

컴퓨터 시뮬레이션 : 시뮬레이션 언어와 적용 (Computer Simulation: Simulation Languages and Application)

朴 良 柄

慶熙大學校 産業工學科

ABSTRACT

Computer simulation is a powerful tool for the design and evaluation of manufacturing systems. This paper consists of two major parts. First, it presents a brief survey of simulation languages oriented towards the analysis of manufacturing systems, with their important properties. Second, it introduces a simple case of simulation application to a flexible manufacturing system(FMS).

I. 서 론

의사결정문제로서 불확실한 요소를 내포하지 않는 경우는 드물다. 대부분의 확정적 모델들의 경우 다만 문제를 가정과 함께 단순화 하였을 따름이다. 게다가 분석의 대상이 되는 시스템은 동적으로 변화하는 경우가 많다. 의사결정 문제들을 해결하는데 있어서 여러 불확실한 요소 및 시간의 경과를 고려하여 모델을 작성하고 최적해를 구하는 것은 매우 어려운 일이며, 이에 따라 시뮬레이션에 의한 해결방법이 필요하게 된다.

컴퓨터 시뮬레이션은 분석대상의 시스템을 수리적-논리적 모델(컴퓨터 프로그램)로 구성하여, 구성된 모델에 다양한 작동조건을 적용하면서 컴퓨터를 이용하여 모의실험 함으로써 시스템을 분석하는 기법이다. 따라서 시뮬레이션은 시스템의 설계 및 평가에 매우 유용하다. 즉, 컴퓨터 시뮬레이션은 시스템 설계 및 시스템 운영의 변화에 따른 영향을 사전에 쉽게 파악할 수 있게 해주기 때문에 실제 설계 및 운영상 오류의 위험을 줄이고 결과에 대비할 수 있게 해준다.

컴퓨터와 시뮬레이션언어의 발전과 보급은 최근에 컴퓨터 시뮬레이션의 활용을 가속화하고 있다. 오늘날 컴퓨터 시뮬레이션은 제조시스템 분석, 공장관리, 기업경영, 경제개발계획, 물류관리, 교통·

통신시스템 분석, 군사작전 등 다양한 분야에서 매우 활발히 적용되고 있다. <표 1>^[1]은 제조시스템에서 컴퓨터 시뮬레이션 기법이 적용되고 있는 분야를 구체적으로 분류하여 보여준다.

컴퓨터 시뮬레이션에는 다음과 같은 한계점이 있다. 첫째, 컴퓨터 시뮬레이션은 기본적으로 시행착오의 방법이기 때문에 많은 계산을 필요로 하고 또 반복적인 실험을 하여야 한다. 둘째, 컴퓨터 시뮬레이션은 최적화 기법이 아니므로 최적해를 보장하기 힘들다. 셋째, 상황예측이 곤란한 입력자료를 필요로 하는 시뮬레이션은 해에 대한 신뢰도가 저하된다. 가령 수요, 시장, 가격, 기술 등의 상황예측이 어려운 경영 시뮬레이션을 수행할 경우, 구해진 해를 정책으로 시행하는 데는 입력자료의 불확실성을 충분히 고려해야 한다. 이와 같은 여러 한계점에 비추어, 만족할 만한 해를 얻을 수 있는 분석적 해결방법(대수학, 확률론, 선형계획법 등)의 적용이 가능한 경우에는 이것이 컴퓨터 시뮬레이션보다 더욱 효과적일 수 있다.

<표 1> 제조시스템에서의 시뮬레이션 적용분야 및 활용목적

적용분야	활 용 목 적
공장배치 분석	<ul style="list-style-type: none"> 특정 생산량을 달성하기 위한 기계의 종류 및 대수결정 새로운 장비 도입에 대한 평가 재공품 버퍼의 위치 및 크기결정 등
생산성 분석	<ul style="list-style-type: none"> 생산량 분석 제품조합(product mix)에 대한 평가 필요한 노동력의 적절한 산정 애로공정(bottleneck)의 분석 등
공장자동화 분석	<ul style="list-style-type: none"> 운반장비(지게차, AGV 등)의 종류 및 대수 결정 보조장비(팔렛, 고정구 등)의 종류 및 대수 결정 제품의 생산소요시간(제조 L/T)분석 운반장비(지게차, AGV 등)의 관리 정책 평가 등 회로설계 및 분석
예측 분석	<ul style="list-style-type: none"> 자본투자에 대한 평가 재고수준 및 재고정책의 평가 등

시뮬레이션을 수행하는 데는 범용언어(general purpose languages)나 시뮬레이션언어(simulation languages)를 사용할 수 있다. 범용언어는 FORTRAN, C, BASIC 등의 일반 컴퓨터언어를, 그리고 시뮬레이션언어는 시뮬레이션을 위해 특별히 개발된 시뮬레이션 전용언어를 뜻한다. 범용언어를 사용하는 경우, 다양한 상황을 프로그래밍할 수 있는 유연성은 뛰어나나 현실에서 일어나는 복잡한 문제를 프로그래밍하는 데는 매우 비효율적이다.

시뮬레이션언어는 모든 시뮬레이션에서 거의 공통적으로 필요로 하는 난수 및 확률변수 발생, 시간증가, 오류검출, 통계자료 수집 및 분석 등의 기능과 모델링에서 사용할 수 있는 고유의 표준지시문을 보유하고 있다. 따라서 시뮬레이션을 수행하는 데 있어 이들을 위한 서브프로그램을 일일이 작성할 필요가 없어 프로그래밍이 매우 용이하게 된다. 몇몇 시뮬레이션언어는 사용자 스스로가 작성한 C 또는 FORTRAN 서브루틴과 인터페이스하여 그 기능을 확장할 수 있는 능력을 가지고 있다.

본 논문에서는 특히 제조시스템의 분석을 위해 사용할 수 있는 주요 시뮬레이션언어들을 조사하여 그 특징과 함께 관련 정보를 요약 정리한다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션의 이해를 돕기 위해 SLAM II 시뮬레이션언어^[2]를 이용하여 한 실험용 유연제조시스템(FMS)을 분석하는 간단한 사례를 소개한다.

II. 컴퓨터 시뮬레이션언어

제조시스템의 분석을 위해 사용할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션언어는 크게 범용 시뮬레이션언어(general purpose simulation languages)와 데이터타입력 시뮬레이터(data-driven simulators)로 나눌 수 있으며, 현재 세계적으로 50여종의 상용 시뮬레이션 소프트웨어 패키지가 이용 가능하다.

범용 시뮬레이션언어는 매우 다양한 형태의 시스템에 대해 상세한 분석을 가능하게 해 준다. 그

러나 사용자에게 프로그래밍 능력을 필요로 한다. 반면에 데이터입력 시뮬레이터는 사용자에게 프로그래밍 능력을 전혀 요구하지 않는다. 따라서 시뮬레이션언어를 배우고 이해할 필요가 없다. 각각의 데이터입력 시뮬레이터는 특정 제조시스템(예; FMS) 또는 제조시스템내 특정 구역(예; AS/RS)의 시뮬레이션을 위해 설계되어 있기 때문에, 사용자는 해당 시뮬레이션 모델을 완성하는 데 필요한 입력자료(예; 장비선택, 기계대수, 대기공간 크기, 작업을 도착시간분포, 기계·장비 작업시간분포, 저장구역수 등)만을 시뮬레이터에 제공하면 된다. 따라서 데이터입력 시뮬레이터의 사용은 사용자의 시뮬레이션 프로그래밍 능력이 부족하거나 또는 빠른 시간내에 시스템의 개략적 분석결과를 원하는 경우에 적합하다.

이외에도 아직 초보단계에 있지만 시뮬레이션 프로그램을 구축하는 데 보조적으로 사용할 수 있는 소프트웨어 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 소프트웨어의 사용은 시뮬레이션 모델의 프로그래밍을 한결 수월하게 해 준다. 소프트웨어 개발을 위한 연구는 크게 두 종류로 나눌 수 있는데, 프로그램 발생기(program generators)와 모델묘사언어(model description languages)에 관한 것이다. 프로그램 발생기와 모델묘사언어에 대한 자세한 설명은 각각 Matthewson^[2]과 Overstreet and Nance^[4]의 논문을 참고하기 바란다. 이들 소프트웨어의 개발을 위해 인공지능과 전문가시스템, 객체지향 프로그래밍 기술(object-oriented programming techniques)^[5]의 사용이 연구되고 있다.

본 논문에서의 컴퓨터 시뮬레이션언어 조사는 산업체에서 제조시스템의 설계와 평가를 위해 PC에서 사용할 수 있는 범용 시뮬레이션언어와 데이터입력 시뮬레이터에 국한한다. 이 두 종류의 소프트웨어 목록이 판매업체 정보와 함께 각각 <표 2>와 <표 3>에 정리되어 있다. 이들 표의 정보는 대부분 문헌조사^[1,6,7,8,9,10]를 통하여 수집되었다.

1. 범용 시뮬레이션언어

<표 2>에 소개된 언어들은 INSIGHT를 제외하

고 모두 대화형 입력모드와 디버깅, 그리고 그래픽과 애니메이션 기능을 가지고 DOS환경에서 실행된다. 몇몇 언어들만 분리된 애니메이션 시스템을 가지고 있으며 표에서 이를 사선(/)으로 표시하고 있다. 특히 애니메이션 기능은 모델구축 과정에서 디버깅과 모델검사(model verification)를 용이하게 해줄 뿐만 아니라, 시뮬레이션 진행상태와 결과를 시각적으로 잘 전달해 주는 장점을 제공해 준다. 특히 SLAM II, SIMAN/CINEMA, PCModel, SIMPLE1, SIMSCRIPT II.5/SIMGRAPHICS 언어들 애니메이션 기능이 뛰어나다.

SLAMSYSTEM은 SLAM II가 마이크로소프트 윈도우 환경에서 실행될 수 있도록 지원해 주는 소프트웨어로서, 마우스를 이용한 메뉴선택을 통하여 SLAM II네트워크 모델을 화면에 그림으로 구축할 수 있게 해 준다. 특히 여러 대안들의 시뮬레이션 결과를 동시에 한 화면에서 복수 윈도우로써 도표로 정리하여 보여 주는 기능은 매우 유용하다.

CADmotion과 SLAMSYSTEM은 애니메이션 배경그림을 위해 AUTOCAD와 같은 그래픽 소프트웨어 패키지의 인터페이스를 가능하게 해 준다. SIMPLE1은 Dr. Halo와 Deluxe Paint II와 같은 PC 그래픽 소프트웨어들과의 인터페이스를 허용한다.

SLAM II와 SIMAN은 물자취급시스템(material handling systems)의 모델링을 용이하게 해 주는 특수 서브프로그램을 보유하고 있다. 예를 들어, 무인운반차(AGV)와 컨베이어와 같은 운반장비와 자동창고(AS/RS)에서 저장공간의 모델링을 위한 특별한 능력을 제공한다. AutoMod II도 간단한 물자취급시스템 모델을 보유하고 있다.

ARENA는 SIMAN/CINEMA의 모델링 기능에 실측자료(input data) 자동분석기능과 AST(application solution template) 개념을 적용하고 있다. 따라서 사용자는 스스로가 ARENA를 이용하여 직접 시스템을 모델링할 수 있을 뿐만 아니라, 분석대상 시스템의 특수성에 맞춰서 그 분야의 전문가가 개발한 템플레이트를 구입하여 사용할 수도 있다. 이러한 특성에 비추어 ARENA는 범용 시뮬레이션언어이자 동시에 데이터입력 시뮬레

〈표 2〉 범용 시뮬레이션언어

시 스템	판매업체(국내 대리점)
AutoMod(II)*	AutoSimulations, Inc. 655 Medical Drive Bountiful, Utah 84010, USA (C&B 테크놀로지)
CADmotion (PCModel/GAF의 개량)	Simulation Software System Inc. 2107 North First Street, Suite 680, San Jose, CA 95131, USA
GPSS	Minuteman Software P.O. Box 171 Stow, MA 01175, USA
GPSS/H	Wolverine Software Corp. 4115 Annandale Road Annandale, VA 22003-2500, USA
GPSSR GPSS	Simulation Software Ltd. 760 Headley Drive, London, Ontario, N6H 3V8, Canada
INSIGHT	SysTech Inc. P.O. Box 509203 Indianapolis, IN 46250, USA
PCModel	Simulation Software Systems Inc. 2107 North First Street, Suite 680, San Jose, CA 95131, USA
SIMAN/CINEMA ARENA	Systems Modelling Corp. 504 Beaver Street Sewickley, PA 15143, USA (삼성데이타시스템 서울 서대문구 미근동 (02)360-6555)
SIMNET 2.0	SimTech Inc. P.O. Box 3492 Fayetteville, AR 72702, USA
SIMPLE1	Sierra Simulations & Software 303 Esther Avenue Campbell, CA 95008, USA
SIMSCRIPT II .5 /SIMGRAPHICS	CACI 3344 North Torrey Pines Court La Jolla, CA 92037, USA
SLAM II SLAMSYSTEM**	Pritsker Corporation. 1305 Cumberland Avenue, P.O. Box 2413 West Lafayette, IN 47906, USA (동일CIM 서울 강남구 대치동 (02)222-3400)

*메킨토시에서 실행

**MS WINDOWS 필요

〈표 3〉 데이터입력 시뮬레이터

시스템	판매업체 (국내 대리점)
FACTOR AIM	Pritsker Corporation. 1305 Cumberland Avenue, P.O. Box 2413 West Lafayette, IN 47906, USA (동일CIM 서울 강남구 대치동 (02)222-3400)
Genetik	Insight International Ltd. 2 Robert Speck Parkway, Suite 750 Mississauga, Ontario L4Z 1H8, Canada
HEI RTCS	HEI Corporation 350 E. Randy Road Carol Stream, IL 60188, USA
HOCUS*	P-E Inbucon Modelling Division 4118 Murphy's Run Court Hampstead, MD 21074, USA
MAST/BEAM	CMS Research Inc. 600 South Main Street, Brooklyn Center Oshkosh, WI 54901, USA
Micro SAINT/Animation	Micro Analysis & Design Inc. 3300 Mitchell Lane, Suite 175 Boulder, CO 80301, USA
MIC-SIM/VIEW	Integrated Systems Technologies Inc. 350 South Lowe, Suite C Cookeville, TN 38501, USA
Model Master	G.E. Corporation P.O. Box 8106 Charlottesville, VA 22906
ProModel (PROMOD의 개량)	Production Modelling Corp. 1834 South State, Suite G Orem, Utah 84058, USA
SIMFACTORY	CACI 3344 North Torrey Pines Court La Jolla, CA 92037, USA
SIMIS II	SD2 GmbH Emil-Figge-Str. 75 4600 Dortmund 50, West Germany
STARCELL	H.J. Stendel & Associates 1654 Sherman Avenue Madison, WI 53704, USA
SYSTEM BUILD	Juli Jensen 2500 Mission College Blvd Santa Clara, CA 95054-1215, USA
WITNESS SEE WHY	ISTEL Corporation 60 Mall Road Burlington, MA 01803, USA (한국 CAD/CAM) (대림 엔지니어링)

*유닉스(286/386)에서 실행

이터라고 말할 수 있다.

시뮬레이션 소프트웨어의 중요한 기능중 하나가 통계적 분석능력이다. 통계적 분석능력의 관점에서 가장 뛰어난 언어는 INSIGHT이다. INSIGHT는 분산감소기술(variance reduction techniques), 다양한 통계적 입력메카니즘과 통계적 출력분석 등의 기능을 보유하고 있어 사용자에게 통계적 지식을 전혀 요구하지 아니한다. 특정 언어로써 구축된 시뮬레이션 모델이 수정없이 메인컴퓨터, 미니컴퓨터, 마이크로컴퓨터에서 모두 실행될 수 있는 능력은 매우 유용한 특성이며, 이 특성은 최근 개발된 언어들에게는 보편화되고 있다. GPSS, INSIGHT, SLAM II, SIMAN, SIMNET 2.0, SIMSCRIPT II.5가 이 특성을 가지고 있다.

시뮬레이션언어가 범용 컴퓨터언어인 FORTRAN, C 등과 인터페이스할 수 있는 능력은 모델링에 있어 유연성을 부여해 줄 뿐만 아니라, 아주 복잡한 시스템의 모델링도 가능하게 해 준다. GPSS/H, INSIGHT, SLAM II, SIMAN, SIMPLE1이 이 기능을 보유하고 있다.

PC에서 복잡한 시스템을 모델링할 때 메모리 소요량은 중요하다. 메모리 문제를 해결하기 위해 CADmotion과 PCModel은 확장메모리(expanded memory) 사양을 지원하며, SIMSCRIPT II.5는 동적메모리 할당기술을 사용한다.

2. 데이터입력 시뮬레이터

1983년 이후 사용의 용이성을 강조하며 많은 데이터입력 시뮬레이터가 개발 보급되었다. 이러한 시뮬레이터는 아이콘을 이용하여 제조시스템의 각 요소를 라이브러리로 정의하고 마우스를 통해 손쉽게 모델을 구축할 수 있도록 지원한다.

〈표 3〉에 열거된 언어들은 모두 그래픽과 애니메이션 능력을 보유하고 있다. 몇몇 언어들은 분리된 애니메이션 시스템을 가지고 있으며 표에서 이를 사선(/)으로 표시하고 있다.

STARCELL은 유연제조셀(FMC) 흐름라인의 설계와 평가를 목적으로 Turbo Pascal로 프로그램되어 있다. 이를테면 제품조합(product mix), 수요, 작업물 투입순서의 변화가 셀의 수행도에 미

치는 영향을 평가하도록 해 준다. FACTOR와 AIM은 동일한 회사에서 개발되었다. FACTOR는 생산계획과 작업장에서의 스케줄링 대안들에 대한 평가와 물자취급시스템의 운영정책 변화에 대한 분석을 위한 시뮬레이터이다. AIM은 제조시스템에서 설비소요대수 결정과 애로공정 분석 등을 위해 개발되었다.

MAST, WITNESS, ProModel, SIMFACTORY는 제조시스템에서 사용하는 지게차, 무인운반차, 컨베이어, 로봇 등의 물자취급장비를 모델에 쉽게 반영할 수 있게 해 준다. 나머지 다른 시뮬레이터들은 보다 제한된 능력을 가지고 있다. WITNESS와 ProModel는 C언어로 짜여진 서브프로그램과의 인터페이스가 가능하여 사용자에게 제한적이지만 모델링의 유연성을 제공한다.

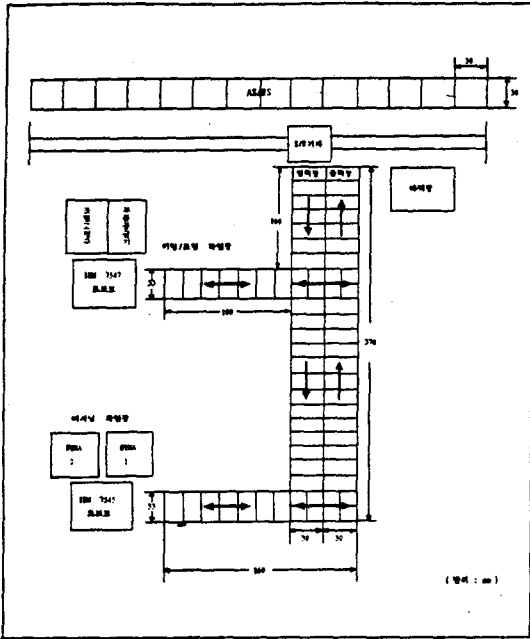
SIMFACTORY와 WITNESS 시뮬레이터는 범용 시뮬레이션언어로써 개발되었다. SIMFACTORY는 SIMSCRIPT II.5 언어로 그리고 WITNESS는 SEE WHY언어로 각각 프로그램되어 있다.

III. FMS 적용사례

FMS란 자동공구교환 능력을 갖춘 NC기계 집단과 자동 물자취급시스템으로 구성되어 있으며, 컴퓨터에 의해 모든 운영이 통제되는 시스템^[11]으로 정의된다. 미국 Virginia Polytechnic Institute의 산업공학과 FMS 실험실에 구축되어 있는 실험용 FMS를 대상으로 SLAM II로써 시뮬레이션을 수행하여 시스템의 운영을 분석하는 사례를 소개하고자 한다. 구체적으로, 이 컴퓨터 시뮬레이션의 목적은 현 시스템의 운영상태 분석을 통하여 문제점을 파악하고 생산성 향상을 위한 개선방안들을 제시하는 것이다.

1. 시스템 구성 및 운영

FMS는 키팅/조립 작업장, 머시닝 작업장, AS/RS, S/R 기계, 입·출력장, 하역장, 롤러컨베이어 시스템으로 구성되어 있다. 시스템의 통제를 위해



(그림 1) FMS 배치도

PC 네트워크가 사용되고 있다. <그림 1>은 FMS 내의 여러 장비와 구역들의 배치를 개략적으로 보여준다.

키팅/조립 작업장은 IBM 7547 로봇, 조립용 지그와 고정구, 중력이용 부품공급기로서 이루어져 있으며, 로봇은 빈 팔렛위에 부품키팅(kitting) 작업, 가공된 부품 조립, 부품공급기 채우는 작업 등 세 가지 기능을 수행한다. 머시닝 작업장은 2대의 DYNA 2200 3축 CNC 밀링기계와 1대의 IBM 7545 로봇으로써 구성되어 있다. 로봇은 CNC 기계에 부품 장·탈착 작업을 수행한다.

AS/RS는 단일구획 저장구조로서 모두 84개 슬롯을 가지고 있으며, 빈 팔렛과 가공을 받기 위해 키팅이 되어 있는 팔렛을 저장한다. 팔렛은 25cm × 25cm의 크기로 표준화되어 있으며 모든 부품과 조립품은 팔렛에 놓여진 채 운반 저장된다. 한 슬롯은 한 개의 팔렛을 수용할 수 있다. S/R 기계는 한 번에 한 개의 팔렛을 취급하며 수평·수직 방향으로 동시 이동이 가능하다.

AS/RS와 컨베이어시스템을 연결하는 입·출력

장에서는 S/R 기계가 AS/RS와 컨베이어시스템 사이의 팔렛 입·출력 기능을 수행한다. 출력장 옆 하역장에 배치되어 있는 작업자는 팔렛에서 완제품을 제거하는 작업을 수행한다. 입·출력장 위에 설치되어 있는 GE Optovision II 머신비전 시스템은 입·출력장을 통과하는 팔렛의 상태를 검사한다.

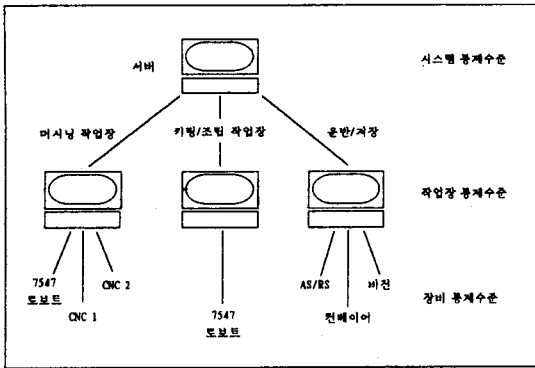
시스템의 컴퓨터통제 네트워크는 <그림 2>에서와 같이 3단계 수준의 계층적 구조로 STARLAN을 이용하여 구축되어 있다. 시스템 통제를 위한 서버컴퓨터는 UNIX 환경에서 운영된다. 장비, PC, 센서, 액츄에이터들은 대부분 TI 565 PLC에 의해 통합되어 있으나 일부는 자체 i/o 포트들에 의해 직접 연결되어 있다.

FMS의 운영은 팔렛의 흐름을 묘사함으로써 가장 잘 설명될 수 있다. AS/RS의 슬롯에서 빈 팔렛 또는 키트된 팔렛이 S/R 기계에 의해 불출되어 입력장으로 운반된다. 그러면 입·출력장 위에 설치되어 있는 머신비전 시스템에 의한 팔렛상태(팔렛위의 부품유무 및 부품정렬 상태)의 검사결과에 따라 컨베이어시스템은 팔렛을 키팅/조립 작업장 또는 머시닝 작업장으로 운반한다. 부품정렬이 잘못된 키트된 팔렛은 다시 키팅/조립 작업장으로 운반되어 고쳐진다.

빈 팔렛의 경우, 키팅/조립 작업장의 로봇은 부품공급기로부터 2개의 부품을 차례로 집어 팔렛 위의 정해진 위치에 놓는 키팅작업을 수행한다. 이 로봇은 부품공급기의 부품량이 정해진 안전재고 수준에 도달하면 공급기 옆에 배달되어 있는 부품 로트으로써 부품공급기를 보충한다. 키트된 팔렛은 머시닝 작업장의 이용가능 여부에 따라 머시닝 작업장 또는 AS/RS로 보내진다.

키트된 팔렛의 경우, 머시닝 작업장의 로봇은 팔렛위의 부품을 집어 2대의 CNC 기계에 한 개씩 장착한다. 각각 다른 가공을 끝낸 부품들은 다시 로봇에 의해 팔렛위의 원래 위치에 놓여진다. 그리고 팔렛은 키팅/조립 작업장으로 다시 운반되어 부품들은 로봇에 의해 완제품으로 조립된다. 조립작업은 조립고정구를 이용한다.

완제품은 로봇에 의해 다시 팔렛위에 놓여져



〈그림 2〉 통제 네트워크

컨베이어를 통해 출력장으로 운반된다. 완제품은 하역장의 작업자에 의해 팔렛으로부터 제거되어 외부로 보내지고, 빈 팔렛은 키팅/조립 작업장의 이용가능 여부에 따라 S/R 기계에 의해 입력장으로 다시 보내지거나 또는 AS/RS의 빈 슬롯에 저장된다.

AS/RS의 저장과 불출은 임의위치저장(randomized storage) 방법을 따르고 있다. 즉, 팔렛의 저장은 출력장에서 가장 가까운 빈 슬롯에 행해지고 불출은 가장 오래전에 저장되어 있는 키트된 팔렛에 대해 우선적으로 이루어진다. 이 방법은 모든 팔렛의 균일한 순환을 보장한다. S/R 기계는 복수 명령수행(dual command cycle) 능력을 지니고 있다.

2. SLAM II 네트워크 모델

분석대상 FMS의 운영은 FORTRAN 서브프로그램들이 포함된 SLAM II 네트워크로 모델링 되었으며, 이 네트워크 모델은 부록에 정리되어 있다. FMS 모델링을 위해 설정한 주요 가정들은 다음과 같다.

(1) 시스템은 하루 2교대(16시간) 가동되며, 2교대 종료시점에 두 작업장과 컨베이어시스템에 남아 있는 모든 작업물은 계속 작업을 받아 완제품으로 조립되고 빈 팔렛은 AS/RS에 저장된다. 그리고 S/R 기계는 입력장에 위치한다.

(2) 세 가지 모델이 조립 생산된다. 모델의 생

산주문은 한개씩 동적으로 발생하며 주문비율은 전체적으로 모델 1이 50%, 모델 2가 30%, 모델 3이 20%이다.

(3) 일정한 시간간격마다 CNC 기계들의 공구교체가 이루어지며, 교체에 소요되는 시간은 지수분포를 따른다.

(4) 각 작업장에서 작업이 끝난 팔렛은 컨베이어를 통한 다음 장소로의 이동과 그곳 장비의 사용이 모두 가능해 질 때까지 현 위치에서 기다린다.

(5) S/R 기계는 작업을 마친 후 수행할 다른 작업이 없으면 그 위치에서 그대로 머무른다.

(6) 조립 로봇의 공구는 사용중 파손이 발생하며, 이때 작업중인 작업물은 로봇의 공구가 교체된 후 남은 시간만큼을 소요하여 완성된다. 공구 파손 시간간격은 정규분포를 따른다. 그리고, 교체 시간은 지수분포를 따른다.

시스템에서 장비와 작업자의 작업시간 및 컨베이어와 S/R 기계의 이동속도는 스톱워치를 이용하여 직접 측정하였으며, CNC 기계와 조립 로봇의 공구파손 및 교체시간은 과거의 자료를 분석하여 도출하였다. 구축된 시뮬레이션 모델의 타당성은 하루동안 작업을 시뮬레이션한 결과와 실제 시스템을 운영한 결과를 비교 평가해 봄으로써 확인되었다.

3. 시뮬레이션 및 분석

FMS의 SLAM II 네트워크 모델에 대해 작성된 프로그램을 IBM PC/486에서 실행하였다. 시뮬레이션은 하루(960분)동안 5회 반복 수행하였다. 시스템의 분석은 매회 시뮬레이션 결과 얻어진 "SLAM II SUMMARY REPORT"에 정리되어 있는 자료를 토대로 하였다.

시뮬레이션 결과 얻어진 세 종류 제품 모델의 일일 평균생산량과 한 개당 평균생산소요시간이 〈표 4〉에 정리되어 있다. 시뮬레이션 동안 AS/RS에는 평균 27.3개(27.3/84=32.5%)의 키트된 팔렛이 저장된 것으로 나타났다. 하루동안 키팅/조립 작업장에서 키팅작업을 받은 총 207개의 팔렛중 단지 한 개만이 곧바로 머시닝 작업장으로 이동되었고 나머지는 모두 AS/RS에 저장되었다. 장비들

〈표 4〉 현재 시스템의 시뮬레이션 결과

평가척도	모델 1	모델 2	모델 3	전제품
일일 평균생산수량	101개	64개	42개	207개
개당 평균생산 소요시간 (표준편차)	9.42분 (2.00분)	10.20분 (1.17분)	9.55분 (2.73분)	9.72분 (2.07분)

의 이용도는 매우 낮게 나타났다(S/R 기계 : 46%, 7547 로봇 : 37%, 7545 로봇 : 23%, CNC 1 : 17%, CNC 2 : 24%). 이러한 현상은 각 작업장에서의 팔렛 대기공간의 부재와 두 작업장 간 팔렛의 이동을 위한 컨베이어시스템의 구조적 특성(폭, 일방통행 등)에 기인한 것이라 볼 수 있다. 작업자의 이용도는 평균 3%로 매우 낮게 나타났다으며, 출력장 앞에 두 개 이상의 빈 팔렛이 기다린 경우가 하루동안 한번도 없었다.

FMS의 생산성을 개선하기 위해서 시스템 운영 정책, 장비운영, 그리고 시스템 설계 등과 관련한 여러 방안을 개발하여 시뮬레이션에 의한 실험을 간단히 수행해 보았다. 실험결과, 생산수량과 생산 소요시간의 관점에서 개선효과가 큰 방안 네 가지를 다음에 정리한다.

(1) 키팅/조립 작업장 운영정책 변경

키팅/조립 작업장에서는 키팅과 조립의 두 종류 작업을 수행하는데, 작업장이 이용 가능할 때 두

종류의 작업요구가 함께 존재해 있으면 현재의 작업장 운영정책에서는 제품모델 발주시간 순서에 따라 항상 조립작업을 우선적으로 수행한다. 작업장 운영정책을 바꾸어 빈 팔렛에 키팅하는 작업을 우선적으로 수행하도록 하였다. 새로운 운영정책에 따른 시뮬레이션 결과가 〈표 5〉에 정리되어 있다. 현재 시스템과 비교하여 일일 총생산개수가 약 4% 정도 증가함을 알 수 있다.

(2) 컨베이어 이동속도 증가

컨베이어나 S/R 기계의 이동속도를 증가하면 팔렛을 운반하는 데 소요되는 시간이 단축되어 제품의 생산량은 늘어나고 개당 생산소요시간은 줄어들 것이다. 현재 시스템에서의 컨베이어 이동속도 12fpm을 18fpm으로 높여 시스템 생산성의 변화를 분석해 보았다. 〈표 5〉에 나타난 바와 같이, 컨베이어 이동속도의 50% 증가에 따라 총생산량은 약 17.2%가 늘어나고 개당 생산소요시간은 약 13.7%가 줄어들었다.

(3) S/R 기계 이동속도 증가

현재 시스템에서의 S/R 기계 수평·수직 이동속도 12fpm과 8fpm을 각각 18fpm과 12fpm으로 높여서 실험해 보았다. 〈표 5〉에 나타난 바와 같이, S/R 기계 이동속도의 50% 증가에 따라 총생산량은 약 7.7%가 늘어나고 개당 생산소요시간은 약 6.5%가 줄어들었다. 컨베이어와 S/R 기계 이동속도의 증가는 장비관련 비용의 증가를 초래할

〈표 5〉 FMS 생산성 개선방안에 따른 시뮬레이션 결과

개선방안	모델 1	모델 2	모델 3	전제품
1. 키팅/조립 작업장 운영정책 변경	(9.15,2.03;105)	(11.6,2.05;68)	(9.14,2.16;43)	(9.96,2.08;216)
2. 컨베이어 이동속도 증가	(8.44,2.04;121)	(9.21,2.31;82)	(7.52,0.69;47)	(8.39,1.82;250)
3. S/R 기계 이동속도 증가	(8.76,1.68;109)	(10.1,2.56;69)	(8.42,0.68;45)	(9.09,1.81;223)
4. 두 작업장에 팔렛 대기공간 제공	(9.95,1.95;175)	(8.4,1.32;108)	(6.37,1.45;71)	(7.77,1.6;354)
현재 시스템	(9.42,2.0;101)	(10.20,1.17;64)	(9.55,2.73;42)	(9.72,2.07;207)

주 : (a, b ; c)

a : 개당 평균생산소요시간(분)

b : 생산소요시간의 표준편차(분)

c : 일일 평균생산수량(개)

있다.

4) 두 작업장에 팔렛 대기공간 설계

기팅/조립 작업장과 머시닝 작업장에 각각 한 식의 팔렛 대기공간을 허용하여 시뮬레이션을 행한 결과가 <표 5>에 나타나 있다. 총생산량은 71%가 증가하였으며, 개당 생산소요시간은 약 1.1%가 감소되었다. 그리고 S/R 기계를 제외한 종류 장비의 이용도가 현재 시스템에 비교하여 두 배 정도씩 높아졌다. 이러한 결과는 시뮬레이션 동안 하역장에 도착한 총 354개 팔렛중 159개 출력장에서 기팅/조립 작업장으로 곧바로 채로 이동되었다는 사실로써 뒷받침된다.

두 작업장에 팔렛 대기공간을 제공하는 방안이 가지 개선방안 중에서 가장 뛰어난 생산성 증가 보여 주었다. 그러나 이 방안은 두 작업장의 재배치를 필요로 할 것이다. 더 정확하고 자세하게 MS를 분석하기 위해서는 통계적 분석기법을 적용하여 수립된 실험계획(초기조건 설정, 통계자료 수집기간 결정, 반복회수 결정, 대안생성 및 비교, 통계적 결과분석 등)을 토대로 더욱 더 체계적으로 시뮬레이션을 수행하여야 한다. gradient method나 random search 등의 최적화기법^[12]을 시뮬

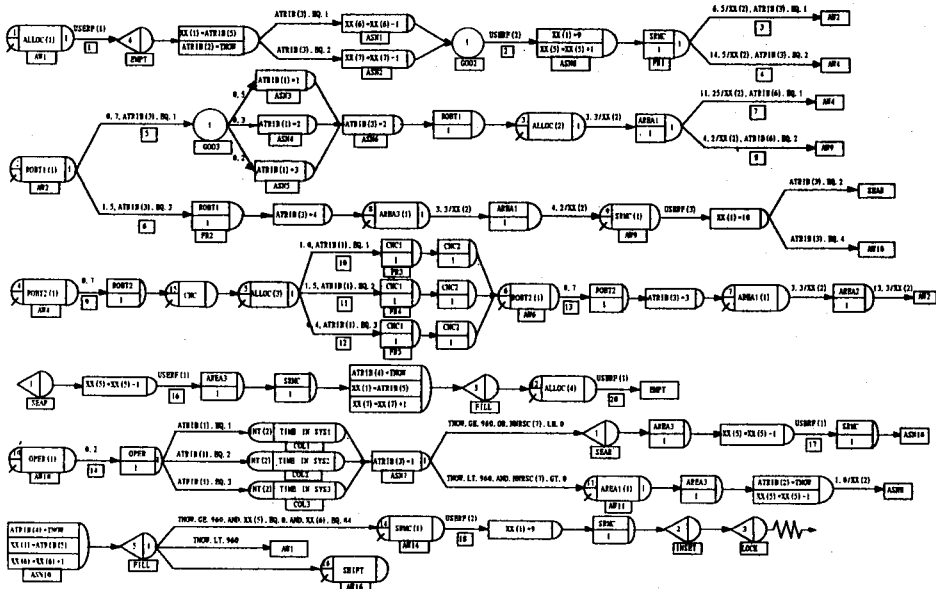
레이션에 접목하여 컨베이어 및 S/R 기계 이동속도, 팔렛 대기공간 크기 등의 최적치를 구할 수도 있다.

IV. 결 론

컴퓨터 시뮬레이션 기법이 국내에 도입된 역사는 매우 짧다. 그러나, 최근 국내 자동 제조시스템의 증설과 설비투자의 확대로 시뮬레이션 기법의 적용이 엔지니어링 업체 및 제조시스템의 관리부서 위주로 활발히 시행되고 있다. 시뮬레이션 기법의 활용효과를 극대화하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 사항들을 유념할 필요가 있다.

첫째, 시뮬레이션의 적용을 하나의 프로젝트 수행으로 인식하고 체계적으로 진행하여야 한다. 검증되지 않은 시뮬레이션 모델, 부정확한 입력자료, 과학적 실험계획의 부재 등은 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰도 저하는 물론 전혀 엉뚱한 결론을 얻을 수 있다.

둘째, 시뮬레이션 프로젝트의 책임자는 시뮬레이



부록 : FMS의 SLAM II 네트워크 모델

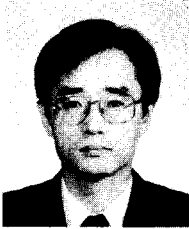
선 기법에 대한 충분한 지식을 갖추어서 분석방법에 있어 노하우를 보유해야 한다. 또한 책임자는 대상 시스템과 관련 활동들에 대해 충분한 이해를 필요로 한다. 프로젝트 팀은 현장관리자, 현장전문가, 자료분석자, 프로그래머(시뮬레이션언어 숙달자) 등을 포함하도록 한다.

셋째, 분석대상 시스템의 특성과 분석목적에 가장 적합한 시뮬레이션언어를 사용하여야 한다. 따라서, 책임자는 상용 시뮬레이션언어에 대한 충분한 지식을 갖추고 있어야 한다. 시뮬레이션언어 선택시 판매업체로부터의アフ터서비스를 중요한 평가요인의 하나로 고려해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Haider, S. W. and J. Banks, "Simulation Software Productions for Analyzing Manufacturing Systems," *Industrial Engineering*, V.18, no.7, July, 1986, pp.89~103.
- [2] Pritsker, A. A. B., *Introduction to Simulation and SLAM II*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1986.
- [3] Mattewson, S. C., "User Acceptance : Design Considerations for a Program Generator," *Software Practice and Experience*, v.13, 1983, pp.101~117.
- [4] Overstreet, C. M. and R. E. Nance, "A Specification Language to Assist in Analysis of Discrete Event Simulation Models," *Communications of the ACM*, v.28, no.2, Feb., 1985, pp.190~201.
- [5] Bryan, O. F., "Modsim II-An Object Oriented Simulation Language for Sequential and Parallel Processors," *Winter Simulation Conference Proceedings*, 1989, pp.172~177.
- [6] Armstrong, R. B. and S. Sumner, "The Project Approach to Simulation Languages Comparison," *Winter Simulation Conference Proceedings*, 1988, pp.636~645.
- [7] "Catalog of Simulation Software," *Simulation*, v.51, no.4, 1988, pp.136~156.
- [8] Chrystall, C. N. and M. M. Kaye, "Selection of a Manufacturing Simulation Tool," *Production Engineer*, v.66, no.11, 1987, pp.24~28.
- [9] Stendal, H. H., "Starcell : A Flexible Manufacturing Cell Simulator," *Winter Simulation Conference Proceedings*, 1987, pp.230~234.
- [10] Tan, G. P., *Modeling a CIM System with Micro Saint, Project Proposal*, Department of Industrial and Systems Engineering, VPI, Sep. 1990.
- [11] Askin, R. G. and C. R. Standridge, *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1993, pp.125~157.
- [12] Beightler, C. S., D. T. Phillips, and D. J. Wilde, *Foundations of Optimization*, Prentice-Hall, 1979.

저 자 소 개



朴 良 柄

1953年 11月 13日生

1978年 2月 한양대학교 산업공학과 졸업(학사)

1981年 5月 서울대학교 산업공학과 대학원, Pennsylvania State Univ. 산업공학과 졸업(석사)

1984年 5月 Oklahoma State Univ. 산업공학과 졸업(박사)

1984年 6月~1985年 8月 Northeastern Univ. 산업 및 정보공학과 조교수

1985年 9月~현재 경희대학교 산업공학과 교수

1990年 1月~1990年 12月 Virginia Polytechnic Institute and State Univ. 산업공학과
객원교수

주관심분야 : FMS/CIM 설계 및 분석