

타이어 제조셀 시스템설계 지원을 위한 시뮬레이션 모델

A Simulation Model for Supporting System Design of Tire Manufacturing Cell

문덕희*, 장구길**

Dug Hee Moon and Ku Kil Chang

Abstract

For developing a new Tire Manufacturing Cell, the cooperation between the designer of facilities and the designer of system is very important. The purpose of this paper is to develop a simulation model that can be applied to the system design of Tire Manufacturing Cell.

The mechanic characteristics of new facilities are obtained from facility design team and the simulation model is developed with SIMPLE++ using those input data. A model for estimating the number of tire drum required is also suggested and it is verified with numerical examples. The results of simulations can be fed back to the facility design team and used for modifying the structure of the facilities.

* 창원대학교 산업시스템공학과

** 대우정보시스템 제조시스템사업부

1. 서론

일반적으로 타이어를 만드는 공정은 전형적인 Job-shop 배치 형태를 따르고 있다. 따라서 하나의 공장을 만드는데 큰 부지와 많은 설비들이 투입되며, 설비와 설비간을 이동하는 반제품의 이동 형태가 아주 복잡하고 긴 동선을 가지게 된다.

1998년 현재 우리 나라의 연간 타이어 생산량은 5994만개로 생산 규모 면에서 세계 5위의 자리를 차지하고 있다. 1998년 말 현재 국가별 생산 순위를 살펴보면 미국이 2억 7090만개로 1위 자리를 지키고 있고, 일본이 1억 6555만개, 중국이 9863만개, 프랑스가 6746만개, 우리 나라가 5994만개로 5위를 차지하고 있으며, 독일, 캐나다, 영국, 이탈리아, 브라질 순서로 10대 생산국에 등록 되어있다[11][12].

최근 외국의 타이어 제조업체에서는 전통적으로 사용하던 작업 형태에서 탈피하여 새로운 작업형태, 즉 라인방식이나 셀 생산방식을 도입하고 있다.

외국의 대표적인 타이어 제조사인 Goodyear와 Michelin 등에서는 IMPACT[8]와 C3M[9]이라는 생산 방식을 90년대 후반부에 개발·완료하였다. 하지만 시스템의 개발 단계에서부터 철저한 보안을 유지하고 있기 때문에 시스템에 대한 정확한 정보는 알려져 있지 않으며, 다음과 같은 효과가 공개된 바 있다.

Michelin은 1990년에 새로운 생산방식인 C3M을 개발하고 있다고 발표하였는데 다음과 같은 특징 및 효과가 있다.

- 컨테이너 2개 규모의 컴팩트한 제조셀 구축
- 경비가 재래공정의 절반 수준으로 절감
- 인력을 일반공정의 1/10 정도로 줄임
- 공간이 재래공장의 1/10 정도 소요
- 배치(Batch) 크기를 수천 단위에서 수백 단위로 축소
- 에너지 소비의 감소

반면에 Goodyear는 1998년 초에 IMPACT라

는 새로운 생산시스템을 발표하였는데 다음과 같은 효과가 있었다고 한다.

- Cycle Time 70% 감소
- 생산성 135% 향상
- 에너지 비용 대폭 감소
- 재공품 재고 50% 감소
- 가류 시간(Curing Time) 20% 감소
- 초기 투자액 대폭 감소
- 공간 대폭 감소
- 타이어 정밀도 43% 향상

국내에서도 이에 관한 연구가 시작되어 새로운 개념의 타이어제조생산공정(TMC : Tire Manufacturing Cell)을 개발하고 있다. TMC를 구성하려면 새로운 설비가 필요하고 개발된 설비를 이용해서 제조 시스템을 구축하는 기술이 필요한데, 최근에 동시공학(Concurrent Engineering) 개념이 확산되면서 설비 개발과 시스템 설계가 동시에 진행되고 있는 추세이다.

본 논문은 TMC를 구축하기 위하여 개발중인 설비들로 시스템을 구축할 경우 타당성 검토를 하기 위한 시뮬레이션 모델 개발에 관한 것이다. 개발된 시뮬레이션의 모델을 활용하여, 시뮬레이션의 결과가 설비 설계 단계의 입력 값으로 전환(feed-back)되어 설비 설계에 재 반영되며, 설비 설계 단계에서 설정한 변동 요인이 새롭게 시뮬레이션의 입력 값으로 재입력(feed-back)되어 반복적인 검증작업을 수행하게 된다.

개발도구로는 객체지향 시뮬레이션 언어인 SIMPLE++6.0을 사용하여 사용자 인터페이스와 모델을 구성하였다.

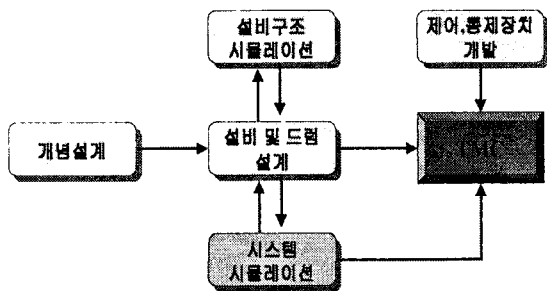
이와 같이 공정 설계에 시뮬레이션을 이용한 연구는 많이 발표되었다. 최재영과 이채영[15]은 타이어제조공정 중 입고 전 끝마무리 공정에 대해 적정 기계대수 및 인원배치 문제를 연구한 바 있다. FMS에도 시뮬레이션을 이용한 많은 논문들이 있는데 대부분이 스케줄링, 공구할당 방법 등 작업장 컨트롤 시스템에 대한 것이거나, 기존의 공정에 대한 균형을 유지하기 위하여 적정 기계대수나 인원을 결정하는 것이다

[3][5][7]. 반면에 문덕희 등[13][14]은 자동차용 방진고무공장 설계를 지원하기 위한 시뮬레이터 및 인터페이스 모델을 개발한 바 있다.

2. 동시공학을 이용한 시스템 개발 체계

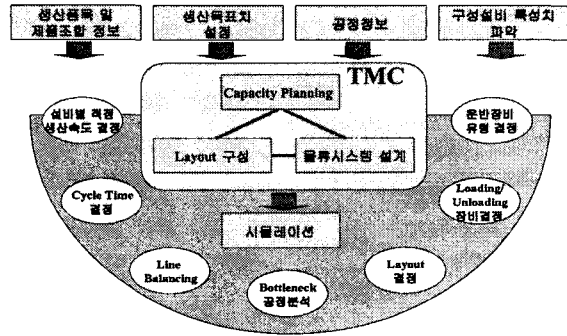
제품의 수명주기(Product's Life-Cycle)에서 대략 80%정도의 비용이 초기 계획과 설계 단계인 전체 주기의 초기 20%정도의 기간에 결정된다[6]. 또한 개발이 진행될수록 제품에 대한 변화는 어려워지며 추가로 투입되는 비용도 증가한다. 따라서 TMC 구성을 위한 초기 단계인 설비 및 드림 개념설계 단계에서부터 시뮬레이션을 이용하여 시스템의 타당성을 검사함으로써 개발 단계에서 초래되는 많은 시행착오를 줄일 수 있다.

<그림 1>은 동시공학 개념을 이용한 TMC 시스템의 개발 흐름도를 보여준다. 설비 및 드림을 설계하기 위해서는 개념설계를 하여야 하고, 개념설계에서 도출된 내용을 설비구조 시뮬레이션을 통하여 구성 설비의 기구학적 타당성을 검토할 수 있다. 이렇게 구성 가능 설비들로 시스템을 구성하였을 경우 제약 조건을 만족시키는 시스템의 구축 여부를 평가할 수 있다.



<그림 1> 시스템 개발 흐름도

<그림 2>는 시스템 시뮬레이션의 입·출력 요소를 설명하고 있다.

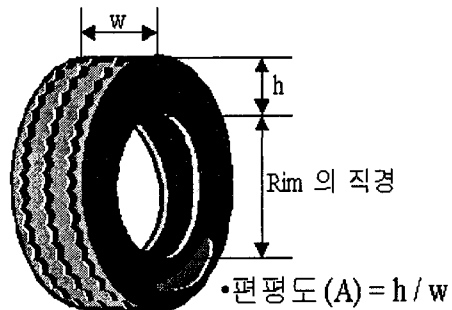


<그림 2> 시스템 시뮬레이션 개념도

3. 타이어 규격 및 제조공정

3.1 타이어 규격

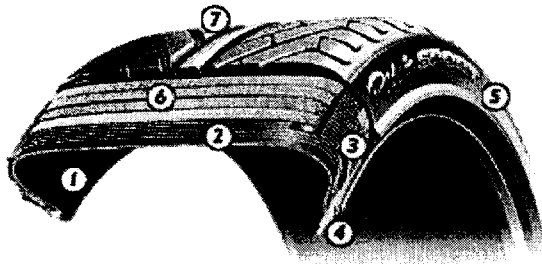
일반 사용자가 흔히 사용하는 타이어 규격은 195/55/R15와 같이 표시되는데, 그 의미는 <그림 3>에 있듯이 타이어의 폭, 편평도, 립사이즈를 의미한다. 폭은 타이어의 트레드 부분의 폭에 해당되며 밀리미터(mm) 단위를 사용하여 표시한다. 편평도는 립에서 트레드까지의 높이를 폭으로 나눈 비율을 뜻하는데, 흔히 55시리즈(Series)라고 하면, 립에서 트레드까지의 높이를 폭으로 나누었을 때, 0.55라는 값을 가진다는 것이다. 그리고, 195/55/R15의 마지막 요소인 R15는 립의 직경을 인치(Inch)로 표시한 것이다.



<그림 3> 타이어의 규격

3.2 타이어의 구조 및 제조 공정 분석

<그림 4>는 일반적인 래디얼타이어의 구조이다. 타이어는 탄력성이 있는 공기용기로서 높은 하중을 견디기 위한 공기압을 유지하여야 한다. 또한 도로 위를 주행할 때 예상되는 외상이나 충격에 대한 강도도 유지해야 한다. 이 임무를 완수하고 있는 것이 카카스 층과 스틸벨트 층이며, 노면에 접하는 부분에는 두꺼운 고무층(캡트레드)을 붙여 외상이나 마모에 대처하고 있다.



①이너라이너, ②카카스, ③사이드월, ④비드, ⑤쇼울더, ⑥스틸벨트, ⑦캡트레드

<그림 4> 타이어의 구조

타이어의 용도에 따라 정해진 비율로 고무와 배합약품을 투입, 혼합 반죽한 배합고무는 사용 부위에 따라 트레드(Tread)용, 카카스(Carcass)용, 비드(Bead)용 고무로 분류되어 각 필요 공정으로 옮겨진다.

타이어의 제조공정은 <그림 4>에서 볼 수 있듯이 드럼 위에 다양한 자재를 씌워 나가는 과정으로 <표 1>의 공정 순서에 의해 순차적으로 진행된다.

성형에서는 타이어 사양에 따라 트레드, 카카스, 비드 등이 조립되어 타이어의 원형인 그린 타이어가 만들어진다. 가류 공정에서는 이송되어 온 그린 타이어를 규격, 패턴에 맞는 금형(Mold)에 넣어, 일정시간 증기로 가열(140-180℃)하고 타이어 내부에는 튜브와 같은 특성

<표 1> 타이어 제조공정 분석표

공정명	세부공정	공정소요시간	비고
드럼투입			
이너라이너 부착		상수	
카카스	카카스 bottom 고무 토핑	상수	
	니팅	$f(x,D,e)$	직경(D)= $2Aw + R$ (A : 편평도, w : 타이어 폭, R : 립직경) 최소공정시간 : x초, e : 코드밀집도
	카카스 top 고무 토핑	상수	
비드 필러	드럼에 링 감기	상수	Wire에 고무 토핑
	필러 압출	상수	
스틸벨트	스틸벨트 고무부착	상수	
	1차 스틸 공급 토핑	$f(y_1,D,e)$	y_1 : 최소공정시간
	2차 스틸 공급 토핑	$f(y_2,D,e)$	y_2 : 최소공정시간
		상수	
립쿠션		상수	
엣지쿠션		상수	
캡트레드		$f(D,w,z,v)$	w: 타이어 폭, z: 리본의 폭, v:초당압출속도
사이드월		상수	
예열		상수	
금형에 G/T 삽입		상수	
가열		상수	
가류기에서 타이어 분리		상수	
드럼 타이어 분리		상수	
드럼 세척		상수	
드럼 이송			

*설계기술보안상의 문제로 f(x)형태로 표시하였음.

을 갖는 브라다라는 용기에 온수(140-180℃)를 보내어 그린 타이어를 내외 양면에서 가열한다. 타이어의 가류가 완료되면 타이어는 내부 코드의 수축을 방지하기 위하여 일정시간 팽창시켜 외형을 유지한 다음 검사공정으로 운반된다.

<표 1>에서 카카스공정, 스틸벨트공정, 캡트레드 공정 등의 공정소요시간은 현재 이러한 공정설비가 개발되고 있는 중이기 때문에 변동요인의 함수, $f(\cdot)$ 로 표시하였다.

4. 시뮬레이션 모델링

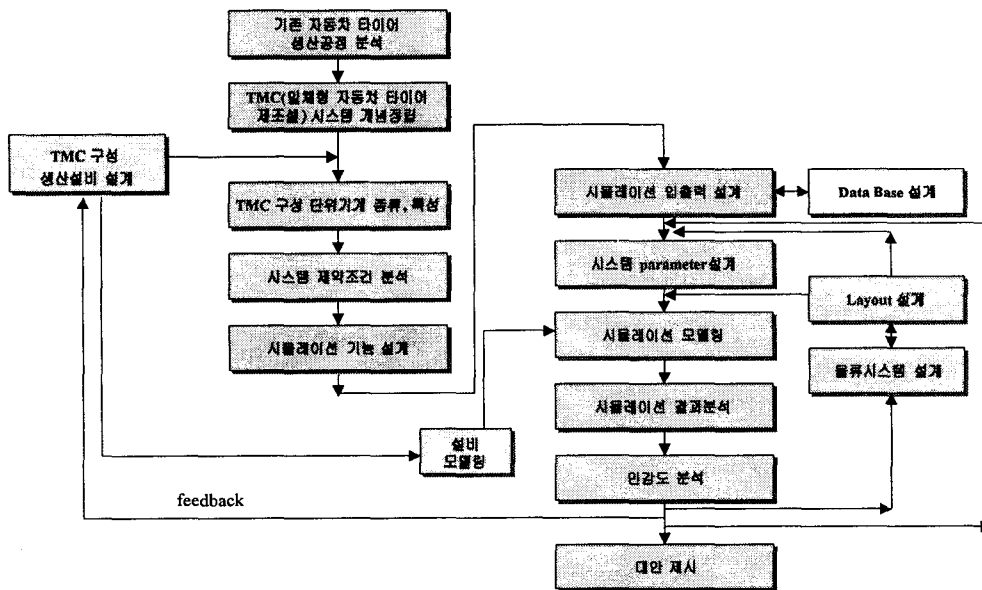
TMC 설계 지원을 위한 시뮬레이션 모델 개발의 전체적인 체계도는 <그림 5>에서 보는 것과 같다.

4.1 시뮬레이션 모델

시뮬레이션은 대상 시스템의 특성을 분석, 평가하기 위해 사용된다. 본 논문에서 구축하고자 하는 시뮬레이션 모델의 특징은 다음과 같다.

- 사용자 편의성이 제공되어야 한다.
- 사용자 입력 사항에 따라서 초기 배치안을 자동적으로 만들어 줄 수 있도록 한다.
- 새로운 설비의 추가가 용이해야 한다.
- 시스템에 투입되는 드럼수의 조절이 용이해야 한다.
- MHE의 속도 조절이 용이해야 한다.
- 화면상에서 자유자재로 Layout을 변화시킬 수 있어야 한다.
- 변경된 Layout에 대하여 즉시 시뮬레이션을 수행할 수 있어야 한다.

전체 시스템을 구성하기 위하여 개발된 객체는 <그림 6>과 같다. 개발된 시스템은 객체 지향적 프로그램 언어로 개발되었기 때문에 재사용성이 우수하고, 객체들의 조합으로 별도의 객체의 개발도 용이하다. <표 2>는 개발된 객체에 대한 개략적인 설명이다.

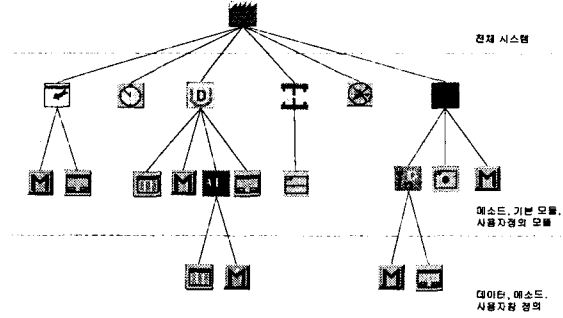


<그림 5> 시뮬레이션 모델 및 시스템 구성 흐름도

<표 2> 시물레이션 모델에 사용된 블록

아이콘	설 명	비 고
	전체 공장을 나타낸다.	
	사용자 입력창을 나타나게 한다.	
	사용자 입력창을 정의한다.	
	시물레이션을 실행시킨다.	
	MHE를 나타낸다.	
	병렬 기계를 연결시켜주는 역할을 한다.	
	설비를 나타낸다.	
	메소드로써, 프로그램 코드가 들어간다.	
	사용자 창을 정의한다.	
	데이터를 저장하는 테이블	
	필요한 설비대수를 계산하고, 재배치시키는 역할	
	MHE의 실질적인 이동 통로	
	설비의 입력 사항을 정의한 사용자 창	
	공정이 실질적으로 이루어지는 곳	

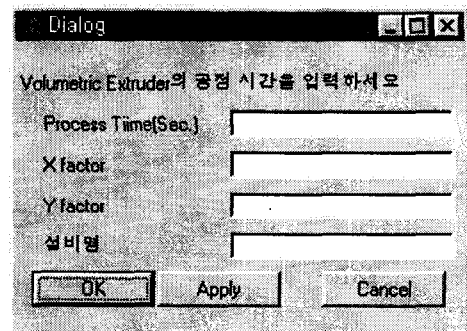
<표 1>에서 볼 수 있듯이 TMC를 구성하기 위한 설비는 고무를 토핑하는 압출기(Volumetric Extruder), 비드필터 작업을 위한 설비, 카카스, 스틸벨트, 캡트레드, 사상기(Curing Machine)등이 있다. 이러한 설비 중 압출기는 작업물 변화에 따른 공정시간의 변화가 거의 없는 편이고, 카카스, 스틸벨트, 캡트레드의 경우 타이어의 규



<그림 6> 시스템을 구성하는 객체의 계층도

격이 바뀔에 따라 공정시간의 변화가 발생하게 된다. 따라서, 이러한 설비의 특징을 나타내기 위해서 설비를 배치할 때 입력하여야 하는 사항은 가동 시간(압출기의 경우), 가로, 세로 비율, 설비 종류(카카스, 스틸벨트, 캡트레드, 가류기의 경우)이다.

설비를 생성하기 위해서는 <그림 7>과 같은 사용자 창을 이용하게 되는데 압출기의 경우 공정시간과 가로, 세로 비율을 입력하면 되고, 다른 설비들의 경우도 요구되는 사항에 대해 입력하면 된다.



<그림 7> 설비의 사용자 창

참고로 설비를 나타내는 객체는 SIMPLE++에서 제공하는 Single Processor 와 정보를 변환하는 Method, Interface 등으로 구성되어 있으며, 구체적인 내용은 다음과 같다.

- Singleproc : 작업이 이루어지는 곳
- SetStationName : 설비의 정보를 UserDialog 모듈의 Tablefile로 입력하는 메소드
- OpeninD : 사용자창을 나타나게 하는 메소드
- InD : 사용자창을 정의한 모듈
- Interface : 다른 설비와 연결하는 부분(입력 부분)
- Interface1 : 다른 설비와 연결하는 부분(출력 부분)

4.2 공정별 설비대수 결정

시뮬레이션을 하기 위해서는 기본적으로 공정별 설비를 몇대 설치해야 할 것인지 결정해야 한다. 이를 위하여 용량분석에 의해 초기 배치안에 투입될 공정별 설비의 대수를 다음과 같이 결정하는 모듈을 개발하였다.

<표 1>에서 제시된 바와 같이 타이어의 종류에 따라 공정시간이 변하는 공정은 카카스, 스틸벨트, 캡트레드 공정으로 그 요인은 카카스의 경우 공정시간(x)때문이고, 스틸벨트의 경우 타이어의 EPI와 공정시간(y₁,y₂), 캡트레드의 경우 타이어 폭, 공급되는 고무 리본의 폭, 고무 압출 속도 때문이다. 따라서, 각 공정의 최소공정시간이 결정된다면 이러한 정보를 이용하여 타이어 1개 제조에 소요되는 공정별 소요시간을 산출할 수 있다. 하지만 설비개발단계에서는 역으로 공정별 가용시간을 1일 생산량으로 나눈 택트타임(Tact Time)을 먼저 계산하여 개발하고 있는 설비로 목표생산량을 달성할 수 있는지 검토하는 것이 중요하다.

$$\text{TactTime} = \frac{\text{1일가용시간}}{\text{1일목표생산량}} \quad (1)$$

$$\text{설비대수} = \frac{\text{공정소요시간}}{\text{TactTime}} \quad (2)$$

일일 공정시간, 목표 생산량, 여유율을 이용하여 Tact Time을 계산할 수 있으며, Tact Time, TMC 구성 특정 설비의 단위 공정시간 정보를 이용하여, 시스템에 투입되는 설비 대수

를 계산할 수 있고, 설비 대수, 물류이동 기기(Material Handling Equipment - 이하 MHE)의 이동 속도를 이용하여 시스템에 투입되는 드럼의 수를 계산할 수 있다.

예를 들어, 타이어의 규격이 195/55/R15이고, 일일 생산 시간이 24시간이며, 일일 목표 생산량이 1000개라고 하자. 이 때 식 (1)에 의해 Tact Time은 86.4초가 된다. 만일 공정별로 기계 1대를 사용한다고 하면 Tact Time 86.4초를 달성하기 위한 카카스와 스틸벨트의 최소공정시간은 0.05와 0.06초이다. 하지만 기술적인 제약으로 이러한 시간을 달성하기가 힘들다고 판단하여, 섬유 공급 시간과 스틸벨트 공급 시간을 각각 0.6초, 0.5초로 바꿀 경우, <표 1>에 있는 식과 식(2)를 이용하여 카카스 10대, 스틸벨트 8대라는 결과를 얻을 수 있다.

4.3 TMC에 투입되는 드럼 수 결정

타이어 생산 공정에서 타이어의 둥근 형태를 만들기 위해서 급속으로 제작된 둥근 모양의 드럼 위에 이너라이너, 카카스, 스틸벨트 등의 재료를 적층한 후 내부를 부풀리는 작업을 한다. 기존의 전통적인 타이어 제조공정에서는 설비에 부착되어 있는 플랫폼(Flat)드럼을 사용한다. 따라서 드럼의 수는 설비의 수만큼만 있으면 되기 때문에 별로 중요한 요소가 아니다. 하지만 공정을 따라 움직이는 일체형 드럼을 사용한다면 일체형 드럼의 수는 공정 상에 있는 재공품재고의 양을 결정하게 되므로 매우 중요한 의사결정 변수가 된다. 특히 일체형 드럼은 평상시 크기는 타이어의 외경과 비슷한 반면, 완성된 타이어에서 분리시키기 위해서는 크기가 작아져서 타이어의 내경으로 빠져 나와야 하므로 특수한 구조로 되어야 하며, 가격도 매우 고가이다. 또한 시스템에 투입되는 드럼의 수가 너무 적거나 많으면 원활한 공정진행이 이루어 질 수 없다. 따라서 시뮬레이션 모델에 사용될 적절한 수의 드럼 수를 사전에 계산하는 것도 중요하다.

드럼의 수와 함께 시스템 산출물에 영향을

미치는 다른 요인으로서는 공정간 운반되는 드럼의 이동 속도가 있다. 따라서, 정확한 결과를 얻기 위해서는 물류기기(MHE - Material Handling Equipment)를 결정하여 MHE의 이동 속도와 드럼의 수를 결정하여야 한다. 물류기기는 공정에 따라서 로봇 형태의 그립퍼(Gripper)나 컨베이어를 사용하게 된다.

본 논문에서는 직렬 시스템과 병렬 시스템에 대하여 다음과 같은 방법을 이용하여 초기 투입 드럼 수를 결정하였다.

1) 직렬 시스템의 경우

<그림 8>과 같은 직렬 생산라인에서는 각 공정과 운반장치에 재공품이 하나씩 투입되어 있는 경우가 최대이다. 하지만 특정 공정에서 공정시간과 후속공정으로 운반하는 시간을 합친 시간이 애로공정시간(혹은 애로운반시간)보다 짧다면 두 개의 재공품을 보유할 필요가 없다. 따라서 이론적인 최소 드럼 수는 제품이 투입되어 최종적으로 완성될 때까지 소요되는 시간을 가장 긴 애로공정시간으로 나눈 것으로 볼 수 있으며, 식(3)과 같은 방법으로 드럼의 수를 결정할 수 있다.

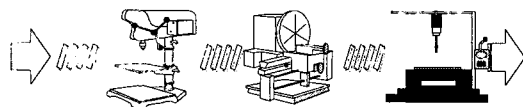
$$n = (\sum_{i=1}^I Pt_i + \sum_{j=1}^J Mt_j) / Bn \quad (3)$$

n : 드럼의 수

Pt_i : i 번째 공정의 공정 시간 $i = 1, 2, \dots, I$

Mt_j : j 번째 MHE의 이동시간 $j = 1, 2, \dots, J$

Bn : 애로공정(Bottle-neck) 시간 = $MAX(Pt_i, Mt_j)$



<그림 8> 직렬 시스템 예

2) 병렬 시스템의 경우

<그림 9>와 같은 병렬 공정의 경우에도 드럼 수는 직렬 공정과 같은 개념으로 결정할 수 있다. 단, 이 경우에는 병렬 기계의 수만큼 추가로 드럼이 필요하다. 따라서 식(4)와 같은 방법으로 드럼의 수를 결정할 수 있다.

$$n = (\sum_{i=1}^I Pt_i + \sum_{j=1}^J Mt_j) / Bn + Plm - Plp \quad (4)$$

n : 드럼의 수

Pt_i : i 번째 공정의 공정 시간 $i = 1, 2, \dots, I$

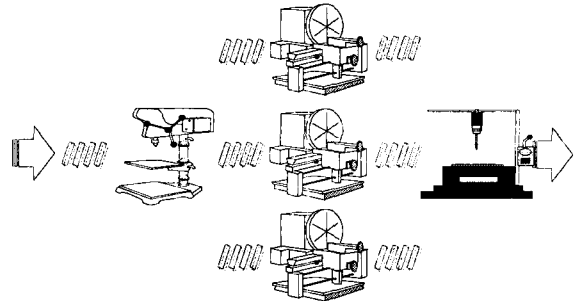
(병렬 공정의 경우 하나의 공정으로 변환하여 계산을 수행함)

Mt_j : j 번째 MHE의 이동시간 $j = 1, 2, \dots, J$

Bn : 애로공정(Bottle-neck) 시간 = $MAX(Pt_i, Mt_j)$

Plm : 병렬 기계의 대수

Plp : 병렬 공정의 수



<그림 9> 병렬 시스템 예

TMC 개발의 중요한 전제는 시스템이 작아야 한다는 것이기 때문에 불가피한 경우를 제외하고는 병렬설비를 허용하지 않는다. C3M의 경우에도 가류기를 제외하고는 공정당 1대의 설비를 설치하는 것으로 알려져 있다. 예를 들어 <표 1>의 공정표에서 알 수 있듯이 카카스의 경우 3대의 직렬 설비로 구성되고, 스틸벨트의 경우 5대의 직렬 설비로 구성된다. 만약, 앞에서 제시한 방법으로 투입되는 드럼 수를 결정할 경

우 병렬설비의 대수가 증가하여 과다하게 많은 수의 드럼이 투입되는 결과를 초래하게 만들어 실험의 시행착오(Trial and Error) 횟수를 늘리게 된다. 따라서 병렬 설비의 대수를 정하는 방법을 다음과 같이 제시한다.

- MHE의 이동속도 = 0.04m/sec .
- $Bn = 85.71$
- $Plm'' = 33$
- $Plp = 1$
- $n = \frac{926.604}{85.714} + 33 - 1 = 42.81 \approx 43$

<방법>

병렬 설비가 배치된 경우, 그 작업이 직렬로 길게 연결되어 있으면, Plm을 구할 때 일반적으로 병렬 설비 대수를 합산하지 않고, 직렬 형태 작업의 총 작업 시간을 Bn으로 나누어 그 값을 올림하여 그 수치를 Plm''으로 하고, Plm''을 구할 때 포함된 병렬 설비들은 Plp를 구할 때 포함시키지 않는다.

5. 실험설계 및 결과

TMC 구성 설비 및 시스템 구성을 위한 타당성 검사를 위해서 다음과 같은 실험을 하였다. 이 때, 실험을 위해서 시스템에 영향을 미치는 요소로 아래와 같은 것들을 선택하였다.

- MHE의 이동 속도
- 시스템에 투입되는 드럼의 수

<표 3> 실험 관련 변수 설정

	일일목표 생산량	일일가동시간 (시간)	설비 관련 특성치			
			스틸벨트요소	카카스 요소	캡트레드 요소	
			y(초)	x(초)	z(mm)	v(mm/s)
초기대안	1000	24	0.06	0.06	230	30
대안1	1000	24	0.3	0.2	230	30
대안2	1000	24	0.6	0.5	230	30
대안3	1000	24	0.2	0.1	230	30
대안4	1000	24	0.3	0.5	230	30
대안5	1000	24	0.3	0.1	230	30.
대안6	1000	24	0.6	0.2	230	30
대안7	1000	24	0.6	0.1	230	30
대안8	1000	24	0.2	0.2	230	30
대안9	1000	24	0.2	0.5	230	30

<표 4> 실험을 위한 시나리오

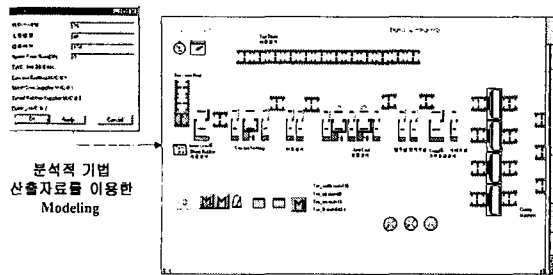
	여유율	이동속도	드럼 수	설비대수				세부 대안
				카카스	스틸벨트	캡트레드	가류기	
초기 대안	0%	0.02m/sec	19	1	1	1	7	A1
		0.04m/sec	19	1	1	1	7	A2
	10%	0.02m/sec	19	1	1	1	8	B1
		0.04m/sec	19	1	1	1	8	B2
대안1	0%	0.02m/sec	29	5	3	1	7	C1
		0.04m/sec	29	5	3	1	7	C2
	10%	0.02m/sec	29	6	4	1	8	D1
		0.04m/sec	29	6	4	1	8	D2
대안2	0%	0.02m/sec	43	10	8	1	7	E1
		0.04m/sec	43	10	8	1	7	E2
	10%	0.02m/sec	43	11	9	1	8	F1
		0.04m/sec	43	11	9	1	8	F2

- 여유율의 변화
- 카카스 최소공정시간 (x)
- 스틸벨트 최소공정시간 ($y=y_1=y_2$)
- 리본의 폭(z)과 압출속도(v)는 상수로 고정

위와 같은 변수들 중에서 카카스 최소공정시간과 스틸벨트 최소공정시간을 조합하여 <표 3>과 같은 10개의 대안을 만들었다. 또한 각 대안에 대하여 여유율, MHE 이동속도를 변화시켜가며 <표 4>와 같은 4가지씩의 추가 대안에 대해 실험을 행하였다.

실험에서 채택한 타이어의 규격은 195/55/R15 이며, 일일 목표 생산량 1000개, 1일 24시간 가동을 가정하였다.

각 대안별 투입되는 초기 드럼 수를 결정하기 위하여 4.3절에서 제시한 방법을 이용하여 드럼 수를 구하였다. 각 대안별 초기 드럼의 투입 수는 초기대안의 경우 19개, 대안 1의 경우 29개, 대안 2의 경우 43개로 결정되었다. 초기대안의 경우 압출기(Volumetric Extruder) 11대, 카카스 1대, 스틸벨트 1대, 캡트레드 1대, 가류기 7대, 비드필러 1대, MHE 25대가 사용되었다. <그림 10>은 이와 같이 선정된 설비들을 이용하여 구성된 시물레이션 모델의 예다. 이 모델을 이용하여 각 대안별로 시물레이션을 실행하여 일일 평균 생산량을 예측한 결과 <표 5>와 같은 결과를 얻었다.



<그림 10> Simple++를 이용한 모델링

<표 5> 각 대안별 일일 평균 생산량

대안	A1	A2	B1	B2
일일평균생산량	864	1008	864	992
대안	C1	C2	D1	D2
일일평균생산량	864	1008	864	1122
대안	E1	E2	F1	F2
일일평균생산량	864	1062	864	1003

<표 5>의 대안별 일일 평균 생산량을 보면, MHE의 속도가 0.02m/sec일 경우 일일 평균 생산량이 864개로 목표 생산량인 1000개를 달성하지 못하는 것을 알 수 있다. 그 이유는 가류 공정을 끝내고 타이어와 드럼을 분리시킨 후 드럼을 저장소로 이동시키는 과정에서 MHE의 속도가 늦어 정체가 발생한 것이 원인이다. 반면에 MHE의 속도가 0.04m/sec인 대안들의 경우 모두 일일 목표 생산량인 1000개를 달성함을 알 수 있다. 따라서 설비설계팀에서는 MHE의 이동속도가 0.04m/sec 가 되도록 설계를 해야 한다.

목표생산량을 만족하는 경우 드럼의 수를 점차적으로 줄였을 때 일일 평균 생산량에 어떻게 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 추가 실험을 하였다. <표 6>에서 볼 수 있듯이 C2대안의 경우 드럼수를 29개에서 28개로 1개 줄여도 생산량에는 변화가 없었다. 따라서 이 경우에는 드럼수를 28개로 하는 것이 경제적이다.

<표 6> 드럼 수 변화에 따른 생산량의 변화

대안	드럼 수	주요 설비 가동율				일일 평균 생산량
		카카스	스틸벨트	캡트레드	가류기	
C2	29	98.02	97.61	61.83	100	1008
C21	28	97.02	97.61	61.83	100	1008
C22	26	93.26	92.92	58.85	95.18	959

다음으로 4.3절에서 제시한 드럼수 결정방법이 목표 생산량을 달성하기 위한 최적 드럼수에 얼마나 근접하는지 살펴보았다. 초기에 투입한 드럼으로 목표생산량을 달성하지 못하는 경우에는 드럼을 추가 투입하였으며, 달성한 경우에는

드럼을 감소시켜 목표생산량과 가장 근접한 생산량을 제공하는 드럼수를 결정하였다. 그 결과가 <표 7>에 제시되었는데 계산에 의한 결과와 시뮬레이션에 의한 결과가 매우 근접함을 알 수 있었다.

<표 7> 드럼 수 결정방법의 타당성 검토

	계산값	실험값
초기안	19	20
대안1	29	28
대안2	43	43
대안3	24	23
대안4	38	36
대안5	26	25
대안6	34	32
대안7	31	30
대안8	27	26
대안9	36	35

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 타이어 산업에서 새롭게 대두되는 셀 생산 방식을 이용하고 동시 공학 개념을 적용한 자동차용 타이어 생산 시스템 구축을 지원하는 시뮬레이션 모델에 대한 것이다. 개발된 모델에서는 TMC를 구성하는 시스템을 모델링하기 위해서 사용자 인터페이스를 구성하여 입력 정보를 쉽게 받아들일 수 있도록 하였다. 동시에 시뮬레이션을 사용하는 사용자가 공정별 설비 대수나 드럼의 수를 얼마로 해야 하는지 고민하는 일이 없도록 초기치를 산정하는 방법도 제시하였다.

이 모델을 이용한다면 설비 개발팀에서 제시한 설비의 특성치를 가지고 시스템이 개발 목표를 달성할 수 있는지 사전 검증이 가능하다. 만일 불가능한 경우에는 문제점을 설비 개발팀에 통보하여 즉시 새로운 방식의 설비를 개발하도록 함으로써 설비 개발 과정에서 발생할 수 있는 시행착오를 최소화할 수 있을 것이다.

본 논문에서 개발된 시뮬레이션 모델은 2차원 배치를 기준으로 한 것이다. 따라서 향후 연구 과제로는 설비 크기를 고려한 3차원 모델링을 도입하여 실제 TMC를 구축하기 위한 공간적 제약 조건을 반영하는 것이다.

참고문헌

- [1] Aesop, *Simple++ 6.0 Reference Manual*, Tecnomatix, 1998
- [2] Chu, C. H. and Tsai, M., "A comparison of three array-based clustering techniques for manufacturing cell formation", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 8 : pp.1417-1433, 1990
- [3] O'Grady, P., "A Concise Review of Flexible Manufacturing Systems and FMS Literature", *Computers in Industries*, Vol.7, No.2, pp.155-167, 1986.
- [4] Pace, D. K., "Development and Documentation of a Simulation Conceptual Model", 1999
- [5] Paul, R., *The Design and Operation of FMS, IFS*, 1983.
- [6] Prasad, B., *Concurrent Engineering Fundamentals VOLUME I, II*, Prentice Hall PTR, 1996
- [7] Tanchoco, J. M. A., *Material Flow Systems in Manufacturing*, Chapman & Hall, 1994
- [8] <http://www.theautochannel.com/news/press/date/19971016/press007199.html>
- [9] <http://www.theautochannel.com/news/press/date/19980216/press010046.html>
- [10] 김영률, "타이어 기술의 새로운 발전", 타이어, 대한타이어공업협회, 제 34 권, 제 1 호, pp.31-40, 2000
- [11] 대한타이어공업협회, "통계(국내)", 타이어, 대한타이어공업협회, 제 34 권, 제 1 호, pp.49-57, 2000

- [12] 이종열, "1999년 자동차용 타이어 산업 동향 및 2000년 전망", 타이어, 대한타이어공업협회, 제 34 권, 제 2 호, pp.14-19, 2000
- [13] 문덕희, 이춘식, 황경현, 신보성, "SIMPLE++를 이용한 고무부품 제조공장 엔지니어링용 시뮬레이션 모델링", 한국경영과학회/대한산업공학회 '97춘계공동학술대회논문집, pp.159- 162, 1997.
- [14] 문덕희, 이춘식, 장구길, 황경현, 신보성, "설비배치계획용 시뮬레이터와 데이터베이스 연계를 위한 사용자 인터페이스 개발", 대한산업공학회/한국경영과학회 '98춘계공동학술대회논문집, pp.A13.4.1-6, 1998
- [15] 최재영, 이채영, "완제품 타이어 제조공정의 시뮬레이션", 경영과학, 제 7 권, 제 1 제 2 호, pp.14-19, 2000

● 저자소개 ●



문덕희

한양대학교 산업공학과 공학사 (1984.2)

한국과학기술원 산업공학과 공학석사 (1986.2)

한국과학기술원 산업공학과 공학박사 (1991.2)

현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야 : 생산계획, 설비계획, 시뮬레이션 응용



장구길

창원대학교 산업공학과 공학사 (1998.2)

창원대학교 산업공학과 공학석사(2000.8)

현재 대우정보시스템 근무중

관심분야 : 시뮬레이션, Layout Planning