에서 웹 브라우저를 이용하여 모형을 실행 및 관찰할 수 있어, 이를 이용하여 웹 기반의 의사결정지원 시스템을 개발하는 것도 가능하다.

이 외에도, 시뮬레이션 소프트웨어들에 따라 특이한 외부 연동 기능을 제공하는 경우들이 있는데, 예를 들어, AnyLogic(Borchchev and Filippov, 2004) 소프트웨어는 GIS(geographic information system)와의 연동을 지원하여 물류 시스템 등에 대한 분석 시, 지리적인 정보를 손쉽게 고려할 수 있다는 장점을 갖는다. 아울러, FlexSim 소프트웨어에는 제조 현장에서 공정 자동화를 목적으로 많이 활용하는 PLC(programmable logic controller) 장비와 신호를 주고받는데 필요한 기능이 최근 추가되어, 실제 제조 현장에서 일어난 변화가 감지될 경우, 이에 맞추어 시뮬레이션을 수행하고, 시뮬레이션을 기반으로 판단한 내용을 다시 PLC 장비에 전달하는 것이 가능해졌는데, 이는 최근 다양한 산업 현장에서 강조되고 있는 CPS(Cyber Physical System)의 구현에 매우 유용하게 사용할 수 있는 기능이기도 하다(Lee et al., 2015; Mosterman and Zander, 2016).

끝으로, 기술 지원이란, 말 그대로 일반 사용자가 소프트웨어를 활용하는 과정에서 기술적인 문제가 발생할 경우, 개발사가 얼마나 적극적으로 이를 해결하기 위한 노력을 하는지를 의미한다. 앞서서도 언급한 바와 같이, 복잡한 시스템에 대한 시뮬레이션 모형을 작성하기 위해서는 일반적으로 시뮬레이션 소프트웨어에 내장된 고급 기능들을 적절히 활용하거나, 어느 정도 소스 코드를 직접 작성하는 것이 필요한데, 이 과정에서 분석 대상 시스템이 가진 특성을 모형에 반영하는 것이 힘든 경우도 얼마든지 발생할 수 있다. 따라서, 일반 사용자들 입장에서 시뮬레이션 소프트웨어를 활용하는 도중 이러한 문제가 발생했을 때, 전문가에게 자

문을 구하고, 나아가, 이를 통해 신속하게 필요한 답변이나 도움을 얻을 수 있어야 할 것이다. 물론, 상용 소프트웨어를 판매하는 개발사들은 보통 고객들에게 이 같은 기술적인 지원을 제공하기 위한 고객 지원 부서를 운영하고 있다. 문제는, 개발사 내부의 한정된 인력만으로는 수많은 고객들이 가진 다양한 기술적 문제에 신속하고 적절한 방식으로 대응하는 것이 현실적으로 쉽지 않다는 점이다. 따라서, 효과적인 기술 지원을 제공하기 위해서는 첫째, 개발사가 다양한 기술적인 문제들을 해결할 수 있는 역량을 가진 전문적인 연구 인력들을 충분히 보유하고 있어야 할 뿐만 아니라, 둘째, 소프트웨어 사용자들로 구성된 온·오프라인 커뮤니티가 형성되어, 사용자들 간에도 빈번하게 정보나 의견이 공유되도록 하는 것이 필요하다.

IV. FlexSim 소프트웨어를 이용한 3D 팩토리 시뮬레이션

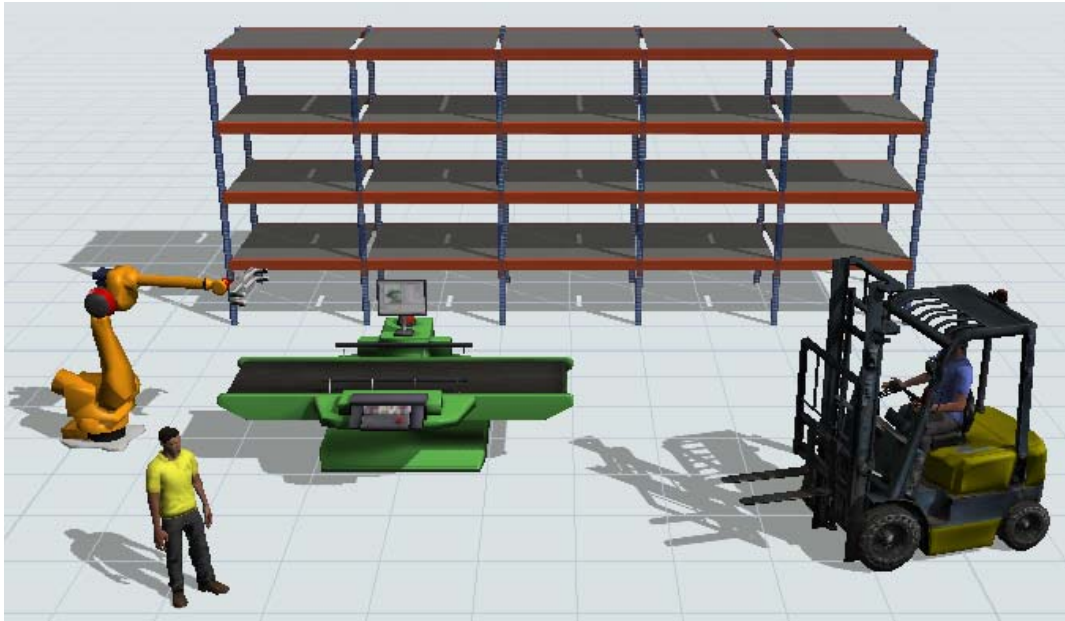
4.1 FlexSim 소프트웨어 특징

앞에서 살펴본 상용 시뮬레이션 소프트웨어들은 모두 이산 사건 시뮬레이션에 초점이 맞추어진 것들이며, 따라서, 어느 정도의 차이는 있겠으나, 대부분 <그림 1>과 같은 구조를 공유한다. 다만, 본 논문에서는 3D 팩토리 시뮬레이션을 수행하는데 특히 유용한 것으로 FlexSim 소프트웨어를 제시하고자 하며, 그 이유는 <표 4>에 제시한 특성들을 잘 충족하기 때문이다.

첫째, 모형 작성의 용이성은 FlexSim의 가장

큰 장점이라고 할 수 있다. 최근에는 대부분의 시뮬레이션 소프트웨어들이 모델링 개체를 지원하고 있으나, 내장된 3D 모델링 개체를 제공하는 경우는 많지 않다. 특히, 다른 소프트웨어들은 대부분 2D 형식의 모델링 개체를 이용하여 모형을 작성한 후, 나중에 이를 3D 형식으로 변환하는 방식이라, 어느 정도의 불편함이 따른다. 따라서, FlexSim 소프트웨어를 이용하면 WYSIWYG(what you see is what you get) 방식으로 모델링 작업을 수행할 수 있어, 보다 쉽고 빠르게 3D 팩토리 시뮬레이션에 필요한 모형을 작성할 수 있을 뿐만 아니라, 모형을 작성하는 도중, 잘못된 점을 발견하기도 용이하다. 나아가, FlexSim이 제공하는 3D 모델링 개체들은 대부분, 제조 현장에서 흔히 찾아볼 수 있는 자원들의 형태를 하고 있어, 시각적으로 관찰했을 때, 그 역할이나 기능을 한 눈에 이해할 수 있고, 초보자라 하더라도 이들을 조합하여 다른 사람이 이해하기 쉬운 형태의 가상적인 생산 시스템을 구성하는 것이 가능하다. 예를 들어, <그림 6>은 FlexSim 소프트웨어에 내장된 3D 모델링 개체들 중, 랙, 로봇, 프로세서, 트랜스포터 및 오퍼레이터 개체들의 모습을 보여주는 데, FlexSim 소프트웨어에 대한 배경 지식이 많지 않은 사람이라 하더라도, 이 같은 개체들이 무엇을 의미하고, 이들이 각각 모형 내에서 어떤 역할을 할 지를 짐작하기는 어렵지 않다.

둘째, FlexSim 소프트웨어는 높은 수준의 유연성을 갖고 있다. FlexSim 소프트웨어는 필요한 경우, 사용자가 원하는 로직을 직접 구현할 수 있도록 하기 위해 FlexScript라는 이름의 스크립팅 언어를 지원하기 때문이다. 물론, 이 같은 스크립팅 기능은 다른 시뮬레이션 소프트웨어



<그림 6> FlexSim에 내장된 다양한 3D 모델링 개체

어에도 내장되어 있는 경우가 많고, FlexScript가 JAVA나 C++과 같은 대중적인 고급 프로그래밍 언어와 유사한 문법을 가지고 있다고 하나, Arena와 Simio 등도 Visual Basic에 기반한 스크립팅 언어를 제공하며, AnyLogic처럼 JAVA언어를 그대로 사용하는 경우도 있다. 그럼에도 불구하고, FlexSim 소프트웨어는 다음과 같은 점에서 차별화된 유연성을 가지고 있다. (i) 모형 뿐만 아니라 소프트웨어의 구조 자체가 개체지향적이다. FlexSim을 이용하여 모형을 작성하면 다양한 모델링 개체들이 모형을 최상위 노드로 하는 트리 구조를 이루게 되고, 이를 이용하여 소스 코드 상에서 특정 개체를 편리하게 식별할 수 있다. (ii) 이벤트 기반 프로그래밍 방식으로 로직을 작성할 수 있다. 이산 사건 시뮬레이션의 특성 상, 모형을 실행하는 도중 어떤 사건이 발생했을 때, 특정 로직을 실행하게 되는 경우가 많은데, FlexSim 소프트웨

어에는 트리거(trigger)라는 이름의 일종의 이벤트 처리자(event handler) 기능이 내장되어 있어, 일반적인 윈도우 프로그래밍 언어와 유사한 방식으로 모형에 반영되어야 하는 로직을 작성할 수 있다. (iii) 스크립팅 이외에도 Process Flow라는 일종의 시각적인 로직 작성 도구를 지원한다. 최근 기초 프로그래밍 교육 등에서 활용되는 스크래치(윤희원, 최성욱, 2017)와 같이 Process Flow를 이용하면 텍스트 기반의 소스 코드를 작성하지 않고도, 여러 가지 논리적인 블록들을 시각적으로 조합하여 필요한 로직을 개발할 수 있다. 따라서, 이를 이용하면 보다 편리하게 원하는 모형을 작성할 수 있으며, 현재 FlexSim 소프트웨어의 개발사에서는 모형을 작성할 때 Process Flow를 폭넓게 활용할 것을 적극 권장하고 있다.

이 외에도, 앞 장에서 살펴본 것처럼, FlexSim 소프트웨어에는 자료의 확률 분포 중

류 및 모수값을 추정하는데 사용할 수 있는 ExpertFit, 다중 시나리오 실험을 통해 최적화된 모형 파라미터를 구하는데 사용할 수 있는 OptQuest와 같은 모듈이 내장되어, 통계 분석 등을 위해 다른 소프트웨어를 사용할 필요가 없다. 또한, 이 소프트웨어는 스프레드시트나 DB 및 기타 외부의 애플리케이션이나 장치들과의 연동도 폭넓게 지원한다. 아울러, FlexSim Software Products사는 매년 지속적으로 FlexSim 소프트웨어의 기능과 성능을 개선하고 있고, 상기한 Process Flow도 최근에 추가된 기능이다. 나아가, 모형을 작성하는 도중 활성화된 사용자 커뮤니티나 본사의 기술진을 통해 신속한 기술 지원을 받을 수 있는 것도 이 소프트웨어의 중요한 장점 중 하나이다. 이상과 같은 FlexSim 소프트웨어의 특징점들은 <표 5>에 요약하였다.

4.2 FlexSim 소프트웨어 응용 사례

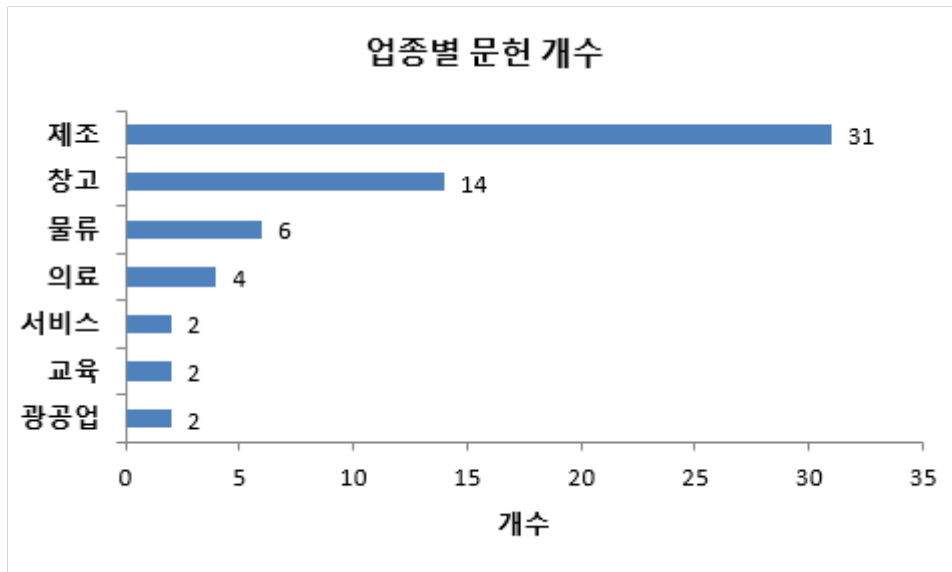
다음으로는, 국내외 학술지나 학술 대회에

발표된 문헌들 중 FlexSim 소프트웨어의 응용 사례에 해당하는 것들을 검색하여, 현대적인 3D 팩토리 시뮬레이션 기술이 주로 어떤 분야에서 어떤 목적으로 활용되고 있는지를 조사해 보았다. 세부적으로는 FlexSim 소프트웨어가 언급된 국내외 학술 문헌들 중, 온라인 상에서 본문을 구할 수 있고, 국문이나 영문으로 작성되었으며, 시뮬레이션에 대한 일반적인 내용보다는 구체적인 응용 사례를 담은 것들을 조사하여, 총 61개의 문헌들을 수집하였다. <그림 7>은 수집된 61개 문헌들에서 FlexSim 소프트웨어가 어떤 업종에 적용되었는지를 분류한 결과를 보여준다.

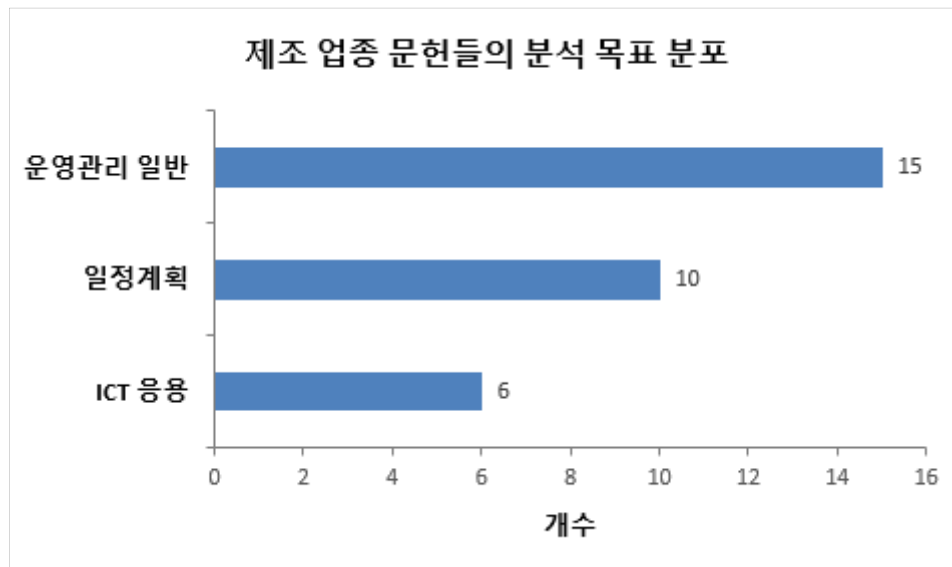
<그림 7>에서 보듯이, 기존 문헌들에서 FlexSim 소프트웨어가 가장 많이 적용된 분야는 제조업 분야이며, 이 업종은 전통적으로 FlexSim 이외에도 다양한 시뮬레이션 소프트웨어들이 많이 활용되어온 분야이기도 하다. 나아가, <그림 8>은 제조 업종에 해당하는 문헌들의 세부적인 분석 목표들의 분포를 보여주며, 여기서 제조 업종에서 FlexSim 소프트웨어를

<표 5> 3D 팩토리 시뮬레이션 도구로서의 FlexSim 소프트웨어 특징점

연번	바람직한 시뮬레이션 소프트웨어 특성	FlexSim 소프트웨어 구성요소
1	모형 작성의 용이성	1) 내장 3D 모델링 개체 지원 2) WYSIWIG 방식의 3D 모형 작성 방법
2	유연성	1) 친숙한 문법의 스크립팅 언어 2) 개체지향적 구조 3) 트리거에 기반한 이벤트 기반 프로그래밍 4) Process Flow를 이용한 시각적 프로그래밍
3	자료 분석 기능	1) ExpertFit 2) OptQuest
4	외부 연계성	1) MS-EXCEL 및 관계형 DB 2) C++ 기반의 API 제공 3) PLC 연동 지원
5	기술 지원	1) 지속적인 기술 개발 2) 활성화된 사용자 커뮤니티 3) 신속한 기술 지원



<그림 7> FlexSim 소프트웨어 응용 분야 분포



<그림 8> 제조 업종 문헌들의 세부 분석 목표

이용하여 달성하고자 하는 분석 목표가 크게 운영관리 일반, 일정계획 및 ICT 응용의 세 가지로 분류된다는 점을 알 수 있다.

먼저, 운영관리 일반이란, 생산 시스템의 성

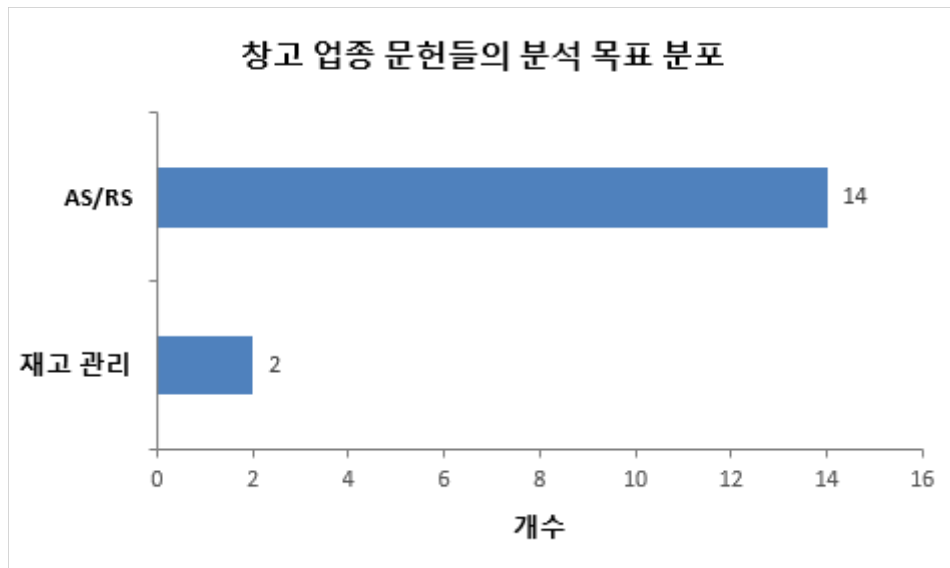
능 평가지표를 향상시키기 위한 개선안을 도출하는 것이 분석 목표인 경우를 의미하며, 이러한 목표를 다루는 문헌들에서는 근로자나 기계 및 설비의 활용 방법 변경(Liu et al., 2010;

Kumar et al., 2016; Li, 2017), 병목 구간의 식별 및 해소(Wu, 2011, Kumar et al., 2015; Wang and Chen, 2016), 작업 방법이나 라우팅 등과 같은 운영 정책의 변경(Pawlewski et al., 2012; Kaczmar, 2015; Krishna et al., 2015; Pawleski and Kluska, 2016; Stadnicka et al., 2017; Kumar et al., 2018; Min and Yang, 2018; Manupati et al., 2018), 돌발 상황에 대한 대응 방법 변경(Hoffa and Pawlewski, 2015) 등이 전체 생산 시스템의 성능 평가지표를 향상시키는데 기여하는지를 분석하기 위해 FlexSim 소프트웨어를 활용하였다.

일정계획이란, 대기 중인 작업물들의 처리 순서 또는 시작 및 종료 일자가 명시된 생산 활동 수행 계획을 의미하며, 효과적인 일정계획을 수립할 경우, 생산 현장에서는 납기 준수를 향상이나 재공품의 감소, 적정 수준의 이용률 유지 등의 효과를 얻을 수 있다. 나아가, 시뮬레이션은 전통적으로 일정계획을 수립하기 위한 규

칙이나 일정계획 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 도구로 널리 활용되어져 왔는데, 조사 결과, FlexSim 소프트웨어도 이 같은 목적으로 활용되는 경우가 많았음을 알 수 있었다(Yu et al., 2009; Zhang and Li, 2010; Yao and Zhu, 2010; Selvaraj, 2011; Rong et al., 2012; Fanti et al., 2013; Samaranyake et al., 2014; Peng, 2015). 다만, 최근에는 단순히 작업 배정 규칙이나 일정계획 알고리즘의 성능을 평가하는 것에서 나아가, 일정계획 시스템의 구성요소로 FlexSim 소프트웨어를 활용하고자 하는 연구들도 수행되고 있는데, 이는 FlexSim 소프트웨어의 높은 외부 연계성을 활용한 사례들로 볼 수 있을 것이다(Krenczyk et al., 2017; Dallasega et al., 2017).

아울러, 한 가지 더 특기할 만한 것은 최근 정보통신기술과 제조 현장이 결합된 스마트 팩토리의 도입이 강조되면서, 제조 현장에서 수집되는 실시간 데이터와 FlexSim 소프트웨어를



<그림 9> 참고 업종 문헌들의 세부 분석 목표

연계하여 활용하고자 하는 시도가 늘어난다는 점이며, 이 같은 분석 목표를 <그림 8>에서는 ICT 응용이라 지칭하였다. 세부적으로는 CPS 나 실시간 제어 시스템의 구축(Zhang et al., 2017; Jen and Hsiao, 2018; Lohtander et al., 2018a; Lohtander et al., 2018b; De Felice et al., 2018), 또는 무인이송차와 같은 자동화 장비의 효과적인 운용(Sun et al., 2018) 등에 FlexSim 소프트웨어가 활용되고 있어, 향후 스마트 팩토리의 확산과 더불어 이 소프트웨어의 활용도가 보다 증가할 것으로 기대된다.

한편, <그림 9>에는 창고 업종에 해당하는 16개 문헌들의 세부적인 분석 목표가 나타나 있는데, 여기서는 자동 창고 시스템, 즉, AS/RS(Automated Storage/Retrieval System)에 대한 연구가 많다는 점을 볼 수 있으며, 이는 다른 시뮬레이션 소프트웨어들과 차별화되는 FlexSim의 특징이기도 하다. FlexSim에서는 랙이라는 3D 모델링 개체를 이용하여, 다수의 수납 공간을 가진 진열대나 창고를 매우 간편하게 표현할 수 있으며, 이와 관련된 로직을 작성하는 것도 다른 시뮬레이션 소프트웨어들에 비해 용이한 편이다. 따라서, AS/RS 시스템에서의 물품 입출력 시간 최소화나 수납 공간의 배치 방법을 결정하기 위해 FlexSim 소프트웨어가 빈번하게 활용되고 있다(Xu and Xiong, 2007; Yan and Lee, 2009; Zhu et al., 2009; Zhou et al., 2009; Zhou and Mao, 2010; Peng, 2010; Zhou and Chen, 2010; Fenercioglu et al., 2011; Tang et al., 2013; Drnberger et al., 2014; Chen and Sun, 2017). 나아가, 적정 재고 수준을 유지하기 위한 주문 정책을 결정하는 것과 같은 일반 재고 관리 목적으로도 FlexSim 소프

트웨어가 활용되고 있는 것을 알 수 있었다(Jiang et al., 2010; Jing, 2016).

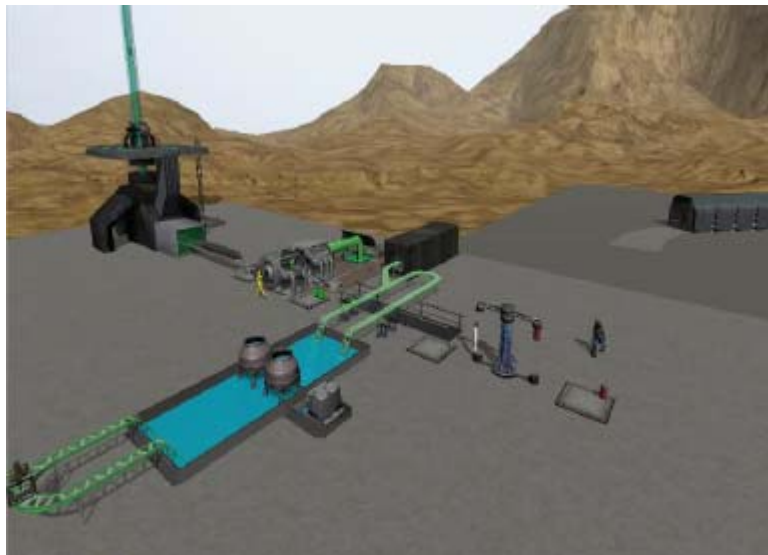
물류 분야에 해당하는 문헌은 총 6개가 조사되었는데, 이들의 경우, 물류 네트워크를 구성하는 시설이나 기지 등의 위치 선정(Chen et al., 2013; Zhu et al., 2014), 이송할 물품들의 처리 순서나 입출력 위치 최적화를 통한 효율성 개선(Zhang and Tian, 2017; Yan and Jiang, 2017), 크로스 도킹 시스템의 운영 최적화(Pan and Wu, 2009; Pawlewski and Hoffa, 2014) 등을 다루고 있었다. 아울러, FlexSim 소프트웨어에는 HC(healthcase) 버전이 존재하여, 이를 병원 등 의료 시설의 분석에 활용할 수도 있는데, 의료 분야에서는 주로 환자들의 대기 시간 최적화 및 서비스 수준 향상(임지혜 등, 2012; Song and Wei, 2018), 또는 입원 병실이나 검사 시설과 같은 자원들의 활용 방법을 최적화(Devapriya et al., 2015; Pongjetanapong et al., 2018)하기 위한 목적으로 FlexSim 소프트웨어를 활용하고 있었다. 또한, 수가 많지는 않았으나, 약간 특이한 응용 분야 중의 하나로 광공업을 들 수 있는데, 일반적인 제조 업종에서 현장의 설비 배치를 최적화하는데 시뮬레이션을 사용하는 것처럼, 광물 채굴 현장의 구조를 최적화하기 위한 목적으로 FlexSim 소프트웨어를 활용한 사례도 존재하였다(Cai et al., 2012; Kęsek et al., 2018).

끝으로, 시뮬레이션의 전통적인 응용 분야는 아니나, FlexSim 소프트웨어의 경우, 교육이나 훈련 목적으로 활용되는 사례도 간혹 있는 것으로 조사되었다. 교육이나 훈련을 통한 학습 효과를 극대화하기 위해서는 학습자들에게 높은 수준의 몰입을 제공하는 것이 필요한데, 이

를 실현하기 위한 방안 중의 하나로 최근 기능성 게임(serious game)이 주목을 받은 바 있다. 나아가, 교육이나 훈련 용도의 기능성 게임들은 보통 학습자들이 즐겁게 게임을 하면서 자연스럽게 관련 내용을 익히도록 하는데 초점을 맞춘다. 다만, 기능성 게임에서 게임과 교육 및 훈련 내용을 자연스럽게 조화시키는 것은 쉽지 않으며, 이로 인해, 교육, 훈련용 기능성 게임들 중에서는 유아 및 아동을 대상으로 간단한 퀴즈를 낸다거나 하는 형식에 그치는 경우도 많다. 이러한 맥락에서, 보다 고차원적인 교육 또는 훈련용 게임 콘텐츠를 개발하고자 하는 경우, 시뮬레이션을 적절히 활용하는 것이 바람직하다는 주장이 제기되기도 하였으며(Raybourn, 2007), 특히, 강력한 3D 모델링 기능과 높은 외부 연계성을 가진 FlexSim 소프트웨어는 이 같은 목적에 매우 잘 부합하는 도구이다.

구체적인 활용 예로는 먼저, <그림 10>에서 볼 수 있는 Zombie battery(Tokgoz, 2018)를 들

수 있다. 이 콘텐츠는 사용자가 가상적으로 특정 제품(배터리)을 제조하는 생산 시스템을 운영해볼 수 있도록 설계되었으며, 제품을 과잉 생산하거나 반대로 생산량이 너무 적을 경우, 손실이 발생한다. 따라서, 사용자가 적절한 운영관리를 실시하는지 여부에 따라 생산 시스템의 성과가 달라지며, 이러한 경험을 통해 사용자는 생산 시스템 운영관리의 개념과 필요성 등을 자연스럽게 이해하게 된다. 이와 유사하게, 철도 운송 시스템에서 발생할 수 있는 여러 가지 비상 상황에 대한 대처 능력을 제고하기 위한 훈련용 콘텐츠를 개발하는데 FlexSim 소프트웨어를 응용한 사례도 있었다(Kwok et al., 2018). 이 콘텐츠의 경우에는 FlexSim 모형을 웹 기반 시스템과 연동시켜, 교강사가 모형 내에서 어떤 비상 상황을 발생시키고, 학습자들이 이에 대처하는 식으로 훈련이 이루어지도록 설계되었으며, 이들은 모두 FlexSim 소프트웨어의 3D 모델링 기능을 이용하여 시각적으로 이



<그림 10> FlexSim 기반 생산 시스템 운영관리 게임 (Tokgoz, 2018)

해하기 쉽고 학습자들의 몰입을 유발하기가 용이한 학습 환경을 구축하여 활용한 사례들로 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 최근 인지도와 활용도가 높아지고 있는 3D 팩토리 시뮬레이션 기술의 특성과 응용 분야 등에 대해 전반적으로 고찰해보았다. 3D 팩토리 시뮬레이션이란, 전통적으로 생산 시스템의 모델링 및 분석에 많이 활용되었던 이산 사건 시뮬레이션에 3D 형태로 모형을 표현 및 구동하는데 필요한 기능이 결합된 것을 말하며, 최근에는 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어에서 이러한 3D 팩토리 시뮬레이션을 지원하는 경우가 많다.

다만, 본 논문에서는 3D 팩토리 시뮬레이션이 가능한 소프트웨어 중에서도 FlexSim에 초점을 맞추었는데, 그 이유는 소프트웨어의 구조나 기능이 3D 팩토리 시뮬레이션에 매우 적합하기 때문이었다. 구체적으로 말해, 오늘날의 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들은 대부분 어느 정도 유사한 구조를 갖는데, FlexSim에는 3D 기반의 모델링 개체와 모델링 공간이 내장되어 있어, 매우 편리한 모형 작성 환경을 제공한다. 이 같은 특성에 힘입어, FlexSim 소프트웨어는 다양한 상용 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들 중에서도 최근 그 평가 순위가 급격히 상승하고 있음을 볼 수 있었다.

아울러, 본 논문에서는 업무용 소프트웨어들에 대한 사용자 평가 정보를 제공하는 웹사이트를 통해 평가 순위가 높은 시뮬레이션 소프

트웨어들에 대한 사용자들의 의견을 수집 및 분석하여, 사용자 만족도에 영향을 미치는 요인들로 모형 작성의 용이성, 유연성, 자료 분석 기능, 외부 연계성, 기술 지원 등의 5가지를 선별하였다. FlexSim 소프트웨어의 경우, 이 5가지 요인들을 매우 잘 충족하는데, 먼저, 내장 3D 모델링 개체와 WYSIWIG 방식의 모형 작성 방법은 높은 수준의 모형 작성 용이성에 영향을 준다. 또한, 스크립팅 언어의 친숙한 문법과 개체지향적 구조, 이벤트 기반 프로그래밍 및 시각적 프로그래밍 등의 기능을 바탕으로 사용자가 필요한 로직을 쉽게 작성할 수 있다는 점에서, 해당 소프트웨어는 높은 수준의 유연성을 갖는다. 뿐만 아니라, 주요 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들과 마찬가지로, FlexSim 역시 ExpertFit이나 OptQuest와 같은 자료 분석 기능을 내장하고 있으며, 전통적인 스프레드시트 및 관계형 DB 뿐만 아니라, 외부 애플리케이션이나 PLC 등과 같은 설비와의 연동도 가능하며, 스마트 팩토리의 구축 및 운영에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 나아가, 시각적 프로그래밍 기능이나 PLC 연동 등 최근까지도 다양한 기능이 지속적으로 보강되고 있고, 필요한 경우 신속한 기술 지원이 제공된다는 점도 FlexSim 소프트웨어의 장점이다. 이러한 맥락에서, 향후에는 FlexSim의 활용도가 보다 높아질 것으로 기대된다.

한편, FlexSim 소프트웨어를 응용한 국내외 연구 동향을 살펴본 결과, 주로 제조, 창고, 물류 등과 같은 분야에서의 응용 사례가 많은 것으로 나타났는데, 이는 기본적으로 종래의 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들과 유사한 경향이라 할 수 있다. 다만, 제조업 분야에서는 전통

적인 운영관리나 일정계획 이외에도 최근 스마트 팩토리가 강조되면서 제조 현장에서 수집되는 데이터와의 실시간 연동을 통해 CPS 구축 및 설비 제어 등에 FlexSim 소프트웨어를 활용하고자 하는 사례가 조금씩 관찰되었으며, 이는 FlexSim 소프트웨어가 독립적인 시뮬레이션 분석 도구일 뿐만 아니라, 생산 시스템을 가상화, 지능화하기 위한 스마트 팩토리 시스템의 구성요소로도 활용될 수 있음을 시사한다. 또한, AS/RS 등과 같은 일부 자동화 설비들의 경우, 다른 상용 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 모델링하는 것이 까다로운 반면, FlexSim에서는 매우 손쉽게 표현이 가능하다. 나아가, 최근에는 병원에 대한 모델링 및 분석을 위한 FlexSim HC 버전이 출시되기도 하였는데, 이 같은 점들은 FlexSim 소프트웨어가 특정 유형의 시스템에 대한 전문적인 분석 도구로서도 매우 유용하게 활용된다는 점을 보여준다.

이상과 같이, FlexSim 소프트웨어는 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어가 가져야 할 다양한 특성들을 고루 갖추고 있는데, 그 중에서도 본 논문의 저자들은 이 소프트웨어의 강력한 3D 모형 작성 및 실행 기능에 가장 큰 인상을 받았다. 특히, 가상 공간에 직관적으로 이해할 수 있는 형태의 생산 시스템을 구축한 후, 이를 가상적으로 실행시켜볼 수 있다는 점은 FlexSim 소프트웨어의 가장 큰 장점이다. 이로 인해, 최근에는 FlexSim의 이러한 강력한 시각화 기능을 교육 및 훈련용 콘텐츠 개발에 활용하고자 하는 시도도 이루어지고 있으며, FlexSim 소프트웨어를 적절히 활용할 경우, 높은 학습 효과를 갖는 기능성 게임 등의 개발도 가능할 것으로 기대된다.

저자들은 앞으로도 FlexSim 소프트웨어를 다양한 분야에 응용하기 위한 연구를 지속할 계획이며, 이와 같은 3D 팩토리 시뮬레이션과 관련된 유망한 연구 주제로는 다음과 같은 3가지를 제시하고자 한다. 첫 번째 주제는 특정 자동화 설비를 표현하는데 필요한 모델링 개체 또는 관련 라이브러리의 개발이다. 최근 제조 현장의 생산성을 높이기 위한 목적으로 다양한 자동화 설비들을 도입하는 경우가 늘고 있는데, 이들을 효과적으로 활용하기 위해서는 사전에 적절한 운용 방법을 결정하여야 하며, 이 같은 예로는 무인이송차 시스템이나 AS/RS 시스템 등을 들 수 있다. 나아가, 수리적인 방법이 아닌, 시뮬레이션을 통해 최적의 운용 방법을 도출하기 위해서는 해당 설비가 도입된 이후의 시스템에 대한 모형을 신속하고 정확하게 작성할 수 있어야 할 것이다. 따라서, 새로운 자동화 설비가 등장할 경우, 관련된 모델링 개체나 라이브러리의 적절한 개발이 필요하다. 두 번째 주제는 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어와 스마트 팩토리 시스템의 결합이다. FlexSim과 같은 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어는 제조 공정과 운영관리 업무 양쪽 모두와 연동될 수 있다는 점에서, 이들이 보다 긴밀하게 협력하는데 필요한 토대를 제공해 주며, 이와 같은 응용 사례로는 앞에서 소개했던 FlexSim을 이용한 CPS 구축 등을 들 수 있다. 나아가, 향후 스마트 팩토리가 확산되면서 제조 현장으로부터 다양한 데이터가 실시간으로 수집되면, 3D 팩토리 시뮬레이션 소프트웨어가 수집된 데이터에 대한 처리 및 분석, 나아가 이를 기반으로 한 의사결정에 보다 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 생각된다. 세 번째 주제는 3D 팩토리 시뮬

레이션을 이용한 교육 콘텐츠 개발이다. 현실 세계에서 다양한 설비와 근로자, 자재 등으로 구성된 생산 시스템을 구축, 운영 및 유지보수 하는데 상당한 비용과 시간이 소요되는 것과 달리, 3D 팩토리 시뮬레이션을 이용하면 실제와 유사한 가상의 생산 시스템을 매우 손쉽게 구축하거나 운영해볼 수 있다. 나아가, 이러한 가상의 시스템은 시각적으로 이해하기 쉬워, 이를 교육에 활용할 경우, 학습자들의 흥미를 유발하고, 복잡한 시스템이나 현상에 대해 보다 알기 쉽게 설명하는 것이 가능하다. 또한, FlexSim 소프트웨어는 외부 애플리케이션과의 연동이 용이하여, 앞으로 다양한 교육용 게임이나 웹 기반 콘텐츠의 개발에도 활용될 전망이다.

끝으로, FlexSim 소프트웨어의 응용 사례를 조사하면서 한 가지 아쉬웠던 점은, 이와 관련된 국내 문헌이 거의 없었다는 점이다. 물론, 다른 상용 시뮬레이션 소프트웨어들을 활용한 사례들은 다양하였으나, 기본적으로 아직까지는 국내에서 3D 팩토리 시뮬레이션의 활용도가 높지 않은 것으로 보인다. 최근에는 본 논문에서 소개한 FlexSim 소프트웨어 이외에도 다양한 이산 사건 시뮬레이션 소프트웨어들이 3D 팩토리 시뮬레이션과 관련된 기능을 강화하고 있는 만큼, 앞으로는 국내에서도 이와 관련된 연구가 보다 활발해지기를 기대하는 바이다.

참고문헌

김기수, “전자 스프레드시트의 시뮬레이션의 사결정지원 도구로의 활용”, 정보시스

템연구, 제2권, 1993, pp. 29-52.

김상태, “이산사건 시뮬레이션 시스템을 활용한 생산성 개선 사례 연구”, 한밭대학교 석사학위논문, 2016.

김의창, “우편물 운송 경로설정을 위한 준 최적화 시뮬레이션 기술 개발”, 정보시스템연구, 제9권, 제1호, 2000, pp. 235-255.

김준우, 시뮬레이션 응용 - FlexSim을 이용한 모델링 및 분석, 초아출판사, 2018.

김태준, “Study of Monte Carlo Simulation in Diffusion-Influenced Reaction”, 동아대학교 박사학위논문, 2016.

송시한, “몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용한 유기물질에서의 전자이동도 계산에 대한 연구”, 한양대학교 석사학위논문, 2008.

이약스, “Development of a Discrete Event Simulation Tool Using Python”, 건국대학교 석사학위논문, 2013.

윤희원, 최성욱, “효율적인 프로그래밍 개념 학습을 위한 스크래치 수업 설계”, 융복합 지식학회논문지, 제5권, 제2호, 2017, pp. 57-62.

이경근, 최성길, 류시욱, “평판 디스플레이 제조 라인의 반복 프로세스 성능 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발”, 정보시스템연구, 제17권, 제4호, 2008, pp. 301-319.

임지혜, 강성홍, 김원중. “시뮬레이션 기법을 이용한 검진센터의 환자관리방안”, 디지털융복합연구, 제10권, 제4호, 2012, pp. 287-295.

정형진, “에이전트 기반 시뮬레이션 모델을 이

- 용한 질병 확산 대응전략 분석 및 평가”, 성균관대학교 석사학위논문, 2018.
- Abu-Taieh, E., and El Sheikh, A., “Commercial Simulation Packages: A Cooperative Study”, *International Journal of Simulation*, Vol. 8, No. 2, 2007, pp. 66-76.
- Babin, P., and Greenwood, A., “Discretely Evaluating Complex Systems”, *Industrial Engineer*, Vol. 43, No. 2, 2011, pp. 34-38.
- Banks, J. (Ed.), *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*, 1988.
- Barton, S. K., Johnson, I. R., Shepherd, S. J., and Van Eetvelt, P. W., “Simulation and Analysis of The Distortion Generated by the Bulk-FFT Demultiplexer”, *Signal processing*, Vol. 54, No. 3, 1996, pp. 285-294.
- Beaverstock, M., Greenwood, A., and Nordgren, W., *Applied Simulation - Modeling and Analysis using FlexSim* (5th edition), BookBaby, 2018.
- Borshchev, A., and Filippov, A., “AnyLogic - Multi-paradigm Simulation for Business, Engineering and Research”, *In 6th IIE Annual Simulation Solutions Conference*, 2004, pp. 1-17.
- Cai, D., Baafi, E., and Porter, I., “Modeling a Longwall Production System using Flexsim 3D Simulation Software”, *In Singhal, R., Topal, E., Fytas, K., Yellishetty, M., and Mehrotra, A. (Eds.), Mine Planning and Equipment Selection*, 2012, pp. 107-114.
- Chen, L. H., Hu, D. W., and Xu, T., “Highway Freight Terminal Facilities Allocation Based on FlexSim”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 96, 2013, pp. 368-381.
- Chen, Q., and Sun, H., “Simulation research on Storage-Retrieval Strategies of Stereo Garages”, *IEEE International Conference on Industrial Technology and Management*, 2017, pp. 75-79.
- Chromy, E., Misuth, T., and Kavacky, M., “Erlang C Formula and Its Use in the Call Centers”, *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 9, No. 1, 2011, pp. 7-13.
- Clark, M. F., “WITNESS: Unlocking the Power of Visual Interactive Simulation”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 54, No. 3, 1991, pp. 293-298.
- Dahl, O. J., and Nygaard, K., “SIMULA: An ALGOL-based Simulation Language”, *Communications of the ACM*, Vol. 9, No. 9, 1966, pp. 671-678.
- Dallasega, P., Rojas, R. A., Rauch, E., and Matt, D. T., “Simulation based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-Time-Capability in ETO Production Planning”, *Procedia Manufacturing*,

- Vol. 11, 2017, pp. 846-853.
- De Felice, F., Petrillo, A., and Zomparelli, F., “Prospective Design of Smart Manufacturing: An Italian Pilot Case Study”, *Manufacturing Letters*, Vol. 15, 2018, pp. 81-85.
- De Giusti, M. R., Lira, A. J., and Villarreal, G. L., “Simulation Framework for Teaching in Modeling and Simulation Areas”, *European Journal of Engineering Education*, Vol. 33, No. 5-6, 2008, pp. 587-596.
- Devapriya, P., Strömblad, C. T., Bailey, M. D., Frazier, S., Bulger, J., Kemberling, S. T., and Wood, K. E., “StratBAM: A Discrete-event Simulation Model to Support Strategic Hospital Bed Capacity Decisions”, *Journal of Medical Systems*, Vol. 39, No. 10, 2015, pp. 81-85.
- Dias, L., Vieira, A. A., Pereira, G. A., and Oliveira, J. A., “Discrete Simulation Software Ranking: A Top List of the Worldwide Most Popular and Used Tools”, *In 2016 Winter Simulation Conference*, 2016, pp. 1060-1071.
- Dornberger, R., Hanne, T., Ryter, R., and Stauffer, M., “Optimization of The Picking Sequence of an Automated Storage and Retrieval System (AS/RS)”, *In 2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2014, pp. 2817-2824.
- Fan, W., Dongfen, G., Shujuan, T., Hong, H., and Xiao, C., “Travel Time Model of the Storage/Retrieval Machine for Multi-Deep AS/RS Based on Flexsim”, *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, Vol. 9, No. 1, 2015, pp. 1833-1839.
- Fanti, M. P., Iacobellis, G., Rotunno, G., and Ukovich, W., “A Simulation Based Analysis of Production Scheduling in a Steelmaking and Continuous Casting Plant”, *In Automation Science and Engineering (CASE)*, 2013, pp. 150-155.
- Fenercioglu, A., Soyaslan, M., and Kozkurt, C., “Automatic Storage And Retrieval System (AS/RS) Based On Cartesian Robot For Liquid Food Industry”, *In 12th International Workshop on Research and Education in Mechatronics*, 2011, pp. 283-287.
- Geuder, D. F., “Object Oriented Modeling with SIMPLE++”, *In 27th Conference on Winter Simulation*, 1995, pp. 534-540.
- Harrel, C. R., and Price, R. N., “ProModel: Simulation Modeling using ProModel Technology”, *In 2002 Winter Simulation Conference*, 2002, pp. 192-198.
- He, H., and Hu, Z., “Analysis of Fast Food Service Capability Based on Flexsim Modeling and Simulation”, *IOP Conference Series: Materials Science*

- and Engineering*, Vol. 394, No. 5, 2018, p. 052005.
- Hoffa, P., and Pawlewski, P., "Simulation of Supply Chain with Disturbances Using Flexsim - Case Study", *In International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, 2015, pp. 90-101.
- James, F., "A Review of Pseudorandom Number Generators", *Computer Physics Communications*, Vol. 60, No. 3, 1990, pp. 329-344.
- Jen, H. Y., and Hsiao, C. Y., "Using Bayesian Inference Modeling in Estimating Important Production Parameters Used in the Simulation-based Production Planning", *In 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention*, 2018, pp. 1038-1041.
- Jeong, K. Y., "Conceptual Frame for Development of Optimized Simulation-based Scheduling systems", *Expert Systems with Applications*, Vol. 18, No. 4, 2000, pp. 299-306.
- Jilcha, K., Berhan, E., and Sherif, H., "Workers and Machine Performance Modeling in Manufacturing System using Arena Simulation", *Journal of Computer Science and Systems Biology*, Vol. 8, No. 4, 2015, pp. 185-190.
- Jiang, X. Y., Chen, P., and Zheng, R., "Study of Modeling and Simulation of Flexsim-based Inventory Management System", *In 2010 IEEE 17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2010, pp. 1591-1594.
- Jing, W., "Simulation Research on Jingdong Orders System Based on FlexSim", *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, Vol. 11, No. 6, 2016, pp. 389-396.
- Kaczmar, I., "Cost Optimization of Blend Preparation with the Use of the Flexsim Environment", *Agricultural Engineering*, Vol. 4, No. 156, 2015, pp. 51-60.
- Kadri, F., Chaabane, S., and Tahon, C., "A Simulation-based Decision Support System to Prevent and Predict Strain Situations in Emergency Department Systems", *Simulation Modeling Practice and Theory*, Vol. 42, 2014, pp. 32-52.
- Kęsek, M., Adamczyk, A., and Klaś, M., "Computer Simulation of the Operation of a Longwall Complex Using the Process Flow Concept of FlexSim Software", *In International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*, 2018, pp. 97-106.
- Kim, J. W., and Ha, S. H., "Consecutive Staffing Solution using Simulation in the Contact Center", *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 110, No. 5, 2010, pp. 718-730.

- Kim, J. W., and Park, S. C., “Outsourcing Strategy in Two-stage Call Centers”, *Computers and Operations Research*, Vol. 37, No. 4, 2010, pp. 790-805.
- King, C. B., “Taylor II Manufacturing Simulation Software”, *In 1996 Winter Simulation Conference*, 1996, pp. 569-573.
- Kleijnen, J. P., and Wan, J., “Optimization of Simulated Systems: OptQuest and Alternatives”, *Simulation Modeling Practice and Theory*, Vol. 15, No. 3, 2007, pp. 354-362.
- Klingstam, P., and Gullander, P., “Overview of Simulation Tools for Computer-Aided Production Engineering”, *Computers in Industry*, Vol. 38, No. 2, 1999, pp. 173-186.
- Krenczyk, D., Kempa, W. M., KAlinowski, K., Grabowik, C., and Paprocka, I., “Production Planning and Scheduling with Material Handling using Modelling and Simulation”, *In MATEC Web of Conferences*, Vol. 112, 2017, p. 09015.
- Krishna, L. S. R., Saketh, T. S., and Kumar, M. S. A., “A Simulation based Approach for Studying the Effect of Buffers on the Performance of an FMS”, *International Journal of Engineering Science Invention*, Vol. 4, No. 1, 2015, pp. 5-9.
- Kumar, B. S., Raju, G. J., and Janardhana, G. R., “Simulation Modeling and Analysis of Flexible Manufacturing Systems with Flexsim Software”, *Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 9, No. 1, 2018, pp. 85-89.
- Kumar, B. S., Mahesh, V., and Kumar, B. S., “Modeling and Analysis of Flexible Manufacturing System with FlexSim”, *International Journal of Computational Engineering Research*, Vol. 5, No. 10, 2015, pp. 1-6.
- Kumar, M. V., Sanjeev, G., Amarnath, K., and Krishna, S. V., “Performance Evaluation of an FMS with Alternative Machines using Flexsim Simulation Software”, *In International Journal of Engineering and Management Research*, Vol. 6, No. 4, 2016, pp. 406-413.
- Kwok, P. K., Chan, B. K., and Lau, H. Y., “A Virtual Collaborative Simulation-based Training System”, *In 10th ACM International Conference on Computer Modeling and Simulation*, 2018, pp. 258-264.
- Law, A., *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill, 2007.
- Law, A., “A Tutorial on How to Select Simulation Input Probability Distributions”, *In 2013 Winter Simulation Conference*, 2013, pp. 306-320.
- Law, A., and McComas, M. G., “Expert Fit: How the ExpertFit Distribution-fitting

- Package Can Make Your Simulation Models More Valid”, In *2000 Winter Simulation Conference*, 2000, pp. 253-258.
- Lee, J., Bagheri, B., and Kao, H. A., “A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems”, *Manufacturing Letters*, Vol. 3, 2015, pp. 18-23.
- Li, X. M., “Layout Analysis and Design of the Spindle Box Processing Workshop”, In *Proceedings of the 23rd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, pp. 177-180.
- Lin, J. T., Shih, P. H., Huang, E., and Chiu, C. C., “Airport Baggage Handling system Simulation Modeling using SysML”, In *Industrial Engineering and Operations Management*, 2015, pp. 1-10.
- Liu, A. J., Yang, Y., Liang, X. D., Zhu, M. H., and Yao, H., “Dynamic Reentrant Scheduling Simulation for Assembly and Test Production Line in Semiconductor Industry”, In *Advanced Materials Research*, Vol. 97, 2010, pp. 2418-2422.
- Lohtander, M., Ahonen, N., Lanz, M., Ratava, J., and Kaakkunen, J., “Micro Manufacturing Unit and the Corresponding 3D-Model for the Digital Twin”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 25, 2018a, pp. 55-61.
- Lohtander, M., Garcia, E., Lanz, M., Volotinen, J., Ratava, J., and Kaakkunen, J., “MicroManufacturing Unit - Creating Digital Twin Objects with Coommon Engineering Software”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 17, 2018b, pp. 468-475.
- Manupati, V. K., Xavier, M. A., Chandra, A., and Ahsan, M., “Workload Assessment for a Sustainable Manufacturing Paradigm Using Social Network Analysis Method”, In *Knowledge Computing and Its Applications*, 2018, pp. 99-108.
- Min, H., and Yang, Q., “Study on Modeling and Simulation of Production Logistics System Based on Flexsim”, *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, Vol. 16, No. 2, 2018, pp. 149-156.
- Mosterman, P. J., and Zander, J., “Industry 4.0 as a Cyber-Physical System Study”, *Software and Systems Modeling*, Vol. 15, No. 1, 2016, pp. 17-29.
- Mula, J., Poler, R., García-Sabater, J. P., and Lario, F. C., “Models for Production Planning under Uncertainty: A Review”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 103, No. 1, 2006, pp. 271-285.
- Murphy, C. A., and Perera, T., “The Definition of Simulation and Its Role within an Aerospace Company”. *Simulation Practice and Theory*, Vol. 9, No. 6-8,

- 2001, pp. 273-291.
- Opacic, L., Sowlati, T., and Mobini, M., “Design and Development of a Simulation-based Decision Support Tool to Improve the Production Process at an Engineered Wood Products Mill”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 199, 2018, pp. 209-219.
- Pan, J. C. H., and Wu, M. H., “A Study of Storage Assignment Problem for an Order Picking Line in a Pick-and-Pass Warehousing System”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 57, No. 1, 2009, pp. 261-268.
- Pawlewski, P., and Hoffa, P., “Optimization of Cross-docking Terminal using Flexsim/Optquest: Case Study”, *In 2014 Winter Simulation Conference*, 2014, pp. 2013-2024.
- Pawlewski, P., and Kluska, K., “Using DES/ABS Approach to Model and Simulate Bus Assembling Process”, *In International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, 2016, pp. 110-121.
- Pawlewski, P., Rejmicz, K., Stasiak, K., and Pieprz, M., “Just in Sequence Delivery Improvement based on Flexsim Simulation Experiment”, *In 2012 Winter Simulation Conference*, 2012, pp. 1-12.
- Pedgen, C. D., “SIMIO: A New Simulation System based on Intelligent Objects”, *In 2007 Winter Simulation Conference*, 2007, pp. 2293-2300.
- Peng, J., “Optimal Allocation in Automatic Storage & Retrieval System Based on Flexsim Simulation”, *In Internet Technology and Applications*, 2010, pp. 1-5.
- Pongjetanapong, K., O’Sullivan, M., Walker, C., and Furian, N., “Implementing Complex Task Allocation in a Cytology Lab via HCCM using FlexSim HC”, *Simulation Modeling Practice and Theory*, Vol. 86, 2018, pp. 139-154.
- Raybourn, E. M., “Applying Simulation Experience Design Methods to Creating Serious Game-based Adaptive Training Systems”, *Interacting with Computers*, Vol. 19, No. 2, 2007, pp. 206-214.
- Roberts, S. D., and Pedgen, D., “The History of Simulation Modeling”, *In 2017 Winter Simulation Conference*, 2017, pp. 308-323.
- Robinson, S., Brooks, R., Kotiadis, K., and Van Der Zee, D. J., “Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation”, *CRC Press*, 2010, pp. 527.
- Rong, Z., Wen-gao, W., Zhen-zhen, J., and Xiu-ming, M. A., “Research and Simulation on Flow-Shop Scheduling Problem Based on Improved Genetic Algorithm”, *In Computer Science & Education (ICCSE)*, 2012, pp. 916-919.

- Ross, S. M., *Introduction to Probability Models* (11th edition), Elsevier, 2015.
- Samaranayake, P., Kiridena, S. B., and Cai, D., "Planning and Scheduling Across The Supply Chain: Simulation-Based Validation of The Unitary Structuring Technique", *In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2014, pp. 1275-1279.
- Samuelson, D. A., and Macal, C. M., "Agent-Based Simulation Comes of Age", *OR/MS Today*, Vol. 33, No. 4, 2006, pp. 34-38.
- Schlenovgt, G. J., Barnaby, H. J., Wilkinson, J., Morrison, S., and Tyler, L., "Simulation of TID Effects in a High Voltage Ring Oscillator", *IEEE transactions on nuclear science*, Vol. 60, No. 6, 2013, pp. 4547-4554.
- Schriber, T. J., *Simulation using GPSS*, John Wiley and Sons, 1974.
- Selvaraj, N., "Application of Simulation Model for Distributed Scheduling Problems in FMS", *In Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol. 1, 2011.
- Sharma, P., "Discrete-Event Simulation", *International Journal of Scientific & Technology Research*, Vol. 4, No. 04, 2015, pp. 136-140.
- Shortle, J. F., Thompson, J. M., Gross, D., and Harris, C. M., *Fundamentals of Queueing Theory*, John Wiley and Sons, 2018.
- Song, Y., and Wei, Y., "Simulation and Optimization of Medicine Service System Based on Random Service System", *Modern Clinical Medicine Research*, Vol. 2, No. 1, 2018, pp. 1-6.
- Stadnicka, D., Antonelli, D., and Bruno, G., "Work Sequence Analysis and Computer Simulations of Value Flow and Workers' Relocations: A Case Study", *Procedia CIRP*, Vol. 62, 2017, pp. 159-164.
- Stevenson, W. J., *Operations Management* (12th edition), McGraw-Hill, 2017.
- Sun, H., Yu, H., Nie, Q., Wang, M., and Yan, Y., "Design of AGV 3D Real-time Simulation Control System Based on Wireless Network", *International Journal of Systems Engineering*, Vol. 2, No. 1, 2018, pp. 15-20.
- Tang, X. Y., Yang, L. L., Zhang, J. J., Shi, J., and Chen, L. C., "Research on AS/RS Simulation Based on FlexSim", *In Applied Mechanics and Materials*, Vol. 347, 2013, pp. 406-410.
- Tokgöz, E., "Industrial Engineering and Simulation Experience Using Flexsim Software", *Computers in Education Journal*, Vol. 8, No. 4, 2017, pp. 1-6.
- Varga, A., "Discrete Event Simulation System", *In European Simulation Multiconference (ESM'2001)*, 2001.
- Vieira, A., Dias, L., Santos, M., Pereira, G., and Oliveira, J. A., "Setting an Industry 4.0

- Research and Development Agenda for Simulation - A Literature Review”, *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 17, No. 3, 2018, pp. 377-390.
- Vieira, A., Dias, L., Pereira, G., and Oliveira, J. A., “Comparison of SIMIO and ARENA simulation tools”, *In 12th Annual Industrial Simulation Conference*, 2014, pp. 5-13.
- Wang, Y. R., and Chen, A. N., “Production Logistics Simulation and Optimization of Industrial Enterprise based on Flexsim”, *International Journal of Simulation Modeling*, Vol. 15, No. 4, 2016, pp. 732-741.
- Wu, Z., “Simulation and Modeling of LED Manufacturing Process Based on FlexSim”, *Artificial Intelligence Management Science and Electronic Commerce*, 2011, pp. 627-630.
- Xu, X., and Xiong, H., “Research on AS/RS Simulation Modeling and Evaluating Based on FlexSim Software”, *In Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2007, pp. 4375-4378.
- Yan, B., and Lee, D., “AS/RS Simulation and Optimization Based on Flexsim”, *In Intelligent Systems and Applications*, 2009, pp. 1-4.
- Yan, J., and Jiang, P., “The Application of Simulation Technology in Distribution Center”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 865, 2017, pp. 675-680.
- Yao, L., and Zhu, W., “Visual Simulation Framework of Iron and Steel Production Scheduling Based on FlexSim”, *In Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA)*, 2010, pp. 54-58.
- Yu, S., Lv, R., Zheng, B., and Chai, T., “Simulation System for Logistics in Steelmaking Process Based on FlexSim”, *In Control and Decision Conference*, 2009, pp. 3741-3746.
- Zhang, F., and Tian, C., “Study on Modeling and Simulation of Logistics Sorting System Based on Flexsim”, *In 2017 IEEE International Conference on Computer Network, Electronic and Automation*, 2017, pp. 504-506.
- Zhang, J., and Li, X., “Study on The Simulation of Automobile Mixed-Model Assembly Lines Based on Flexsim Platform”, *In ICLEM 2010: Logistics For Sustained Economic Development: Infrastructure, Information, Integration*, 2010, pp. 1769-1776.
- Zhang, Q., Zhang, X., Xu, W., Liu, A., Zhou, Z., and Pham, D. T., “Modeling of Digital Twin Workshop Based on Perception Data”, *In International Conference on Intelligent Robotics and Applications*, 2017, pp. 3-14.
- Zhang, R., Ong, S. K., and Nee, A. Y., “A

Simulation-based Genetic Algorithm Approach for Remanufacturing Process Planning and Scheduling”, *Applied Soft Computing*, Vol. 37, 2015, pp. 521-532.

Zhou, G., and Chen, W., “Optimization and Simulation of Storage Location Assignment in AS/RS Based on FlexSim”, *In Logistics Engineering and Intelligent Transportation Systems*, 2010, pp. 1-4.

Zhou, G., and Mao, L., “Design and Simulation of Storage Location Optimization Module in AS/RS Based on FlexSim”, *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, Vol. 2, No. 2, 2010, pp. 33-40.

Zhou, J., Zhao, C. Y., Liu, Z. Q., Yang, Y., and Li, J. F., “Operation Optimization of Storage and Retrieval for Stackers in AS/RS of Raw Tobacco Material”, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 15, No. 4, 2009, pp. 772-776.

Zhu, X., Zhang, R. Chu, F., He, Z., and Li, J., “A Flexsim-based Optimization for the Operation Process of Cold-chain Logistics Distribution Centre”, *Journal of Applied Research and Technology*, Vol. 12, No. 2, 2014, pp. 270-288.

Zhu, Y., Zhou, G., and Mao, L., “Design of Intelligent Decision Module for Storage Location Assignment in AS/RS”, *In ICCTP : Critical Issues In*

Transportation Systems Planning, Development, and Management, 2009, pp. 1-6.

3D warehouse :

<http://3dwarehouse.sketchup.com>

Capterra : <http://www.capterra.com>

FlexSim Software Products, Inc. :

<http://www.flexsim.com>

조 다 설 (Jo, Da-Seol)



동아대학교 산업경영공학과에서 공학사를 취득하였다. 현재 동아대학교 산업경영공학과 석사 과정에 재학 중이다. 주요 관심 분야는, 빅데이터, 데이터마이닝, 스마트 팩토리, 시뮬레이션 등이다.

김 준 우 (Kim, Jun-Woo)



KAIST 산업공학과에서 공학사와 석사학위를, KAIST 산업 및 시스템공학과에서 박사학위를 취득하였다. 현재 동아대학교 산업경영공학과에서 부교수로 재직하고 있으며, 주요 관심 분야는 데이터마이닝, 인공지능, 지능형 시스템, 조합최적화, 생산관리 및 3D 팩토리 시뮬레이션 등이다.

<Abstract>

A Survey on Characteristics and Application Domains of 3D Factory Simulation Technology

Jo, Da-Seol · Kim, Jun-Woo

Purpose

Recently, 3D factory simulation technology has emerged as a powerful tool for modeling and analysis of a wide range of production systems, however, it has been not paid much attention in Korea. In this context, this paper aims to provide a comprehensive literature review on discrete event simulation softwares and introduce a promising 3D factory simulation software called FlexSim and its application domains.

Design/methodology/approach

In order to demonstrate worldwide popularity and technical superiority of FlexSim software, we analyzed the recent list of rankings for commercial discrete simulation softwares released by winter simulation conference and users' opinions collected from business software review site. Moreover, several main application domains are derived from a review of the previous research papers that deal with applications of FlexSim software.

Findings

FlexSim software recently moved up the list of major commercial simulation softwares, and technical superiorities of the software demonstrate that it is a promising tool for practical 3D factory simulation. Moreover, recent research papers suggest that FlexSim software can be used as a component of smart factory system. In this context, it is expected that FlexSim software becomes more popular in the era of industry 4.0.

Keyword: Discrete Event Simulation, 3D Factory Simulation, FlexSim Software, Production Operations Management, Smart Factory

* 이 논문은 2018년 12월 3일 접수, 2018년 12월 27일 게재 확정되었습니다.