

시스템 다이내믹 모델링에 의한
연속 시뮬레이션 전투모델링 방법
-합동전장 교전 프로토타입 모델을 중심으로-
(Modeling Method of Continuous Combat
Simulation on the basis of System
Dynamic Modeling)

유진현, 최상영*

Abstract

In this paper, we proposed a modeling method of continuous combat simulation by using VENSIM. VENSIM is a CASE tool for developing continuous simulation. It provides a simple and flexible way of building simulation models from causal loop or influence diagram. As a case model, we developed "a prototype model of battle" incorporating infantry, artillery, air defense weapon, aircraft, and guerrilla engagement

* 국방대학원

1. 서 론

전투모델 혹은 워게임은 오늘날 컴퓨터 기술, 모델링 기술 등의 발전으로 현실모사를 더욱 상세하고 정확하게 할 수 있어서 미래 군 구조개선, 부대훈련, 부대임무 및 전투력 평가, 주요 무기체계 평가 등 여러 분야에 활용될 전망이다.

전투를 모델링하는 하는 데에는 여러 가지 방법 [1]이 있으나 시물레이션에 의한 모델링이 많이 사용되고 있다. 시물레이션에서 시간 경과에 따른 시스템 상태변수의 표현시점에 따라 연속 시물레이션 혹은 이산사건 시물레이션으로 구분한다. 연속 시물레이션 모델에서 시스템의 상태는 연속시간에 따라 변한다. 반면에, 이산사건 시물레이션에서는 시물레이션 시간경과 동안에 어떤 이산시점에서 시스템의 상태가 변하고, 오직 이 점에서 상태변수 값이 변한다. 이러한 특성으로 연속 시물레이션은 미분 방정식과 같이 수식으로 표현될 수 있지만 이산사건 시물레이션은 복잡한 컴퓨터 논리로 표현되어야 한다. 그래서 규모가 큰 전투 모델링에서는 연속 시물레이션을 주로 사용하고 있다.

연속 시물레이션에 의한 전투 모델링으로 관체스타 모델이 대표적이다.[1] 이 모델은 미분방정식에 근거를 두고 있으며, 대규모 전투 모델을 개발하는데 많이 사용하고 있다. 그런데 지금까지 전투 모델링을 하는 데에는 모의 대상으로부터 직접 미분방정식으로 수식화함으로써 모의 대상의 전투과정과 방정식간의 의미적 차이가 발생하여 모델개발에 어려움이 있어 왔다. 이를 극복하기 위해서 시물레이션을 개발할 때 가시적 모델링 도구를 사용하여 시스템을 명확히 표현할 수 있다면 시물레이션 개발자가 시스템에 대한 분석을 용이하게 할 수 있고 자연스

럽게 미분방정식으로 구현할 수 있을 것이다. 여기서 가시적 도구로 시스템 다이내믹 모델을 고려할 수 있다. 시스템 다이내믹 모델은 연속 시물레이션을 위한 가시적 모델링 도구를 제공하고, 이를 이용하여 연속 시물레이션 모델링을 할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 시스템 다이내믹 모델을 사용하여 전투 모델링하는 방법을 제시하고 시스템 다이내믹 모델링 및 구현 CASE 도구인 VENSIM 소프트웨어를 사용하여 합동전장 교전 프로토타입 모델의 개발 예를 보임으로써 차후 워게임 개발 시에 활용될 수 있도록 하는데 있다. 이를 위하여 본 연구의 구성은 2절에서 연속 시물레이션 모델 개발을 위한 시스템 다이내믹 모델링 방법에 대하여 개괄하고 제 3절에서는 시스템 다이내믹 모델링 CASE Tool인 VENSIM을 소개한다. 제 4절에서는 시스템 다이내믹 모델링에 기반을 둔 합동전장 교전모의 프로토타입 모델 개발 예를 보인다. 그리고 마지막으로 결론을 맺도록 한다.

2. 시스템 다이내믹 모델링

2.1 시스템 다이내믹 모델링 개요

시스템 다이내믹 모델은 연속 시물레이션 모델링에서 대표적으로 사용되는 모델링 도구이다. 시스템 다이내믹 분야는 경영과학의 한 분야로서 관리 시스템에 제어이론을 도입한 것이다. 이 분야는 1950년대 MIT기술연구소의 Jay Forrester에 의해 비롯되었고 그 후 많은 연구가 되었다.[2] 시스템 다이내믹에서는 시스템의 상태전이는 흐름과 축적과정으로 이루어진다는 식으로 파악한다. 흐름은 수학적으로

단위시간에 이동하는 양을 나타내고 이 결과로 인해 생기는 것을 축적이라 한다. 따라서 흐름의 비율이 변함에 따라 이와 관련된 축적이 변하고, 축적의 변화는 또 다른 축적과정에 변화를 주게 되며 시스템은 흐름 - 축적 - 흐름 - 축적 ...으로 이루어지는 연쇄적 고리를 형성하게 된다. 이러한 과정에서 흐름은 쉽게 확인될 수 없지만 축적은 비교적 용이하게 식별될 수 있는 특징을 지닌다. 따라서 축적은 시스템 과정을 통제하는 지표가 되며 이것에 따라 흐름을 통제하게 된다.

2.2 시스템 다이내믹 모델링 변수

시스템 다이내믹에서 고려되는 기본 변수에는 레벨변수, 흐름변수, 보조변수, 상수, 그리고 데이터가 있다. 레벨변수는 연속 시뮬레이션에서 시간 경과에 따른 어떤 값들의 레벨이고 수학적 용어로 레벨(Level)변수라고 한다. (통제 이론에서는 상태변수(State Variable)라고도 한다.) 임의 시간 t에서 레벨 변수는 다음과 같이 표현된다.

$$level_t = \int_0^t rates_t dt, \quad \frac{d}{dt} level_t = rates_t$$

흐름 변수는 연속 시뮬레이션에서 어떤 값에 대한 변화율을 나타내며 이를 비율변수라고 한다. 그래서 연속 시뮬레이션 시스템은 임의 시간에 레벨 변수와 비율변수로 묘사될 수 있고 시스템의 상태도 레벨변수로 표시 가능하다. 임의 시간 t에서 비율변수는 $rates = g(level, auxiliaries, data, constant)$ 로 표시된다. 여기서 g는 비선형 함수이다. 비율변수는 시스템에 즉시 영향을 미치지 않고 임의 시간이 경과한 후에 나타날 수 있다. 이 경우에는 지연효과를 지닐 수도 있다. 보조(auxiliaries)변수는 레벨변수도

아니고 비율변수도 아닌 변수를 나타내고 역시 $auxiliaries = f(level, auxiliaries, data, constant)$ 로 표시된다. 여기서 f도 비선형 함수이다. 예를 들어 서로 다른 레벨변수 사이의 차이를 나타낼 때 보조변수를 사용할 수 있다. 상수는 시뮬레이션 시간에 따라 값이 변하지 않는다. 그러나 데이터는 시간에 따라 변하는데 다른 변수들과는 독립적이다.

2.3 영향도 표시

영향도(Influence diagram)는 시스템 다이내믹 모델을 가시적으로 나타내는 그래픽 도구이다. 영향도를 레벨-비율도(Level-Rate Diagram) 혹은 인과루프도(Causal-Loop Diagram)이라고도 한다. 영향도는 단순히 노드(Node)와 아크(Arcs)로 구성되어 있다. 노드는 레벨변수, 흐름변수, 보조변수, 상수, 혹은 데이터를 표시하고, 아크는 두개의 노드를 상호 연결하여 상호관계를 표시한다. 어떤 아크가 A노드에서 시작하여 B노드로 연결될 때는 A노드에 있는 변수가 B노드에 있는 변수에 영향을 미친다는 의미이고, 반대로 B노드에서 A노드로 연결될 때는 B노드에 있는 변수가 A노드에 있는 변수에 영향을 미친다는 의미이다. 여기서 일반적으로 아크가 시작되는 부분을 꼬리부분이라고 하고 끝나는 부분을 머리부분이라고 한다. 그리고 아크의 머리부분에 화살표를 표시하고 “+”, 혹은 “-”를 표시를 추가하여 구체적인 관계를 표시한다. 아크 꼬리 변수의 값과 머리 변수의 값이 같은 방향으로 변할 때 즉, 꼬리 변수 값이 감소하면 머리 변수 값이 감소하고, 혹은 꼬리 변수 값이 증가하면 머리 변수 값이 증가할 때, 이때는 화살표 머리 부분에 “+”를 표시한다. 그렇지 않고 화살표의 머리 변수 값이 꼬리 변수 값과

서로 다른 방향으로 변할 때는 “-”로 표시한다.

대부분의 영향도에서 아크가 폐루프를 형성하는 환류루프(Feedback Loop)를 식별할 수 있다. 환류루프는 임의 노드에서 출발하여 아크의 방향을 따라 진행하면서 중간 노드를 다시 지나지 않고 시작노드로 되돌아 폐루프가 형성되는 경우인데, 이러한 환류루프는 극성(“+” 혹은 “-”)을 가지며 환류루프를 이루고 있는 레벨변수와 비율변수와 관련하여 의미를 지니게 된다. 만약 루프상에서 아크 머리에 “-” 인 아크의 개수가 짝수 혹은 0일 경우는 극성이 “+” 이고, 홀수이면 극성이 “-” 가 된다. 극성이 “+” 인 경우는 성장추구형 루프(“+” 루프)라고 하고, 극성이 “-” 경우는 목표추구형 루프(“-”루프)라고 한다.[2] 성장추구형 루프인 경우에는 어느 한 노드 값을 증가시키면 루프상의 노드들은 같이 증가한다. 반대로 감소시키면 따라서 감소한다. 그래서 바람직하지 않은 행위를 강화한다면 불리한 루프가 되고, 바람직한 행위를 강화한다면 유리한 루프가 된다. 반면에 목표추구형 루프인 경우에는 임의 변수에 대한 변화가 다른 변수들에 대한 변화를 균등화시키는 특성이 있기 때문에 통제기능이 존재한다. 이는 목표추구형 루프 경로 상에 있는 비율을 조정하여 축적을 요구수준으로 통제할 수 있음을 의미한다.

2.4 영향도 작성 규칙 및 방법

영향도를 작성하는 데에는 다음과 같은 규칙을 따른다.

- 레벨변수는 비율변수의 적분으로 나타내기 때문에 영향도의 연속적 루프에 비율변수가 레벨변수보다 먼저 위치한다.

- 레벨변수는 비율변수 혹은 보조변수를 파생시키므로, 비율변수 혹은 보조변수가 레벨변수 다음에 위치 할 수도 있다.

- 보조변수는 다른 보조변수 혹은 비율변수 다음에 위치할 수 있다.

- 레벨변수와 레벨변수는 직접 연결될 수 없으며 그 사이에 적어도 1개 이상의 비율변수 혹은 보조변수가 있다.

- 단일 영향도는 적어도 각각 1개 이상의 레벨변수와 비율변수를 포함하고 있다.

영향도 작성방법에는 모듈화 작성방법과 열거 확장법이 있다.[3] 모듈화 방법은 시스템을 묘사하는 데에는 공통부분이 있다는 가정을 전제하고, 시스템을 이루고 있는 개체를 정의한다. 그리고 개체가 가질 수 있는 상태를 정의하고, 조건과 상태전이를 식별한 후에 모듈화 하여 도식화한다. 확장법은 가장 중요한 변수에서 시작하여 영향도를 확장해 나가는 방법이다.

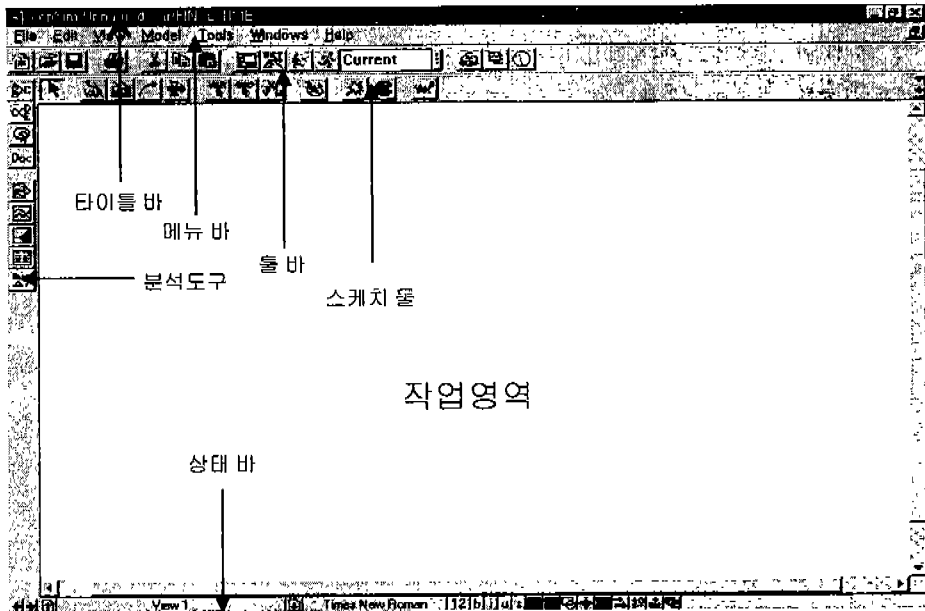
3. 연속 시뮬레이션 개발환경과 VENSIM 개요

연속 시뮬레이션 개발환경은 연속 시뮬레이션을 위한 그래픽 모델을 지원하고 시뮬레이션 수치계산을 할 수 있게 해 주어야 한다. 예를 들어 DYNAMO, STELLA, COSMIC, VENSIM 등이 시스템 다이내믹 모델로 연속 시뮬레이션을 지원할 수 있는 특수 소프트웨어 패키지이다. 그리고 범용 시뮬레이션 소프트웨어인 SLAM, GASPIV 등도 연속 시뮬레이션을 지원하고 있다. 그런데 이러한 패키지를 사용하지 않고 사용자가 고급 언어, 예를 들어 FORTRAN사용하여 모델링하고 해를 구할 수도

있다.

특히 VENSIM[6,7,8]은 동적 시스템(Dynamic System)에 대한 연속 시뮬레이션 개발을 지원하는 소프트웨어로서 VUI(VENSIM User Interface)를 제공하여 시뮬레이션 개발자에게 친숙한 그래픽 사용자 인터페이스를 제공한다. 연속 시뮬레이션 개발자가 VUI 작업영역에 대상 시스템을 영향도를 사용하여 가시적으로 모델링하여 나타내면, VENSIM은 자동적으로 시뮬레이션 프로그램으로 전환시켜 실행코드로 전환시킨 후에, 연속 시뮬레이션을 실행하고 그 결과도 화면에 전시해 준다. 그래서 VENSIM은 동적 시스템의 연속 시뮬레이션에 대한 모델링 과정, 시뮬레이션 과정, 그리고 시뮬레이션 결과분석 단계까지 그래픽으로 지원해 줌으로써 사용자에게 친숙한 연속 시뮬레이션 개발환경을 제공한다.

3.1 그래픽 도구 사용



<그림 1> VUI(VENSIM User Interface)

VUI(VENSIM User Interface)는 시뮬레이션 개발자에게 연속 시뮬레이션에 대한 모델링 과정, 시뮬레이션 과정, 그리고 시뮬레이션 결과분석 단계까지 친숙하게 할 수 있도록 그래픽 사용자 인터페이스를 제공한다. VENSIM의 주화면은 아래 그림과 같이 타이틀 바(Title Bar), 메뉴 바(Menu Bar), 툴바(Tool Bar), 분석툴(Analysis Tools), 스케치툴(Sketch Tools), 상태바(Status Bars)를 포함하고 있다.

타이틀 바는 현재 작업영역에 열려있는 모델명과 활성화된 변수를 나타낸다. 이 변수는 모델에 있는 변수 중 하나이며 부가적인 정보를 얻기 위해 선택한 변수이다.

메뉴 바는 그래픽 모델링 단계부터 실행 및 결과분석 단계까지 전 기능을 지원할 수 있는 메뉴를 제공한다.

툴바는 사용자가 자주 사용하는 메뉴를 그래픽 버튼으로 제공하여 사용자가 편리하게 선택하여 관련 기능을 제공받도록 하고 있다. 투바에는 기본적인 기능인 모델을 불러오고, 저장하고, 출력하는 기능을 제공하며, 계입을 선택하고, 실행하는 버튼을 포함한다.

스케치 도구는 사용자가 작업영역에서 그래픽 모델링을 할 때 선택할 수 있는 그래픽 도구와 이를 선택, 수정, 해제, 그리고 방정식 등을 지원할 수 있는 버튼을 제공한다. 여기서 그래픽 도구는 연속 시물레이션 그래픽 모델링을 위한 도구를 의미한다. 이들 그래픽 도구는 레벨변수, 비율변수, 보조 및 기타 변수 등을 나타낼 수 있다.

분석도구는 시물레이션 결과를 전시해주는 역할을 한다. 이를 위해서 작업영역에 있는 그래픽 변수를 마우스로 더블 클릭하여 활성화시킨 다음(이때 선택된 그래픽 변수는 타이틀 바에 나타난다.) 분석도구에서 관련 버튼을 선택하면 정보 결과가 나타난다.

상태바는 스케치와 객체의 상태(글씨체, 크기, 색, 극성, 화살표의 종류 및 크기 등)를 나타내고, 선택된 객체의 상태를 변화시키고 다른 뷰로 전환하는 버튼을 포함한다.

3.2 그래픽 모델링

VENSIM 모델링은 작업영역에 그래픽 툴을 이용하여 그래픽으로 정보를 입력함으로써 구축되어지며 변수상호간 인과관계에 의해 모델을 생성한다. 그래픽 모델링 순서는 먼저 메뉴바의 New버튼을 눌러서 시물레이션 기간과 단위를 입력한다. 이어서 Box Variable버튼과 Variable버튼을 이용하여 레벨변수와 보조변수,

기타 상수의 변수명을 입력한다. 흐름변수는 Rates버튼을 이용하여 변수명을 입력하고 관련된 레벨변수를 상호 연결한다. 아크는 Arrow버튼을 이용해서 변수들을 이어준다.

3.3 시물레이션 모델변수 입력

그래픽 모델링이 끝나면 시물레이션을 위해서 각각의 변수들의 관계를 묘사하는 방정식을 입력해야 한다. 방정식은 다른 변수들간의 인과관계를 단순한 수학적 표현으로 나타낸 것이다. 예를 들면

$$\text{청군손실률} = \text{홍군살상확률} * \text{홍군사격률} / \text{홍군사격단위}$$

이러한 방정식을 입력하려면 Sketch Tools 중에서 Equation 버튼을 선택하면 방정식이 입력되지 않는 변수들의 바탕색이 검은 색으로 변하게 되며 변수를 하나씩 선택하여 방정식과 각종 자료를 입력한다. 이때 단위가 부정확하면 Model Check 단계에서 에러가 발생하므로 전후 변수와의 관계를 고려하여 정확하게 입력해야 한다.

3.4 시물레이션 Primitive변환 및 실행

시물레이션 Primitive 변환이란 그래픽 시물레이션 모델을 VENSIM 시물레이션 언어로 변환시키는 과정이다. VENSIM TOOL은 그래픽 모델을 VENSIM 시물레이션 언어로 변환시킬 수 있다. 이 과정은 사용자가 별도로 선택하지 않아도 시물레이션 실행시 자동으로 이루어진다. 필요시 텍스트로 된 모델을 얻고자 한다면 메뉴바의 View에서 As Text를 선택하면 텍스트 모델 창이 나타난다. 텍스트 모델 창에는 각 변수의 방정

식과 단위 그리고 시물레이션 시간 등이 모두 나타나있다.

3.5 결과 전시

시물레이션의 결과는 지정된 시물레이션 파일로 저장되며, 각각의 변수값의 시간에 따른 변화량을 그래프와 텍스트로 전시할 수 있다. 시물레이션의 전체 시간과 시간 간격은 필요에 따라 수정이 가능하며 그래프의 형태도 분석도에 따라 여러 가지로 나타낼 수 있다. 분석도구를 이용하여 그래프로 전시하는 방법에는 선택한 변수만 그래프로 나타내는 것과 선택한 변수에 직접 영향을 미치는 변수를 함께 그래프로 나타내는 방법이 있다.

4. 합동전장 교전모의 프로토타입 모델 개발

4.1 모의 범위

합동전장 교전을 모의하기 위하여 아래를 가정한다.

- 청군과 홍군의 교전부대는 각각 보병부대, 포병부대, 비정규전부대, 근접항공지원부대, 방공포병부대로 구성되어 있다. 홍군은 공격하고 청군은 방어를 실시한다.

- 보병부대는 점적부대와 예비부대로 구분된다. 점적부대는 상대방과 점적상태에서 피해를 준다. 교전이 진행되는 동안에 홍군의 예비부대는 일정한 비율로 교전부대로 병력을 투입하지만 청군의 투입률은 홍군의 전진거리와 속도에 따라 조정된다.

- 포병부대는 상대방의 교전부대에 피해를 줌으로

써 간접 지원한다. 비정규전부대는 상대방의 예비부대에 대하여 공격한다. 그리고 근접항공지원부대는 상대방의 점적부대에 살상을 가함으로써 근접지원한다. 한편, 방공포병부대는 상대방의 근접항공지원부대를 제압하거나 임무수행을 방해한다.

- 각 부대의 살상률은 살상확률과 평균살상시간에 만 의존한다

4.2 모델링

보병부대, 포병부대, 비정규전부대, 항공지원 그리고 방공포병부대로 구성된 양개 부대가 상호교전을 실시하면서 상대 부대에 대해 살상을 가함으로써 전투력이 감소되는 상황을 VENSIM 환경에서 영향도를 사용하여 모델링하였다. 모델링 순서는 1) 모델 변수를 정의한다. 각각의 부대들은 레벨변수로 식별하고 각 부대의 크기에 영향을 미치는 요소인 살상률과 투입률을 보조변수로 그리고 나머지 값들을 상수로 정의한다. 2) VENSIM 작업영역에서 변수들간의 동적 관계를 영향도로 작성한다. 3) 작성된 영향도를 바탕으로 VENSIM 언어를 사용하여 미분방정식 형태로 모델링한다. 구체적인 방법은 참고문헌[5]에 있다.

여기서 모델링 방법은 확장법을 사용한다. 즉, 최초에는 점적부대와 예비부대를 중심으로 모델링한 다음, 이를 중심으로 부대 공격과 방어에 따른 투입, 비정규전 부대, 항공/방공, 포병부대 순서로 확장해 가면서 모델링 한다.

4.2.1 점적 및 예비부대

점적부대 교전에서 레벨변수에는 점적부대와 예비부대 그리고 손실인원이 있다. 전투력의 흐름을 제어하는 비율변수에는 투입률과 피해율이 있다. 보조

변수에는 살상률이 있으며 나머지는 상수이다.

접적부대 교전 영향도는 다음 <그림 2>와 같이 도식화 된다.

여기서 대모상자는 레벨변수를 나타내고, 이중 화살표는 비율을 나타낸다. 나머지 텍스트는 보조변수와 상수이다.

이 영향도를 기반으로 VENSIM 언어를 사용하여 미분방정식으로 나타낸다. 그런데 VENSIM 언어는 컴퓨터 언어이기 때문에 독자의 이해를 편리하기 위해서 일반 방정식으로 표현하기로 한다. 먼저 레벨 변수인 청군/홍군 접적부대의 시간에 따른 변화량을 방정식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$db_e / dt = -\rho_r * r_e + \gamma_b \quad (1)$$

$$dr_e / dt = -\rho_b * b_e + \gamma_r \quad (2)$$

여기서,

b_e : 청군접적부대 r_e : 홍군접적부대

ρ_b : 청군살상률 ρ_r : 홍군살상률

γ_b : 청군투입률 γ_r : 홍군투입률

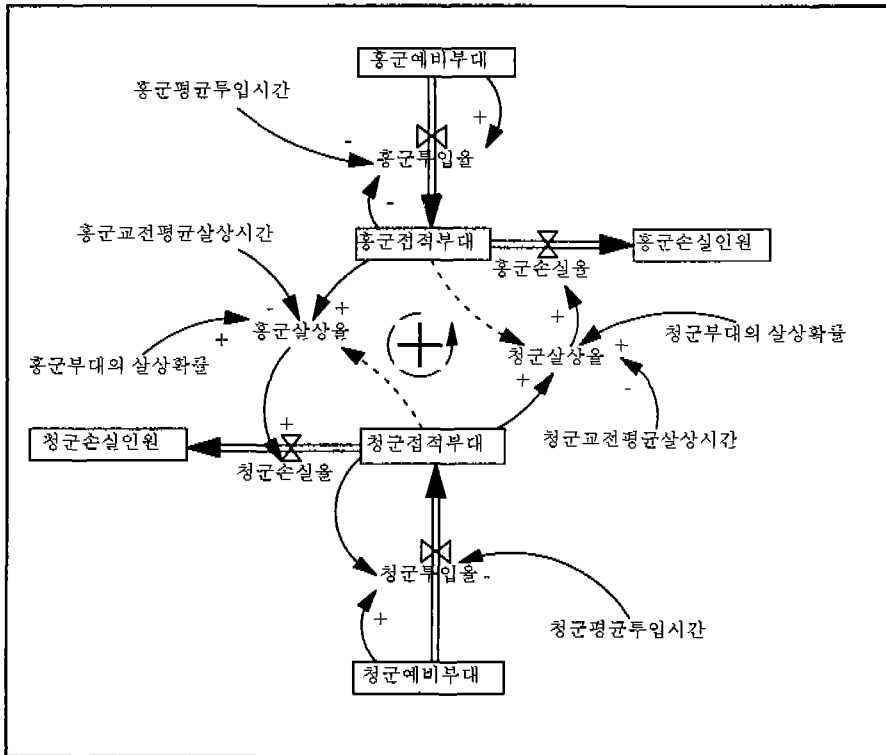
즉, 청군접적부대의 시간당 변화량은 (1)식에서와 같이 홍군 접적부대의 규모와 살상률에 따라 감소하고 청군투입률에 따라 증가하는 것을 나타낸다. 위 식 (1), (2)에서 살상률은 부대의 평균살상시간당 명중확률을 나타내며, 투입률은 예비부대의 규모에 비례하고 평균투입시간에 반비례한다. 이들을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\rho_b = P_b / T_{be} \quad (3)$$

$$\rho_r = P_r / T_{re} \quad (4)$$

$$\gamma_b = b_r / T_{br} \quad (5)$$

$$\gamma_r = r_r / T_{rr} \quad (6)$$



<그림 2> 접적 및 예비부대 교전에 대한 영향도

여기서,

- P_b : 청군부대의 살상확률
- P_r : 홍군부대의 살상확률
- T_{be} : 청군 교전평균살상시간
- T_{re} : 홍군 교전평균살상시간
- b_r : 청군예비부대
- r_r : 홍군예비부대
- T_{br} : 청군 평균투입시간
- T_{rr} : 홍군 평균투입시간

여기서 (3), (4)식의 우항은 표적을 제압하는데 요구되는 평균발사탄수가 각각 $1/P_b$, $1/P_r$ 이므로 [2] 청군살상률은 P_b/T_{be} 이고, 홍군살상률은 P_r/T_{re} 이다. 그런데 실제 모델 분석시에는 ρ_b , ρ_r 을 전투자료를 통해서 얻는 것이 더욱 현실적일 수 있다.

4.2.2 부대공방 및 청군 투입

위 모델에서 청군의 투입률을 중심으로 더욱 확장

하기로 하자. 가정에서 청군의 투입률은 홍군의 전진거리와 속도에 따라 조정된다고 했으므로, 투입률에 영향을 주는 보조변수는 홍군전진거리, 전력비율 등이다. 이를 영향도로 나타내면 <그림 3>과 같다.

<그림 3>에서 괄호 안의 변수는 앞에서 모델링된 변수를 나타낸다. 이 영향도에서 전력비율은 홍군접적부대와 청군접적부대의 비율에 의해 결정되고 전력비율은 홍군접적부대의 전진거리에 영향을 미친다. 그리고 홍군의 전진거리는 전진거리비율을 결정하고 이것은 다시 청군의 투입률에 영향을 미치게 된다. VENSIM 언어 대체방정식으로 표시하면 다음과 같다.

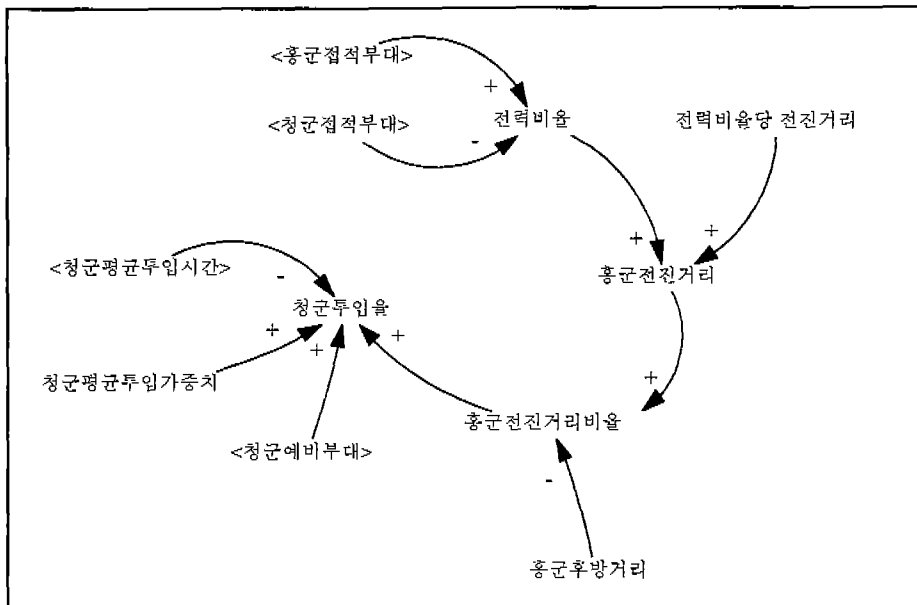
$$\eta = dr_e / db_e \quad (7)$$

$$d_r = \eta * d_r, \quad \tau_r = d_r / d_0 \quad (8)$$

$$\gamma_b = b_r / T_{br} + \tau_r * \varepsilon_r \quad (9)$$

여기서,

η : 전력비율



<그림 3> 부대공방 및 전진에 대한 영향도

d_r : 전력비율당 홍군전진거리

r_r : 홍군전진비율

d_f : 홍군전진거리 d_0 : 홍군후방거리

ϵ_r : 청군추가투입 가중치

위의 식(9)의 γ_b 는 식(5)에서 부대공방에 따른 청군 투입률을 고려하여 확장된 것이다.

4.2.3 비정규전부대

비정규전부대는 상대방의 예비부대에 대하여 공격하여 살상을 입힌다. 모델링 변수로는 비정규전부대 살상률이라는 보조변수와 이에 영향을 미치는 살상시간과 살상확률이라는 상수, 그리고 비정규전부대 규모가 된다. 이를 영향도로 나타내면 <그림 4>와 같다.

여기서 비정규전부대의 활동으로 예비부대의 투입률이 감소된다. 즉, 홍군비정규전부대의 살상률은 청군 예비부대를 감소시키고 그 결과 청군의 투입률

자체를 감소시키는 효과를 나타낸다. 이 영향도는 다음과 같은 방정식으로 표시된다.

$$\beta_b = b_g \cdot P_{bg} / T_{bg} \quad (10)$$

$$\beta_r = r_g \cdot P_{rg} / T_{rg} \quad (11)$$

$$db_r / d_k = -\beta_r - \gamma_b \quad (12)$$

$$dr_r / d_k = -\beta_b - \gamma_r \quad (13)$$

여기서,

b_g : 청군비정규전부대

β_b : 청군비정규전부대 살상률

T_{bg} : 청군비정규전부대 살상시간

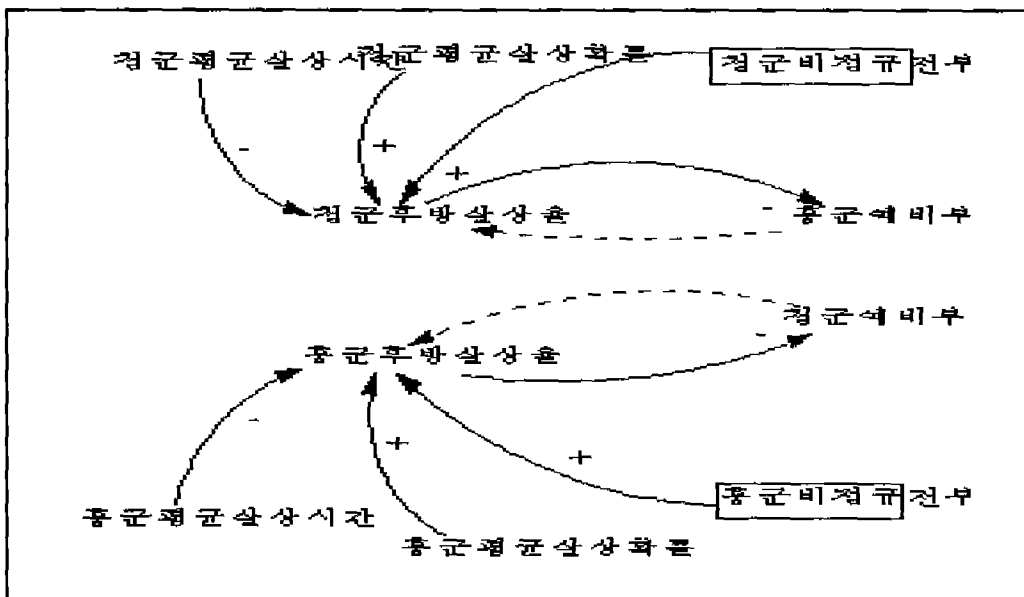
P_{bg} : 청군비정규전부대 살상확률

r_g : 홍군비정규전부대부대

β_r : 홍군비정규전부대 살상률

T_{rg} : 홍군비정규전부대 살상시간

P_{rg} : 홍군비정규전부대 살상확률



<그림 4> 비정규전부대 영향도

접적부대 교전시 예비부대 규모의 감소는 접적부대로의 투입률에 의해서만 이루어졌지만 식(12)와 식(13)은 예비부대의 시간당 변화량으로서 비정규전 부대의 살상률에 의해서도 예비부대의 규모가 감소되도록 확장되어 모델링된 것이다.

4.2.4 항공 / 방공부대

근접항공지원 부대는 상대방의 접적부대에 살상을 가하고, 방공포병부대는 상대방의 근접항공지원 부대를 제압한다. 이를 위한 모델링 보조변수는 항공 살상률, 방공살상률이 있으며, 상수는 살상확률 및 살상시간이 있다.

이를 영향도로 나타내면 <그림 5>와 같다. 이 영향도에서 홍군의 항공부대는 청군의 교전부대에 피해를 입히고 청군의 항공부대는 홍군교전부대에 피해를 입힌다. 또한 청군의 방공부대는 홍군의 항공부대에 영향을 미쳐 항공부대 전투력을 저하시킨다.

이 영향도는 다음 식으로 표시된다.

$$db_c / dt = -\rho_r * r_c + \gamma_b - \delta_r * r_a \quad (14)$$

$$\delta_r = P_{ra} / T_{ra} \quad (15)$$

$$dr_e / dt = -\rho_b * b_e + \gamma_r - \delta_b * b_a \quad (16)$$

$$\delta_b = P_{ba} / T_{ba} \quad (17)$$

$$dr_a / dt = -\lambda_b * b_s \quad (18)$$

$$\lambda_b = P_{bs} / T_{bs} \quad (19)$$

여기서,

b_a : 청군근접항공부대

r_a : 홍군근접항공부대

δ_b : 청군항공살상률

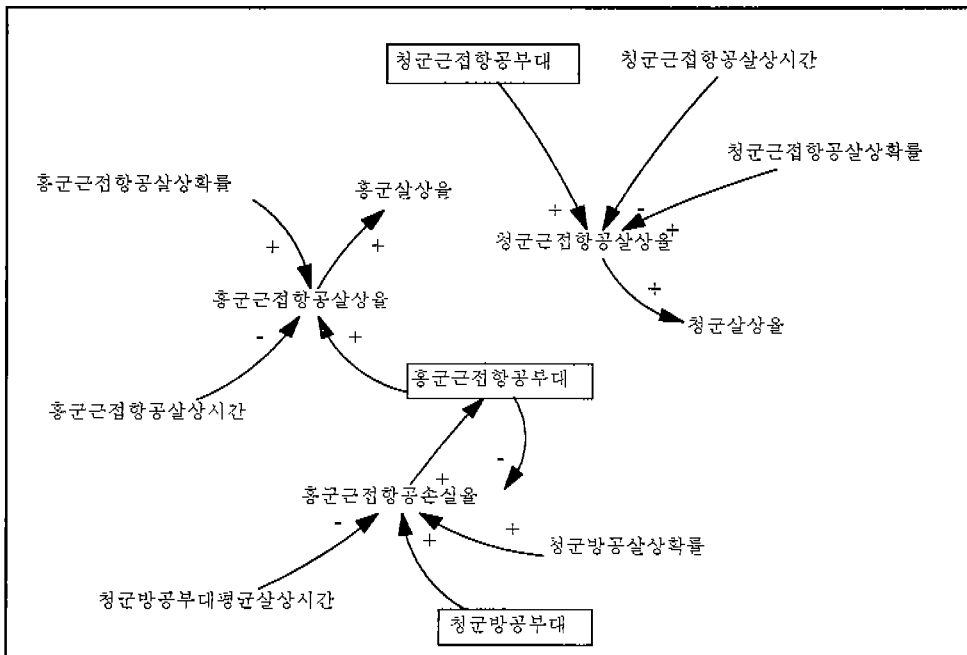
δ_r : 홍군항공살상률

T_{ba} : 청군근접항공 평균살상시간

T_{ra} : 홍군근접항공 평균살상시간

P_{ba} : 청군근접항공 살상확률

P_{ra} : 홍군근접항공 살상확률



<그림 5> 항공/방공부대 영향도

b_s : 청군방공부대
 T_{bs} : 청군방공 평균살상시간
 λ_b : 청군 방공살상률
 P_{bs} : 청군방공 살상확률

위 식들은 (1),(2)식에서 확장된 것으로 이해될 수 있다.

4.2.5 포병 화력지원 모델

포병은 상대방의 교전부대에 피해를 준다. 그래서 모델링 보조변수로는 포병살상률, 대포병살상률을 고려하고 상수로 살상확률과 사격시간을 고려하며 영향도를 나타내면 다음 <그림 6>와 같다.

여기서 홍군의 포병부대는 일정비율로 청군포병을 공격하여 청군포병을 파괴하며 일정비율은 청군교전부대를 공격하여 영향을 미치게 된다. 따라서 청군 교전부대는 홍군교전부대의 살상력과 홍군항공부대의 살상력 그리고 홍군 포병부대의 살상력에 의해서 전투력이 감소되고 청군투입률에 의해서만 전투력이

증가된다. 또한 포병부대는 대포병전 수행능력을 보유하고 있으므로 각각의 포병부대는 상대 포병부대의 대포병전 살상력에 의해 전투력이 감소된다.

이것은 다음 수식으로 모델링된다.

$$db_e/dt = -\rho_r * r_e + \gamma_b - \delta_r * r_a - \nu_r * r_f \quad \text{--- (20)}$$

$$\nu_r = P_{rf} / T_{rf} \quad \text{--- (21)}$$

$$dr_e/dt = -\rho_b * b_e + \gamma_r - \delta_b * b_a - \nu_b * b_f \quad \text{--- (22)}$$

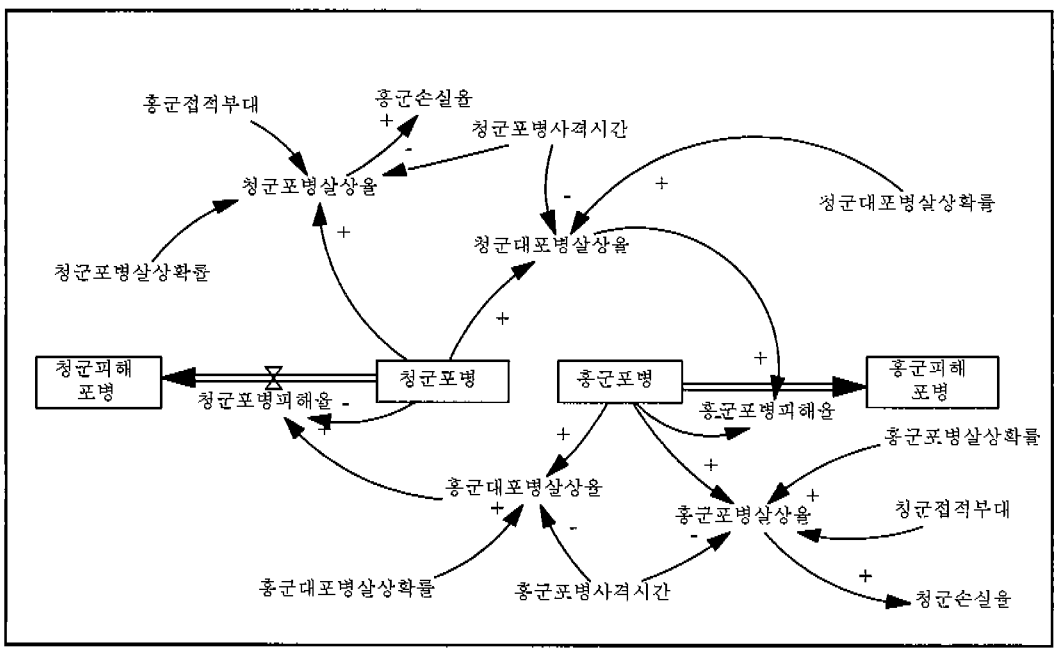
$$\nu_b = P_{bf} / T_{bf} \quad \text{---- (23)}$$

$$dr_f/dt = -\kappa_b * b_f, \quad \kappa_b = P_{bd}/T_{bf} \quad \text{---- (24)}$$

$$db_f/dt = -\kappa_r * r_f, \quad \kappa_r = P_{rd}/T_{rf} \quad \text{---- (25)}$$

여기서,

b_f : 청군포병부대 r_f : 홍군포병부대
 ν_b : 청군포병살상률 ν_r : 홍군포병살상률
 κ_b : 청군 대포병살상률
 κ_r : 홍군 대포병살상률
 T_{bf} : 청군포병사격 시간



<그림 6> 포병화력지원 영향도

T_{rf} : 홍군포병사격 시간

P_{bf} : 청군포병 살상확률

P_{rf} : 홍군포병 살상확률

P_{bd} : 청군대포병 살상확률

P_{rd} : 홍군대포병 살상확률

위 식들은 (14),(16)에서 확장된 것으로 이해될 수

있다.

지금까지 모델링된 식(1)~(25)는, VENSIM에서 영향도를 기반으로 VENSIM 언어로 작성하는 것 대신에 독자의 이해를 돕기 위해서 미분방정식 형태로 표현된 것이다. 그래서 방정식의 초기조건 및 경계조건에 대한 식을 생략하였다.

<표 1> 교전부대 최소 제원

구분	변수명	변수값	변수명	변수값
접적부대	b_e : 청군접적부대	4000명	r_e : 홍군접적부대	4000명
	b_b : 청군예비부대	1600명	r_r : 홍군예비부대	1500명
	T_{br} : 청군 평균투입시간	60	T_{rr} : 홍군 평균투입시간	60
	T_{be} : 청군 교전평균살상시간	55	T_{re} : 홍군 교전평균살상시간	30
	P_b : 청군부대의 살상확률	0.011	P_r : 홍군부대의 살상확률	0.025
부대공방 / 전진	ϵ_r : 청군추가투입 가중치	5	d_0 : 홍군후방거리	5 km
	d_r : 전력비율당 홍군전진거리	10		
비정규전부대	b_g : 청군비정규전부대	20	r_g : 홍군비정규전부대	15
	T_{bg} : 청군비정규전 살상시간	60	T_{rg} : 홍군비정규전 살상시간	45
	P_{bg} : 청군비정규전 살상확률	0.015	P_{rg} : 홍군비정규전 살상확률	0.015
항공/방공부대	b_a : 청군근접항공부대	20쇼터	r_a : 홍군근접항공부대	30쇼터
	T_{ba} : 청군항공 평균살상시간	15	T_{ra} : 홍군항공 평균살상시간	18
	P_{ba} : 청군근접항공 살상확률	0.7	P_{ra} : 홍군근접항공 살상확률	0.7
	b_s : 청군방공부대	6 개반	P_{bs} : 청군방공 살상확률	0.08
	T_{bs} : 청군방공 평균살상시간	35		
포병부대	b_f : 청군포병부대	72문	r_f : 홍군포병부대	72문
	T_{bf} : 청군포병사격 시간	2	T_{rf} : 홍군포병사격 시간	1.8
	P_{bf} : 청군포병 살상확률	0.038	P_{rf} : 홍군포병 살상확률	0.025
	P_{bd} : 청군대포병 살상확률	0.0025	P_{rd} : 홍군대포병 살상확률	0.002

4.3 모델 적용 예 및 민감도 분석

지금까지 보병 접적부대, 비정규전부대, 항공부대, 방공부대 그리고 포병부대가 교전하는 상황을 모델링하였는데 여기서는 모델을 사용하여 교전상황을 평가하는 예와 모델변수 변화에 따른 민감도 분석에 대한 예를 보인다. 이 예는 연구 목적상 설정된 것이기 때문에 현실과 다소 차이가 있을 수 있다. 예를 보이기 위하여 모델에서 고려된 보병부대, 비정규전부대, 항공부대, 방공부대, 포병부대의 최초제원은 <표 1>과 같다고 가정한다.

<표 1>의 교전부대 최초 제원을 기준으로 각 모델링 영역별로 관련변수를 변화시키면서 분석을 하는데 다음과 같이 7가지의 경우를 고려한다. 경우1은 기본제원으로 분석하는 경우이고 경우2부터는 앞에서 모델링 분야별 관련변수를 변화시킨 것이다.

경우 1 : 최초 제원으로 교전(기저상황)을 평가하는 경우

경우 2 : 기저 상황에서 청군 접적부대의 규모를 10% 증가시키는 경우

경우 3 : 기저 상황에서 홍군의 전진거리에 비해 하여 청군의 투입율을 증가시키는 경우

경우 4 : 기저 상황에서 청군 비정규전부대의 규모를 30으로 증가시키는 경우

경우 5 : 기저 상황에서 항공부대를 20소터 증가시키는 경우

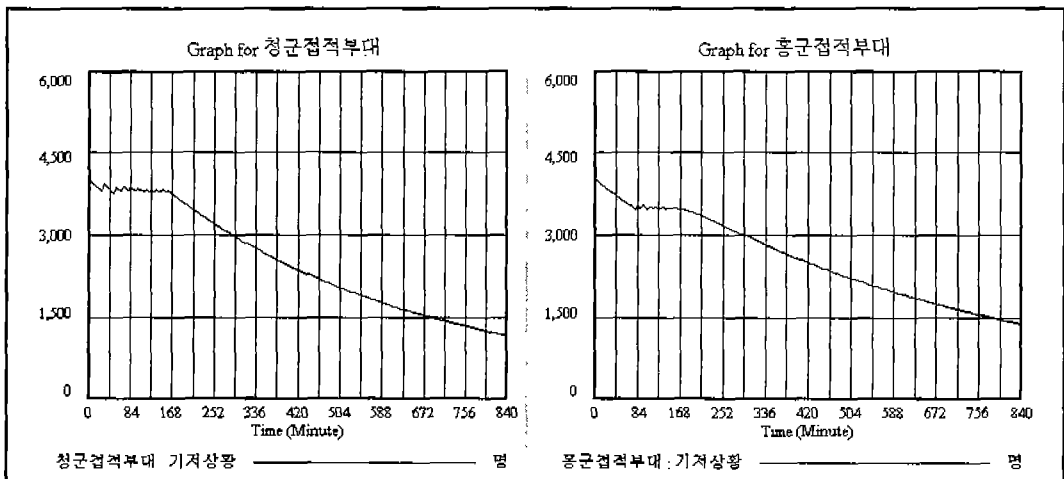
경우 6 : 기저 상황에서 방공부대를 1개 증대 증가시키는 경우

경우 7 : 기저 상황에서 포병부대를 2개 대대(36문) 증가시키는 경우

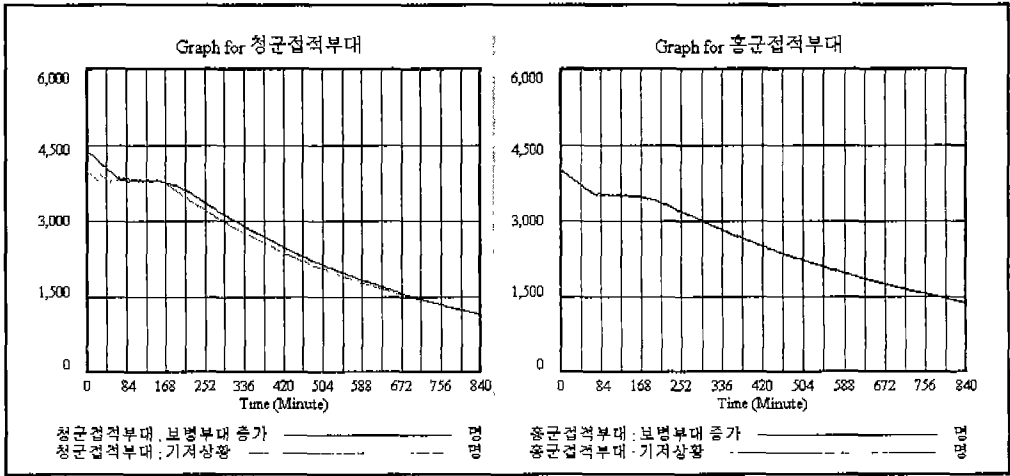
• <표 1>의 경우 1

<그림 7>은 최초 입력한 변수 값으로 시뮬레이션을 실시한 결과로서 보병부대, 비정규전부대, 항공부대, 방공부대, 포병부대가 참가하여 840 시뮬레이션 시간동안 상호교전을 실시한 후 남아있는 전투력의 크기이다.

<그림 7>에서 청군과 홍군은 최초 부대병력이 4000이었으나 시뮬레이션이 종료되는 시점에서는 홍군이 약 1450명, 청군의 약 1100여명이 생존해 있다.



<그림 7> 경우 1의 교전 결과



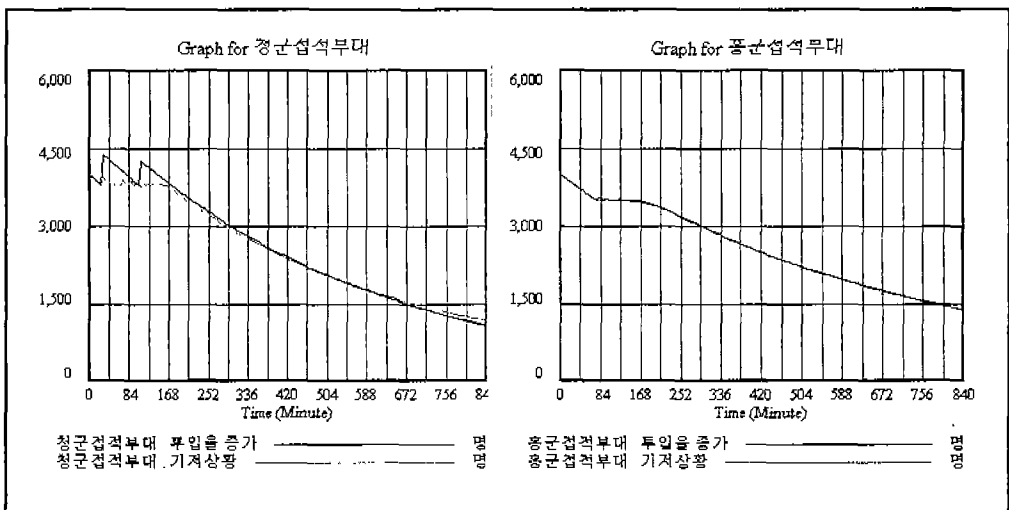
<그림 8> 경우 2 교전 결과

● 경우 2

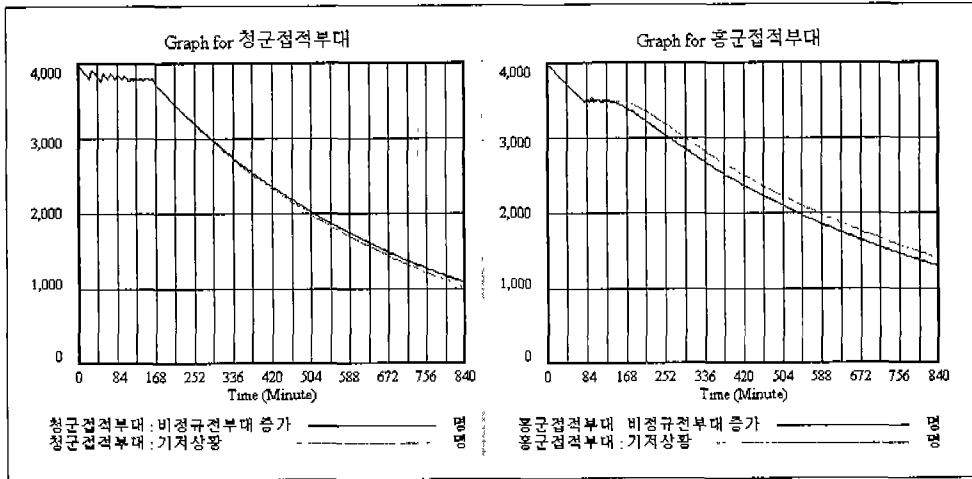
<그림 8>에서 청군 점적부대의 규모를 10% 증가시키는 경우 일정기간 동안 청군부대 자체의 전투력 수준은 증가시키는 만큼 향상되나 홍군에 대한 살상 효과는 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 이것은 보병에 의한 살상률이 항공이나 포병 등 다른 전투력에 의한 살상률에 비해 아주 적기 때문이다.

● 경우 3

<그림 9>에서 홍군의 전진거리에 따라 청군의 투입율을 증가시켰을 경우에는 보병부대를 증가시켰을 때와 마찬가지로 청군의 전투력은 약간의 향상을 가져오지만 홍군에 대한 살상효과는 다소 적은 것으로 나타났다.



<그림 9> 경우 3 교전 결과



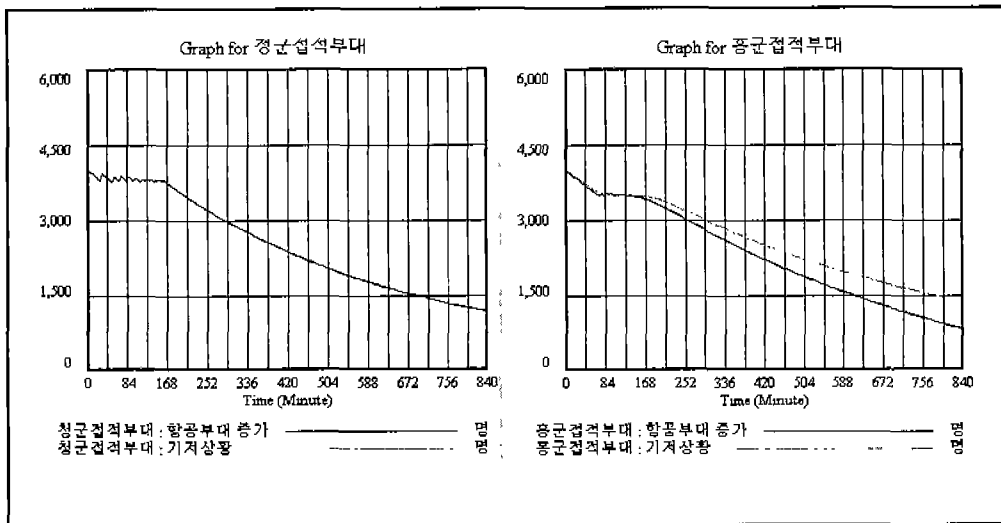
<그림 10> 경우 4 교전 결과

● 경우 4

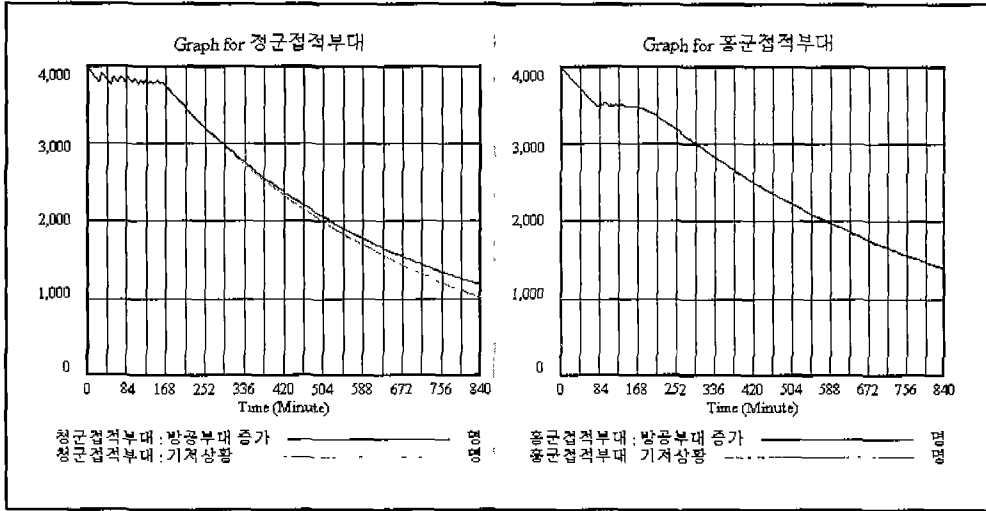
청군 비정규전부대를 30으로 증가시켰을 때 홍군 예비부대의 전투력을 떨어뜨려서 홍군의 접적부대의 전투력을 감소시키고, 홍군 접적부대의 전투력이 떨어짐으로서 상대적으로 청군의 접적부대 전투력이 다소 증가하게 된다.

● 경우 5

청군 항공부대를 20소트 증가시키는데, 이 경우는 홍군 접적부대 손실에 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.



<그림 11> 경우 5 교전 결과



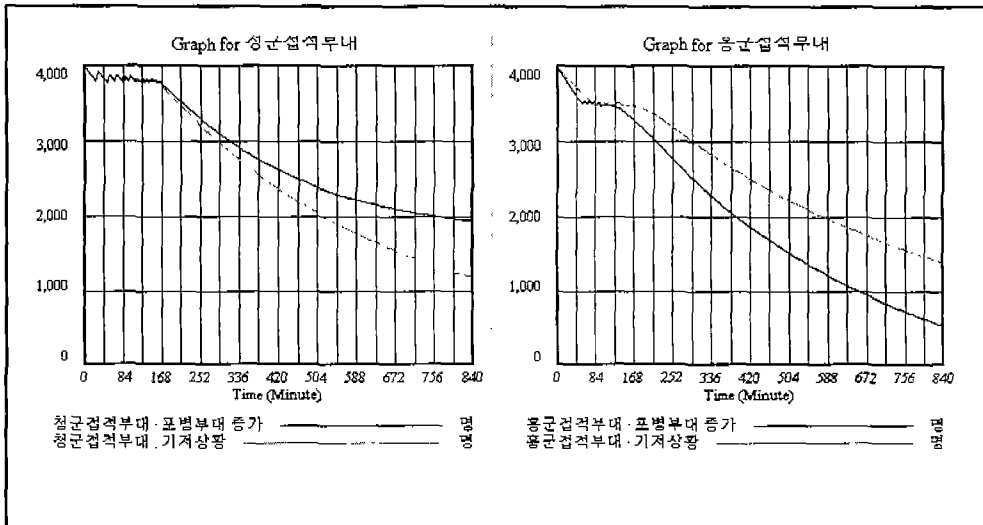
<그림 12> 경우 6 교전 결과

• 경우 6

청군 방공부대를 1개 중대 증가시키는 경우 홍군의 근접항공부대 전투력을 저하시키는 결과를 가져온다. 따라서 청군의 피해율이 떨어지므로 전투력 보존효과를 가져온다.

• 경우 7

마지막으로 청군 포병부대를 2개 대대(36문) 증가시키는 경우 홍군 접적부대에 대해 가장 많은 손실을 주고 있으며 상대적으로 청군 전투력의 보존 효과도 크다는 것을 알 수 있다.



<그림 13> 경우 7 교전 결과

지금까지 각 경우(경우 1 에서 경우 7까지)에 대하여 분석하였는데, 이는 각 경우별로 합동 모의 차원에서 전투력 감소 효과를 볼 수 있기 때문에 차후 방위력 개선을 위한 대안 분석 방법으로 활용할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서 시스템 다이내믹 모델을 사용하여 VENSIM 환경에서 합동전장기능 연속 시뮬레이션 프로토타입 모델개발 예를 보이고 프로토타입을 사용한 간단한 예를 민감도 분석 차원에서 보였다. 실제 전장 상황에 적합한 시뮬레이션을 위해서는 보다 정교한 모델링과 함께 전장 상황에서 적용되는 각종들의 변수 값을 도출한다면 실무적으로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

특히 모델링을 할 때 영향도를 사용하기 때문에 교전 상황을 가시적으로 모델링하여 개발자와 사용자간의 의사소통을 원활하게 하고 개발을 용이하게 할 수 있다. 그런데 본 연구에서 제시된 연속 시뮬레이션은 이산사건 시뮬레이션에 비해 교전상황을 집약적으로 나타내기 때문에 상대적으로 그 결과에 대한 정확도는 떨어지는 단점이 있다는 것을 고려해야 한다.

참 고 문 헌

[1] 최상영, 군사 시뮬레이션 모델링 기술(시뮬레이션기술과 군사응용), 국방대학원, 1997.8.
 [2] 최상영, 무기체계 평가 분석기법과 응용사례, 국

방대학원, 1994.
 [3] Coyle, R.G. System Dynamics Modeling-A Practical Approach, John Wiley & Sons, 1996.
 [4] Meadows, D.H. et al., The Limits to Growth, Potomac Associates, 1972.
 [5] Pidd, M., Computer Simulation in Management Science (Third Edition), John Wiley & Sons, 1992.
 [6] Ventana Systems Inc., Vensim Standard Professional DSS, Modeling Guide Version 3.0, USA, 1997.
 [7] Ventana Systems Inc., Vensim Standard Professional DSS, Tutorial Version 3.0, USA, 1997.
 [8] Ventana Systems Inc., Vensim Standard Professional DSS, Reference Manual Version 3.0, USA, 1997.

[98년 9월 18일 접수, 98년 11월 12일 최종수정]