



2015 시스템다이내믹스 동계학술대회

2015. 2. 7.

Vensim을 사용한 이산형 모의 사례

김 익 현

ikhyun@chol.com



[Acknowledgement]

본 발표 내용은 아래 논문을 작성하면서 시스템다이내믹스 도구인 Vensim으로 이산형 모의를 실시한 사례를 설명한 것입니다.

- ◆ 김익현, 진현웅 (2014), “재고관리 정책 선택을 위한 요인들의 영향 분석: 시스템다이내믹스 방법론에 의한 시뮬레이션”, *한국생산관리학회지*, 제25권, 제4호, 363-381
- ◆ 김익현 (2015), “시스템다이내믹스를 활용한 재고관리정책 연구“, *한남대학교 박사학위청구논문*



초 록

시스템다이나믹스는 환류(Feedback) 기반의 표현을 하고 연속모의(Continuous simulation) 중심의 모의를 하지만, 세상의 사건이 모두 연속적이지 않으며, 인과 관계가 반드시 환류되는 것은 아닐 것이다. 연속적이지 않고, 환류되지 않는 것에 관심을 두지 않는다면, 이것은 학문으로서의 편견일 수 있다. 기본적으로 연속형 모의와 이산형 모의는 연구 목적에 따른 선택이지 우열 관계가 있는 것은 아니고, 시스템다이나믹스를 구현하기 위해 제작된 도구는 모델링 도구라는 관점에서 이산형 모의에 활용할 수 있다.

그러나 시스템다이나믹스 분야 논문이 거의 연속형 모의를 지향하고 있고 이산형 모의 사례를 찾아보기 어렵다.

재고관리 시스템에서 일어나는 수요·판매·주문·입하·재고변동 등의 이산적인 사건을 Vensim PLE에서 구현한 과정과 성과를 설명함으로써 이산 사건도 시스템다이나믹스에서 관심을 기울일 필요와 가치가 있음을 보여주고자 한다.

이러한 방법을 사용함으로써 시스템다이나믹스 사고 범위가 확대되고, 시스템다이나믹스 기법의 활용도가 높아지기를 기대한다.



순서

- 시스템다이나믹스 입문자의 의문
- 모델링의 근본적 개념 반추
- 이산사건 모델링 사례
- 재고관리 시스템의 이산 모형
- 이산사건 모의 기타 방법
- 성과 및 발전 방향



시스템다이내믹스 입문자의 의문



①

시스템 사고(System Thinking)는 문제 요인들의 순환적 인과 관계(circular causality)와 피드백 루프(Feedback loop)를 강조한다.

김도훈 등 (2001), 시스템다이내믹스, 대영문화사

시스템 사고를 통해 사건들의 순환 현상을 발견하는 노력의 요구가 역지로 순환의 굴레를 만들라는 요구는 아닐 것이다.

②

Operational Thinking(운용적 사고)란 “변화가 실제로 어떻게 해서 일어나는가?”에 초점을 맞추는 사고이다.

김도훈 등 (2001), 시스템다이내믹스, 대영문화사

숨겨진 Operator를 찾아서 변화의 흐름을 완성하라는 요구이지, “어떻게”가 연속형이나 이산형을 선택하라는 것은 아닐 것이다.

시스템다이나믹스 입문자의 의문

Table 1: A Taxonomy of Research and Development on System Dynamics Modelling in Supply Chain Management

Category	Research: Modelling for Theory Building	Practice: Modelling for Problem Solving	Putting Research into Practice: Improving the Modelling Approach
Research Areas			
Inventory Management	(b)	(b),(c)	
Demand Amplification	(b)	(b)	
Supply Chain Re-Engineering		(a),(b),(c)	(a),(b),(c)
Supply Chain Design	(a)	(a),(b),(c)	(a),(b),(c)
International SCM	(a)	(a),(b),(c)	(a),(b),(c)(d)

Key to Table 1: Techniques and Methods applied

- (a) Causal Loop Diagramming
- (b) Continuous simulation
- (c) OR techniques
- (d) Discrete simulation

Although a discrete representation is more realistic for some parts of the model, continuous formulations are chosen for time and stocks, and found to be not too distorting.

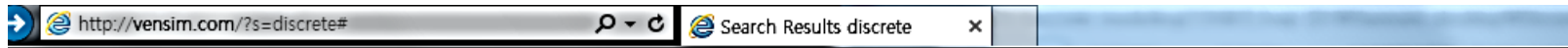
Angerhofer & Angelides (2000)

- ➡ 모델 구축 및 운용의 용이성 측면에서 연속형 모형 선호
- ➡ 제한된 분야에서 이산형 모형 적용
- ➡ 이산형 모형이 부적절하다는 의미는 아님

시스템다이내믹스 입문자의 의문



③



What is the difference between discrete and continuous?

Technically, Vensim and other system dynamics packages are capable of solving systems of lumped ordinary difference or differential equations. We often refer to Vensim as supporting continuous simulation. What this means is that it is best suited to situations where most of the variables change continuously, and not in increments. This is to be contrasted with discrete event simulation in which individual entities are tracked and the results added up to report behavior. While it is possible to make discrete variables in Vensim, this is usually only sensible if there are a small number of such variables relative to everything else in the model. A discrete event simulation moves forward by allowing each entity to choose the next time it needs to do something (be fully assembled, change to a different workstation, and so on). For this type of modeling it is desirable to have a clock that jumps from time to time and only does the things that need doing at that time. It is possible to make Time jump from place to place in Vensim. However at each time everything gets done. This is very inefficient for discrete even style simulation where only one out of say 100,000 things might need to be computed.

On September 27th, 2012, **posted in:** by [admin](#)

Vensim에서의 이산모의가 제한적이고, 비효과적이라고 설명함으로써, 이 산사건을 구상하는 것을 기피하게 만든다. 「연속형 & 피드백」 이어야만 올바른 시스템다이내믹스라는 생각을 강요하는 것 같다.

시스템다이나믹스 입문자의 의문



Feature	PLE	PLE Plus	Pro	DSS
SyntheSim	X	X	X	X
Ability to cut feedback links on the fly in SyntheSim mode	X	X	X	X
Sketch Editor with Undo/Redo	X	X	X	X
Gaming		X	X	X
Sensitivity Simulations (Monte Carlo)		X	X	X
External Data Import/Export (spreadsheet etc.)		X	X	X
Live Data Connections		X	X	X
Discrete Event Functions			X	X

<http://vensim.com/comparison/>

무상으로 이산 모의에 대한 연구는 불가능한 것인가?





모델링의 근본적인 개념 반추

... All models are wrong. All models are limited, simplified representation of the real world. They differ from reality ... We focus on the important questions: is the model useful? ...

Sterman, J. D. (2000), Business Dynamics Chapter 21,

■ 모델을 잘 사용하는 방법 :

현실에서 관심 있는 현상을 그럴 듯하게 (feasibly) 표현하고,

그것으로부터 알고자 하는 값들을 합리적으로 (정밀하지 않아도, 의사결정에 사용해도 지장 없을 정도로 근사하게) 산출한다.

↪ 특정한 방법이 우월하다는 편견을 버리고 현상을 잘 표현하는 방법 선택

↪ 모델링 도구가 가진 능력을 목적에 기여할 수 있도록 사용하는 방법 개발



모델링의 근본적인 개념 반추



■ 이산사건의 정의

일정한 물리 법칙에 따라 시간의 함수로 귀결되지 않고, 불규칙한 시간 간격에 비동기적(asynchronously)으로 발생하는 사건

조광현, 임종태 (2000), 이산사건모델링 및 관리제어이론

■ 이산사건의 특징 (성질)

- 사건이 발생하면 시스템의 상태를 순간적으로 변경시킨다
 - ☞ 창고에 물품이 도착하는 순간 재고량이 증가한다
- 다음 사건이 발생할 때까지 시스템의 상태가 변하지 않는다
 - ☞ 창고의 재고량은 입하, 불출 등의 이벤트가 발생할 때까지 변함없다.
- 앞에 일어난 사건이 뒤에 일어날 사건에 영향을 주지 않는다
 - ☞ 어떤 자동차가 지나갔다고 다음엔 어떤 자동차가 지나갈 것이라고 예측할 수 없다
- 다른 원인이나 다른 주체에 의해서 동시 다발적으로 일어난다
 - ☞ 상점에 여러 명의 고객이 찾아왔지만 그들이 의논해서 동시에 온 것이 아니다
- 정기적 혹은 부정기적(결과적으로 특정 분포양상을 갖더라도)으로 일어난다
 - ☞ 구매 담당자는 5일마다 물품을 구매하기로 하였다
 - ☞ 카센터에 고장난 차가 시도 때도 없이 들어온다



모델링의 근본적인 개념 반추



■ 현상을 파악하는 방법과 연구목적에 부합된 모델링 방법

연속형 모델링	이산형 모델링
상태변수가 시간에 따라 연속적으로 변하는 방식으로 표현하는 모형	상태변수가 분리된 시점에 순간적으로 변하는 방식으로 표현하는 모형
컵에 따라지는 물 : 연속적으로 흐름	고객의 주문 : 이산적으로 발생
컨베어벨트를 지나가는 제품들을 시간당 개수로 파악하여 생산능률 분석	컨베어벨트를 지나가는 제품 하나 하나를 구별하여 품질의 차이 분석

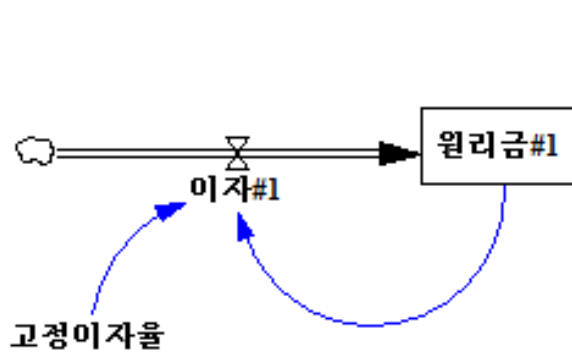
☎ 연속형 모델링과 이산형 모델링의 선택은 연구 목적에 달려 있음

: Law와 Kelton(1991)
10



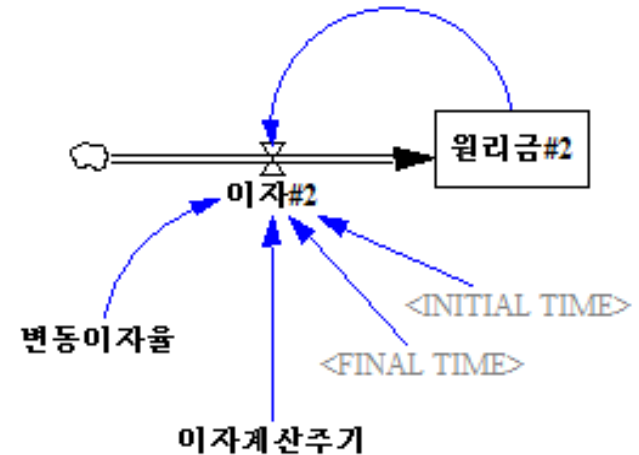
이산사건 모델링 사례

■ 이자 발생 시스템의 연속형 · 이산형 모델 비교 ①



$$\text{이자} = \text{이자율} * \text{원리금}$$

이자 발생을 연속적
현상으로 파악



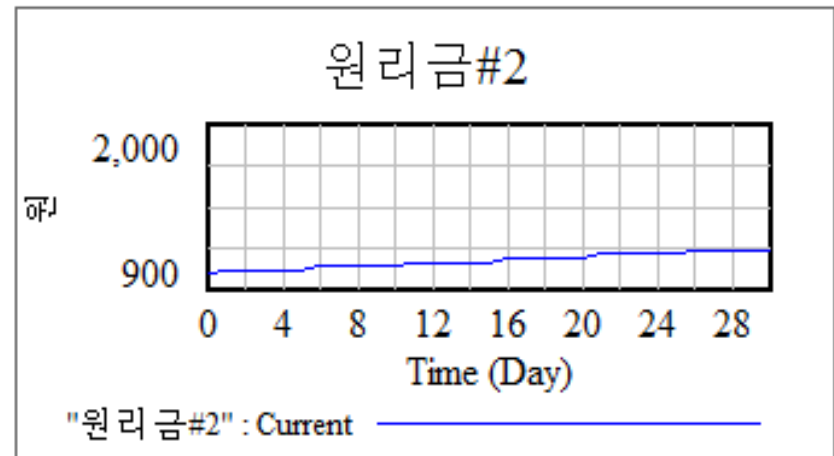
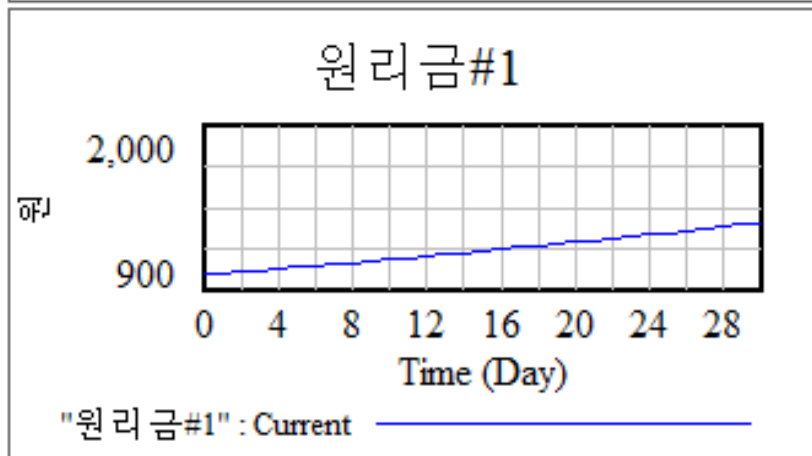
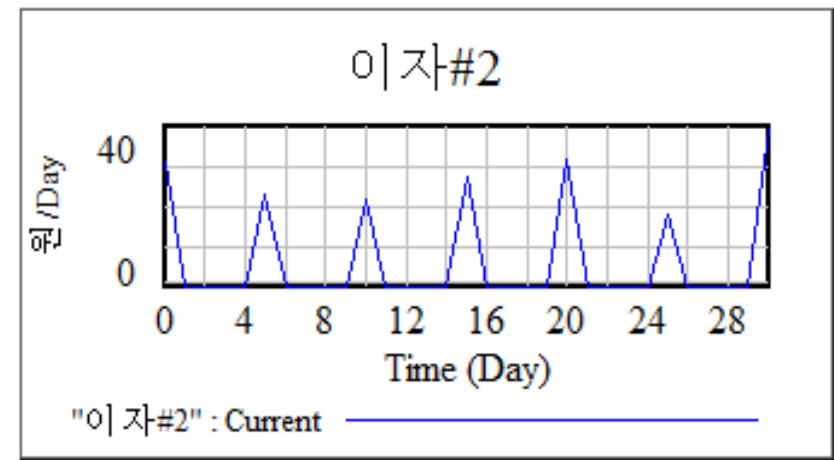
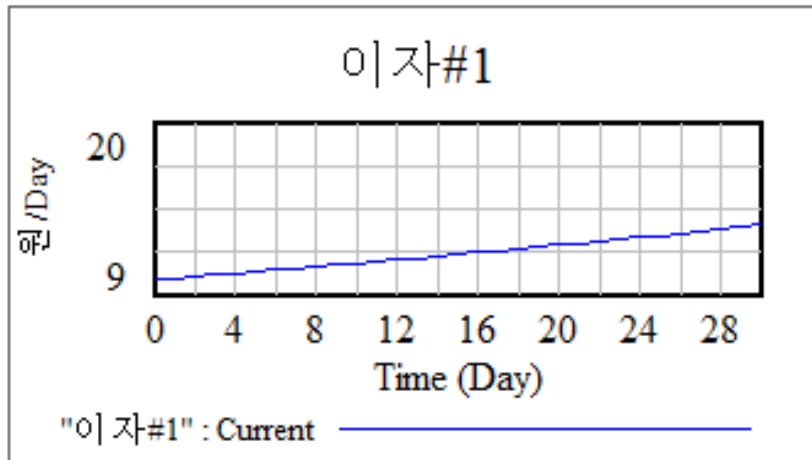
$$\text{이자} = (\text{원리금} * \text{이자율}) * \text{pulse train}(\text{INITIAL TIME}, 0, \text{이자계산주기}, \text{FINAL TIME})$$

이자 발생을 이산적
현상으로 파악



이산사건 모델링 사례

■ 이자 발생 시스템의 연속형 · 이산형 모델 비교 ②





재고관리 시스템의 이산모형

■ 재고관리 시스템 소개 ①

● 재고관리 과정에서 일어나는 사건(event) 및 특징

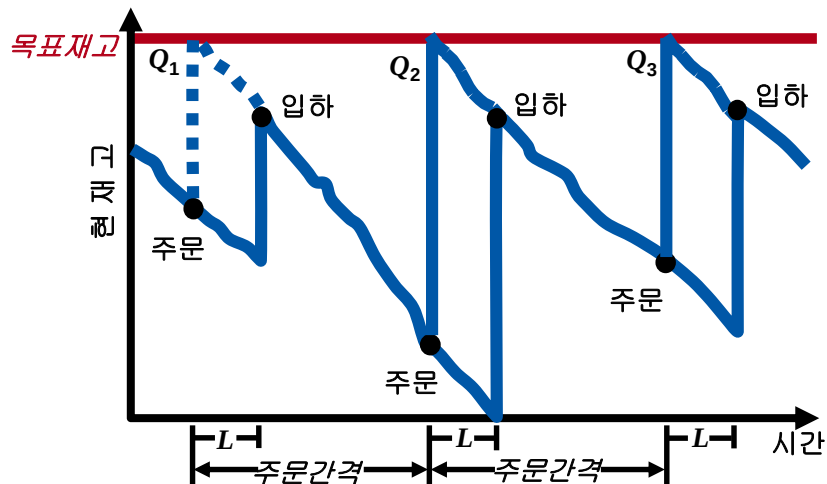
이산 사건의
시작

- ◆ 수요 : 고객들이 임의의 시기에 임의의 양을 주문함 : random
- ◆ 매출 : 재고량 범위 내에서 고객의 주문에 응함 : 재고량과 수요량의 비교
- ◆ 품절 : 주문량 > 재고량, 판매하지 못함
- ◆ 주문 : 상류 공급사로 주문함 : P시스템 또는 Q 시스템
- ◆ 입하 : 주문량이 창고에 도착하여 판매준비를 마침 : 리드타임만큼 지연
- ◆ 재고 : 창고에 쌓여있는 상품 : 입하량과 판매량의 차이
(입하, 판매 순간에 수량이 변함)

재고관리 시스템의 이산모형

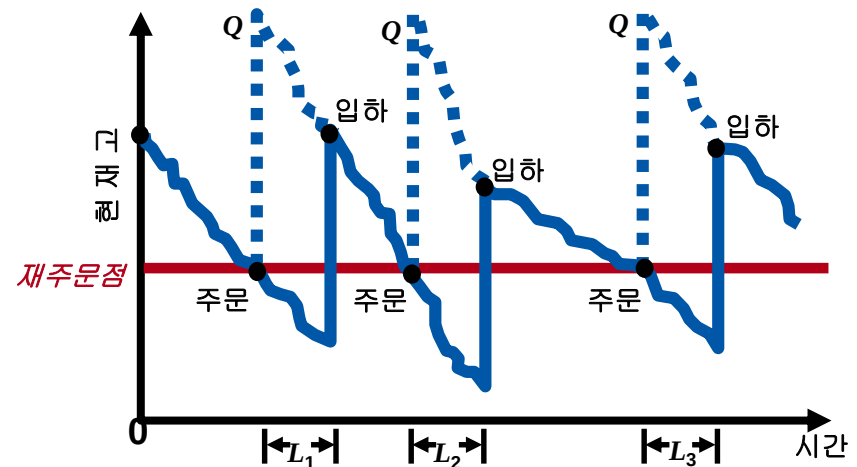
■ 재고관리 시스템 소개 ②

● 재고관리 시스템의 종류



◆ P 시스템 (정기주문시스템)

- 미리 정해진 시점이 되면 (정기적으로)
- 목표재고수준과 현 재고수준의 차이만큼 주문

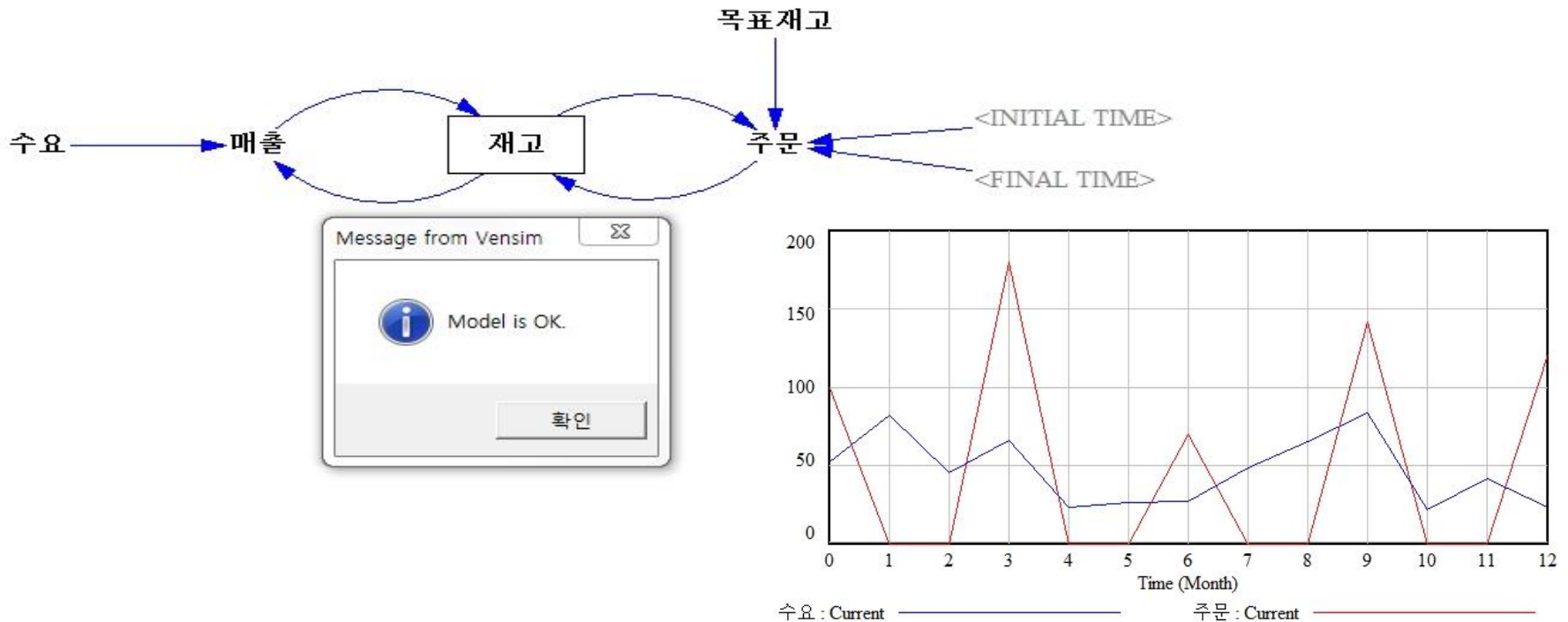


◆ Q 시스템 (고정주문량시스템)

- 재고 수준을 계속 모니터링하고 있다가, 미리 정해진 재주문점에 도달하면
- 일정한 양(고정주문량)을 주문

재고관리 시스템의 이산모형

■ 재고통제 시스템의 단순 이산 모형 ①



수요 : $\text{INTEGER}(\text{RANDOM NORMAL}(0, 100, 50, 30, 1))$

매출 : $\text{IF THEN ELSE}(\text{재고} \geq \text{수요}, \text{수요}, \text{재고})$

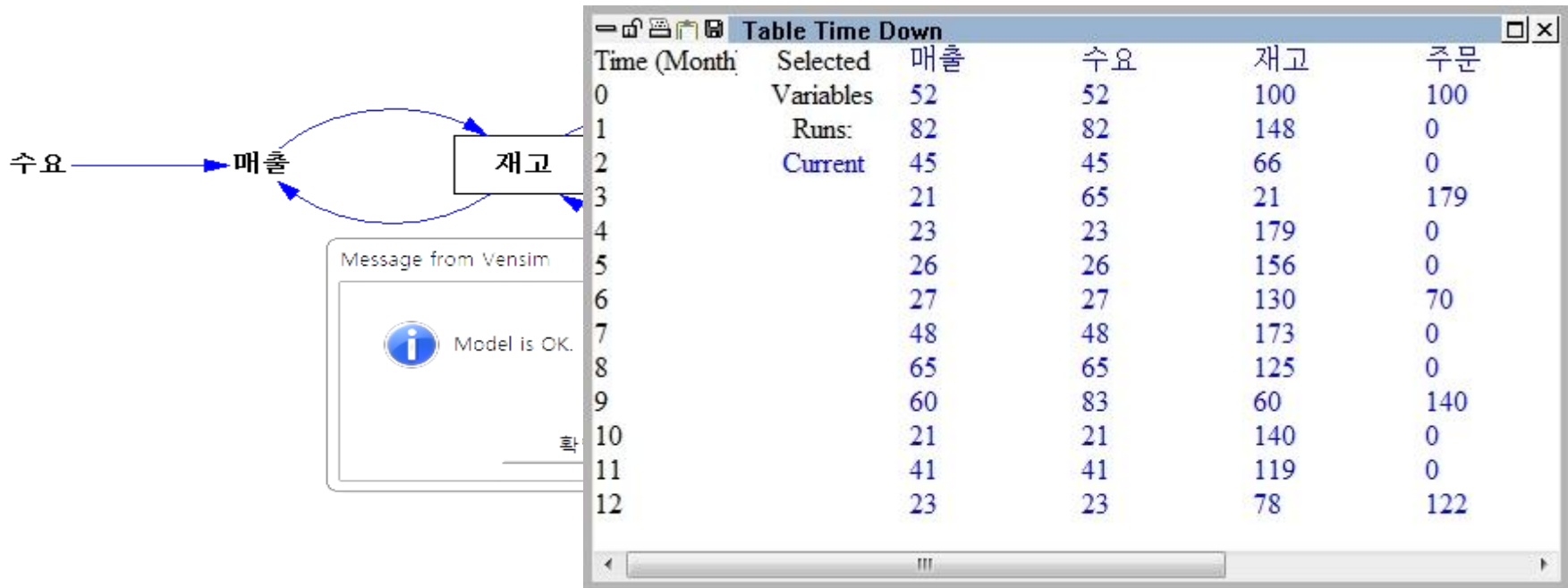
주문 : $(\text{목표재고} - \text{재고}) * \text{PULSE TRAIN}(\text{INITIAL TIME}, 0, 3, \text{FINAL TIME})$

목표재고 : 200

재고 : $\text{INTEG}(\text{주문} - \text{매출}, 100)$

재고관리 시스템의 이산모형

■ 재고통제 시스템의 단순 이산 모형 ②



Time=0 : 재고=100 : 초기값 100

수요=52, 매출=52, 주문=100 : 첫 번째 주기에서 일어난 사건

Time=1 : 재고=148=100-52+100 : 첫 번째 주기(Time=0)때 일어난 매출과 주문량의 입하

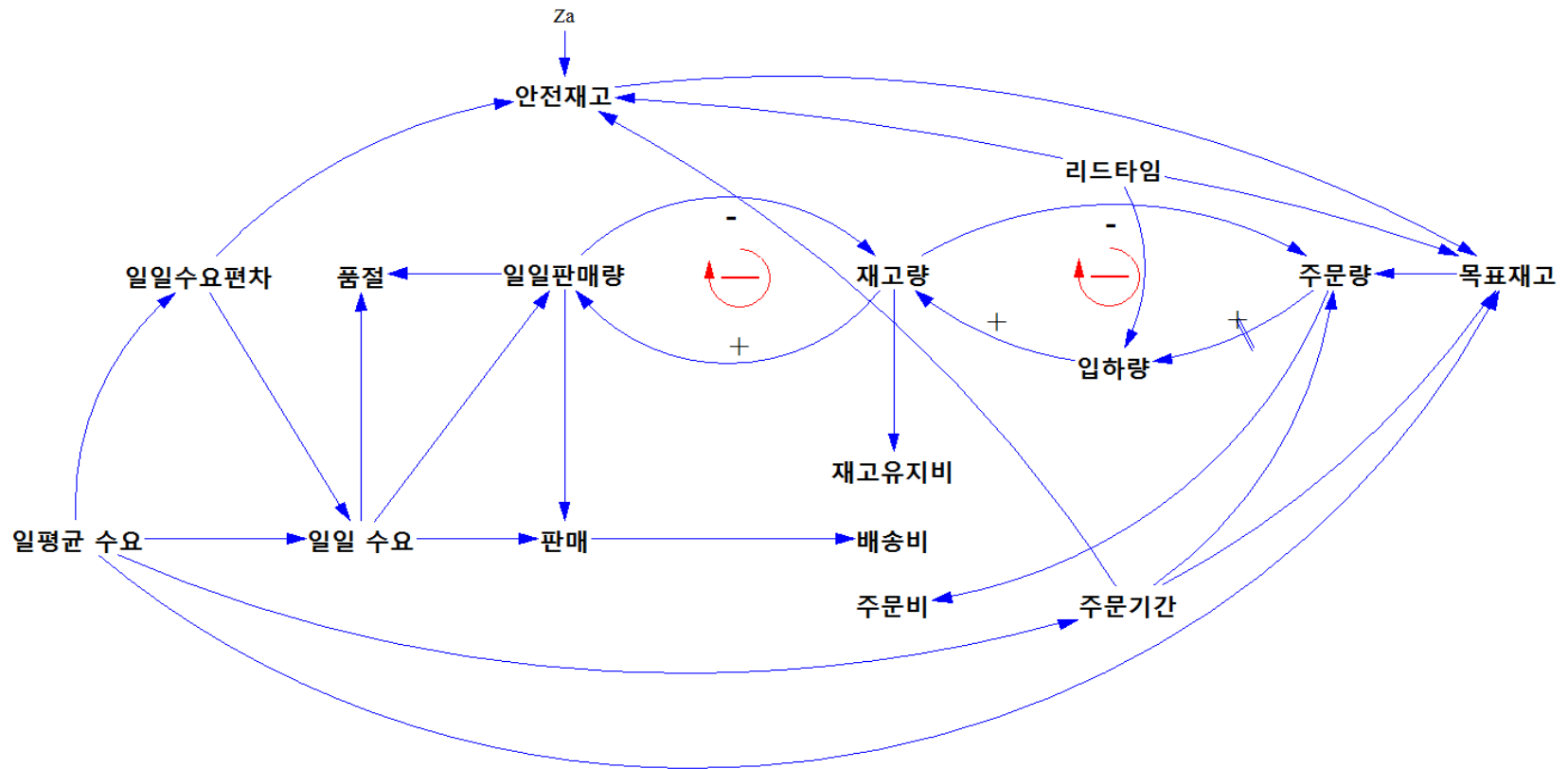
Time=2 : 재고= 66=148-82 : 두 번째 주기(Time=1)때 일어난 매출의 결과

... (이하 생략)

※ 저장변수는 해당 시간마디(Time Step)에서의 초기값

재고관리 시스템의 이산모형

■ P 시스템의 CLD



Feedback Loop : 2개

변수들간의 인과관계 : 의사결정시 고려사항

(예) 주문량 결정시 고려사항 : 재고량, 목표재고, 주문기간



재고관리 시스템의 이산모형

■ P 시스템의 SFD 주요 수식

- ◆ 수요 : RANDOM 함수 사용으로 전후 값의 상관성 배제

```
INTEGER( RANDOM NORMAL("51호점 일평균 수요"*0, "51호점 일평균 수요"*10 , "51호점  
일평균 수요" , "51호점 수요편차" , 1 ) )
```

※ INTEGER : 수요량을 정수로 발생시킴, 1: stream ID (= 난수 발생을 위한 seed)

- ◆ 주문량 : PULSE TRAIN 함수 사용으로 발생 간격, 지속 기간 통제

```
(목표재고 - 재고량 - 미도착주문량) * PULSE TRAIN(INITIAL TIME, 0, 주문간격, FINAL TIME)
```

※ PULSE TRAIN(start, width, tbetween, end), width=0 : 해당 주기에서만 발생

- ◆ 입하량 : DELAY MATERIAL 함수 사용으로 리드타임에 따른 지연 구현

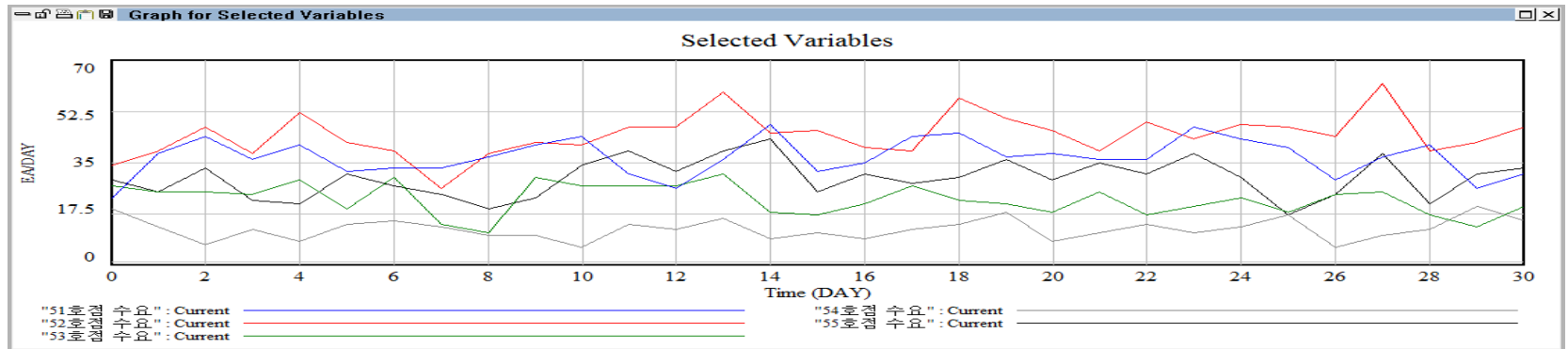
```
DELAY MATERIAL(주문량, 리드타임, 0, 0 )
```

※ DELAY material(INPUT, DELAY TIME, initial value, missing value)

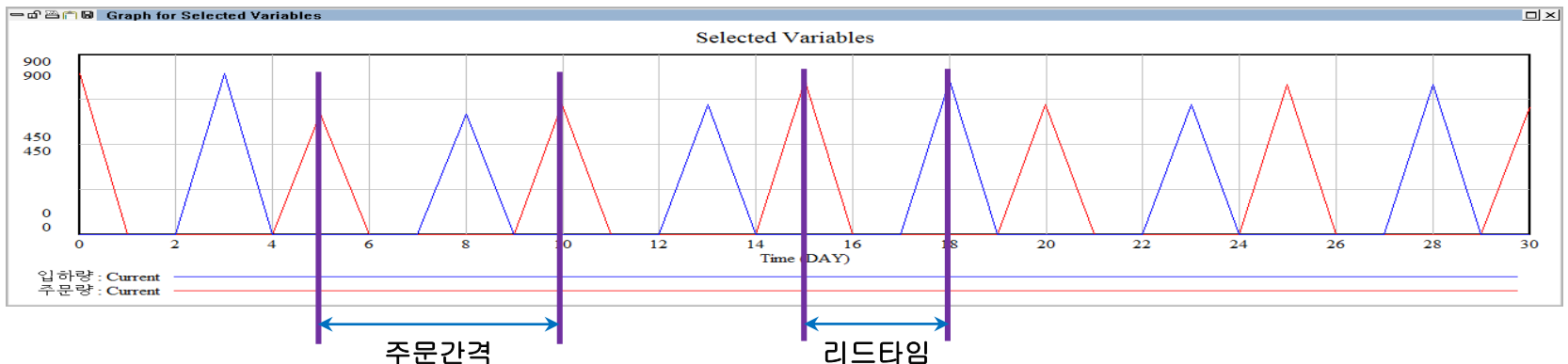
재고관리 시스템의 이산모형

■ P 시스템 모의 결과 주요 그래프

◆ 수요의 발생



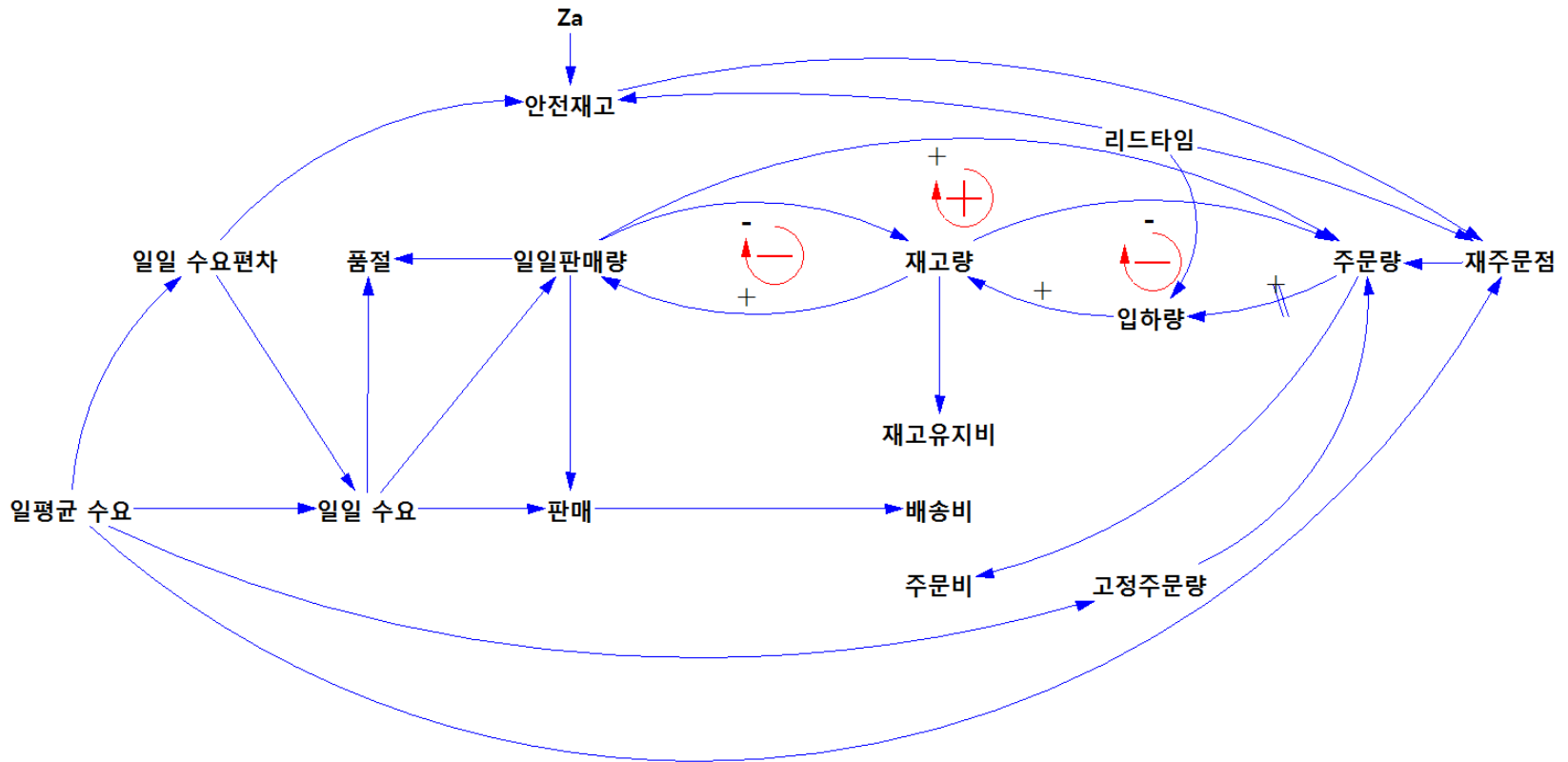
◆ 주문과 입하 : 5일 간격 주문 발생, 리드타임(3일) 후 입하 발생



※ 하나의 이산 사건과 인과관계가 있는 이산 사건의 적합한 발생 확인 20

재고관리 시스템의 이산모형

■ Q 시스템의 CLD



Feedback Loop : 3개

변수들간의 인과관계 : 의사결정시 고려사항

(예) 주문량 결정시 고려사항 : 재고량, 고정주문량, 재주문점

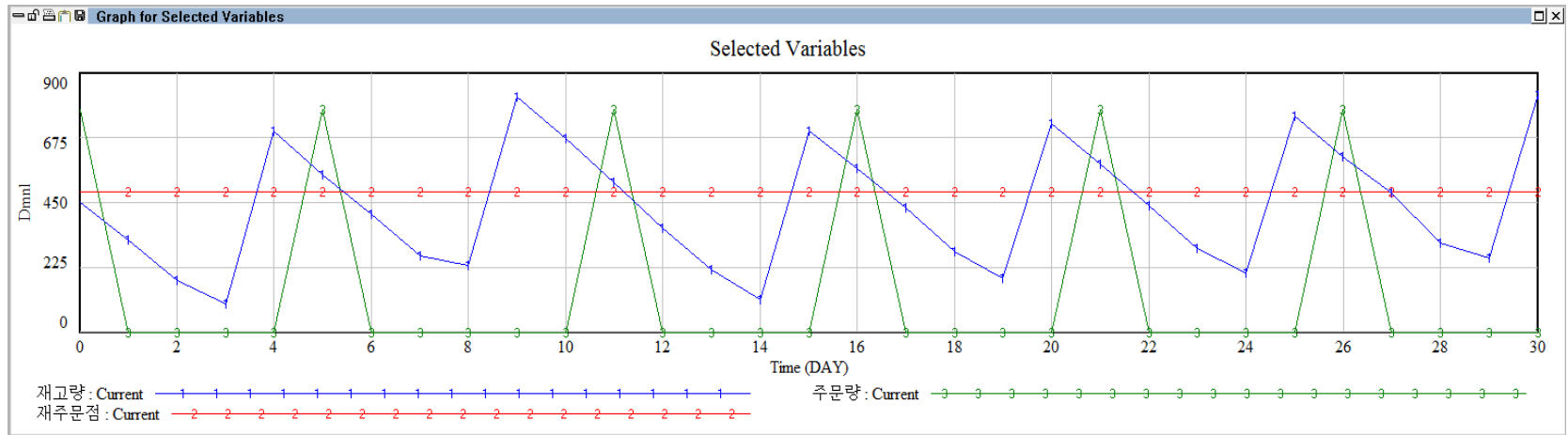
재고관리 시스템의 이산모형

■ Q 시스템 SFD 주요 수식 및 모의 결과 주요 그래프

◆ 주문량 : IF THEN ELSE 함수로 조건이 맞을 경우에 사건이 발생하도록 통제

IF THEN ELSE((재고량-일일판매량) >= 재주문점 :OR: 미도착주문량>0, 0 , 고정주문량)

※ 재고량 - 일일판매량 : 모델 구조에서 재고량은 일초재고량, 판매 발생 후의 일말재고량을 파악할 수 있음

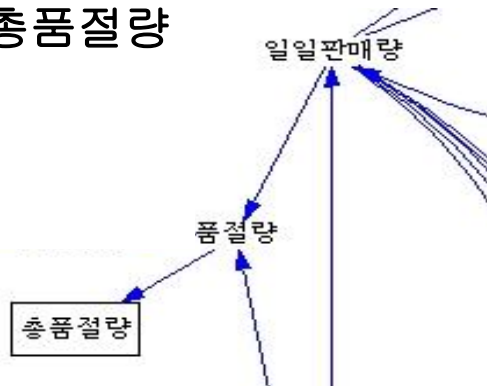


※ (일초) 재고량이 수요에 따라 하강하다가,
(일말) 재고량이 재주문점보다 낮아지면 주문이 이산적으로 발생함을 확인

재고관리 시스템의 이산모형

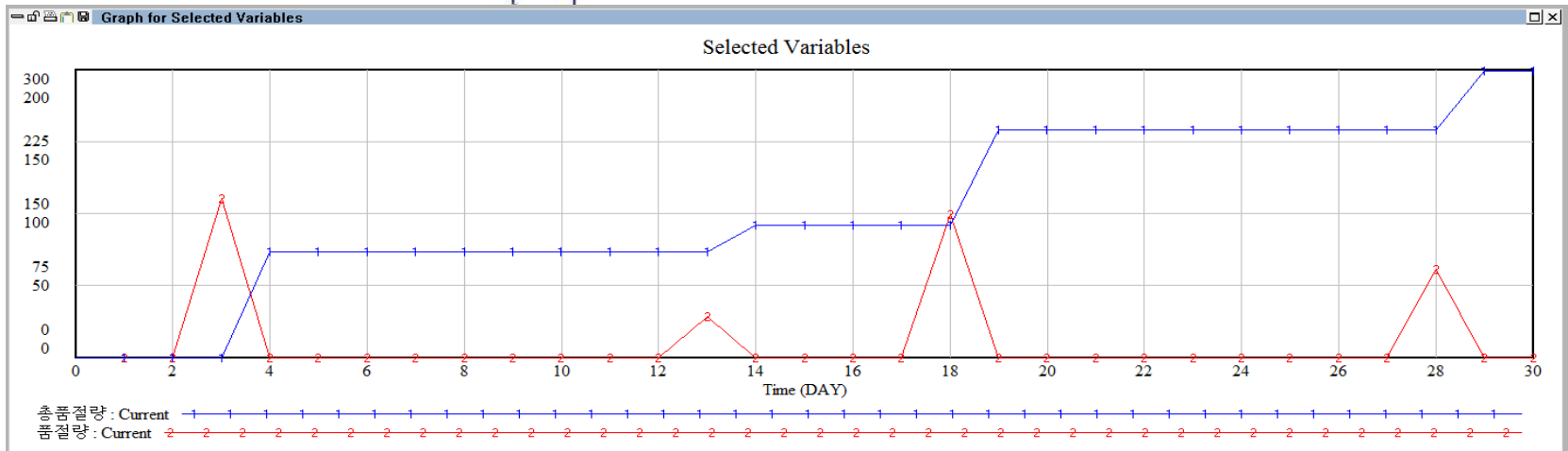
■ 미사용 변수의 처리 및 모의 결과

◆ 품질량과 총품질량



Edit: 총품질량

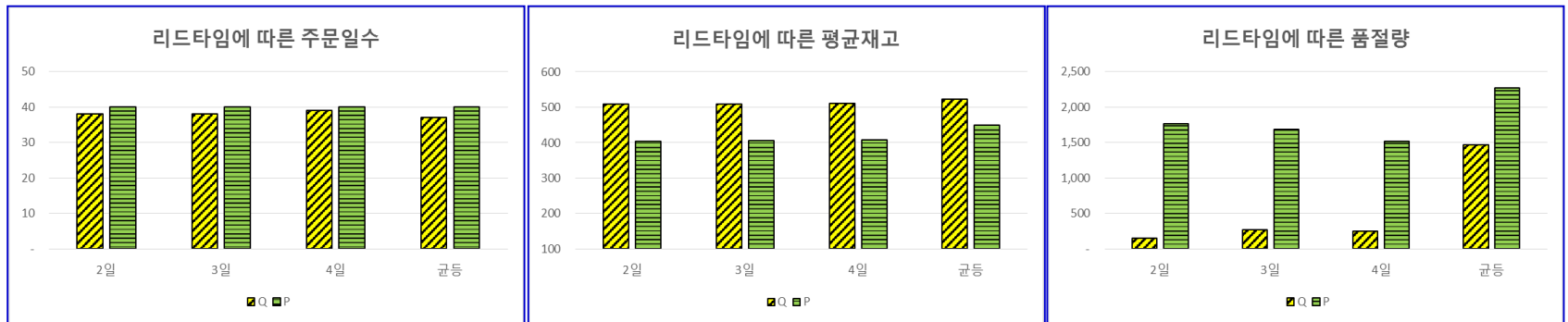
Variable Information	
Name	총품질량
Type	Level
Sub-Type	
Units	EA
Check Units	☒ Supplementary
Group	.qrs5nf단위맞춤
Min	
Max	
Equations: 품질량	
Initial Value	0



※ 품질량(보조변수)의 이산적 발생 → 총품질량(저장변수)의 이산적 누적
: 특정 주기의 보조변수 변화는 다음 주기의 저장변수에 영향을 줌

재고관리 시스템의 이산모형

■ 모의 결과의 통계적 분석 예 (리드타임 변동에 따른 분석)



○ 주문일수 : $Q < P$, 평균재고 : $Q > P$, 품절량 : $Q < P$

∴ Q : 지속적인 재고관찰로 주문간격을 조정함으로써 주문일수 최소화

P : 주문간격을 고정시키고 주문량 최소화

○ 리드타임 증가, 변동에 따른 주문일수 변화 거의 없음

○ 리드타임 증가시 평균재고 증가, 품절량 감소

리드타임 변동(균등분포)시 평균재고는 많으면서 품절량도 많음

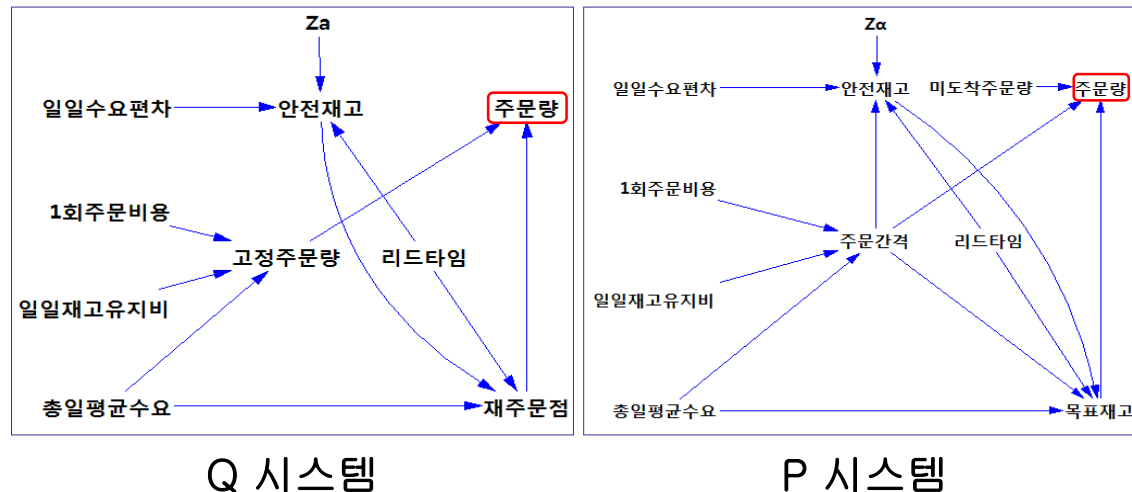
⇒ 재고유지비를 고려하여 재고정책 선택

리드타임 감소보다는 변동 감소(고정화)를 위한 노력 필요

고객 서비스 측면 고려시 Q 시스템 선택

재고관리 시스템의 이산모형

■ 정책지렛대의 발견

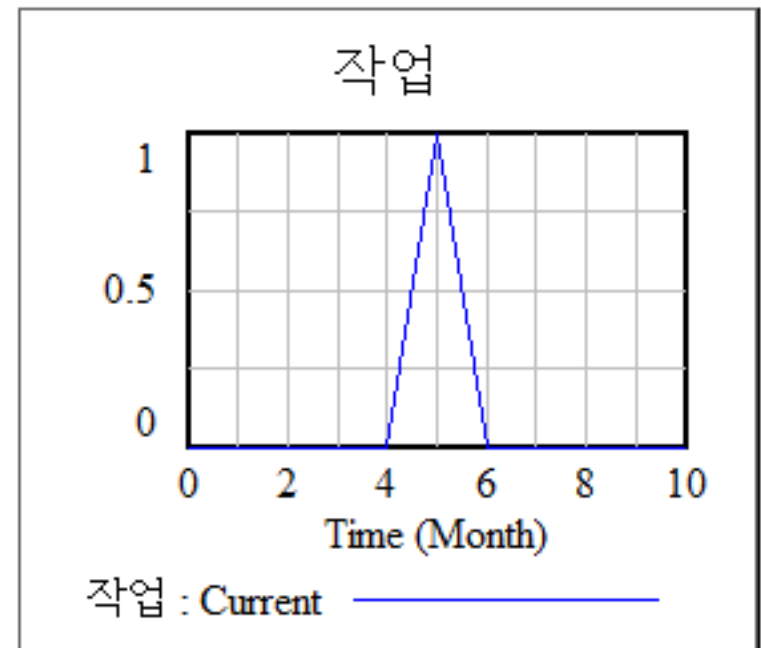
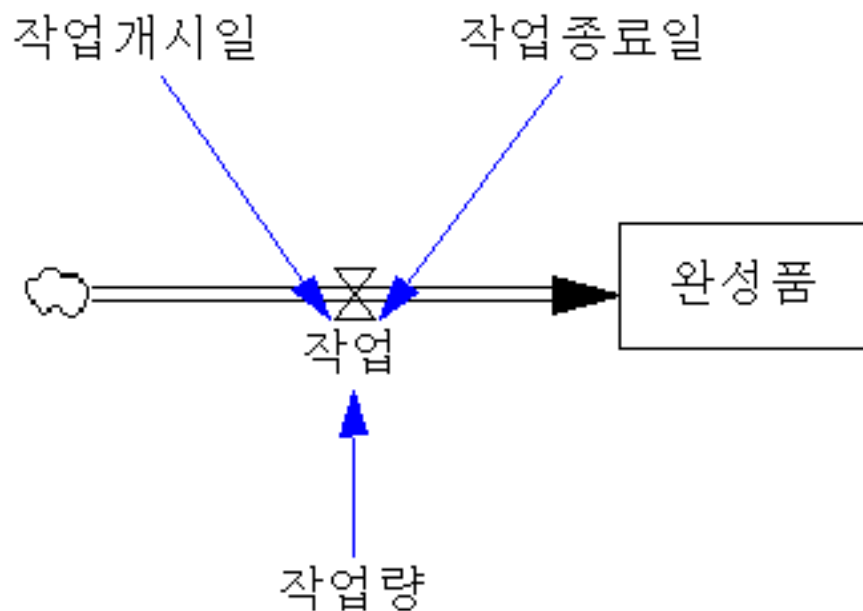


※ 시간지연이 있는 음의 피드백 구조로 인해 진동하는 행태를 가진 시스템의 경우 완충장치 (Buffer Device)가 정책지렛대가 될 수 있음. 서혁과 이상은(2009)

- 정책지렛대 ① : 비용(1회주문비용, 일일재고유지비 등)의 감소 → 고정주문량, 주문간격, 목표재고의 감소 → 주문량의 감소 → **재고 변동(진폭) 감소** → 경영의 효율성 증대
- 정책지렛대 ② : 리드타임 조정 (단축 또는 변동 감소 등) → 재주문점, 목표재고, 주문량의 감소 → **재고 변동 (진폭) 감소** → 경영의 효율성 증대

이산 사건 모의 기타 방법

■ STEP, PULSE



작업=STEP(작업량, 작업개시일) - STEP(작업량, 작업종료일)

작업=작업량 * PULSE(작업개시일, 작업종료일-작업개시일)



성과 및 발전 방향

■ 이산형 모의의 가능성 및 유용성 확인

이산 사건을 보조변수와 저장변수로 구현함이 적합함을 확인

피드백 구조를 형성하지 않아도 인과 관계 규명 및 활용 가능

⇒ 이산 사건의 속성을 이해하여 이에 적합한 수식 개발

■ VENSIM (PLE) 의 Modeling Tool로서의 유용성 확인

미사용 변수의 적용, 모의 결과의 통계적 분석의 유용성 확인

TIME STEP : 하나의 시간마디 안에서의 변수의 변동 관계 이해 필요

⇒ 다양한 모형 구축의 수단으로서 활용 확대

이산 사건 모의에 대한 관심 확대, VENSIM의 활용성 증대 노력



[참고 문헌]

- ◆ 서혁, 이상은 (2009), “시스템 사고를 이용한 국방 사업분석 레버리지 전략,” 한국시스템다이내믹스연구, 제10권, 제1호, 77-95.
- ◆ 조광현, 임종태 (2000), “이산사건 모델링 및 관리제어 이론”, 제어 자동화 시스템공학회지, 제6권, 제3호, 68-81.
- ◆ Angerhofer, B. J. and M. C. Angelides (2000), “Research review; System dynamics modelling in supply chain management,” Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter. IEEE, 342-351.
- ◆ 김기찬 등 (2007), Vensim 을 활용한 System Dynamics, 서울경제경영출판사.
- ◆ 김도훈, 문태훈, 김동환 (2001), 시스템 다이내믹스, 대영문화사.
- ◆ 이상범, 류춘호 (2011), 현대 생산.운영관리 제3판, 명경사.
- ◆ Sterman, J. D. (2000), “Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world,” Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- ◆ Law, A. M. and W. D. Kelton (1991), “Simulation modeling and analysis,” New York: McGraw-Hill.
- ◆ Carvalho, M. and L. Luna (2002), Discrete and Continuous Simulation. PAD 824 – Advanced Topics in System Dynamics. Fall 2002. Available from: http://www.albany.edu/cpr/sdgroup/pad824/Discrete_and_Continuous_Simulation.ppt, 2014.11.15. 검색
- ◆ Heyl, J. (2010), Inventory Management. For Operations Management, 9e by Krajewski/Ritzman/Malhotra © 2010 Pearson Education. Available from: http://www.drkresearch.org/resources/krajewski_om9_ppt_12.ppt, 2014.11.19. 검색
- ◆ VENTANA Systems. What is the difference between discrete and continuous?. [online]. Ventana Systems, Inc. ©2014. Available from: <http://vensim.com/?s=discrete&x=0&y=0>, 2014.10.11. 검색



2015 시스템다이내믹스 동계학술대회

감 사 합 니 다