

분포형 합성환경자료의 군사시물레이션 적용

조내현¹ · 박종철² · 김만규^{3†}

The Application of Distributed Synthetic Environment Data to a Military Simulation

Nae-hyun Cho · Jong-chul Park · Man-kyu Kim

ABSTRACT

An environmental factor is very important in a war game model supporting military training. Most war game models in Korean armed forces apply the same weather conditions to all operation areas. As a result, it fails to derive a high-fidelity simulation result. For this reason this study attempts to develop factor techniques for a high-fidelity war game that can apply distributed synthetic atmospheric environment modeling data to a military simulation. The major developed factor technology of this study applies regional distributed precipitation data to the 2D-GIS based Simplified Detection Probability Model(SDPM) that was developed for this study. By doing this, this study shows that diversely distributed local weather conditions can be applied to a military simulation depending on the model resolution from theater level to engineering level, on the use from training model to analytical model, and on the description level from corps level to battalion level.

Key words : Synthetic environment, Military simulation, Distributed data, Geographic information system, Fidelity

요약

군사훈련을 지원하는 워게임 모델은 환경요소가 매우 중요하다. 한국군의 대부분 워게임 모델들은 동일한 기상을 모든 작전 지역에 적용하고 있다. 이에 따라 충실도가 높은 모의결과를 도출하지 못하고 있다. 이러한 실정에 비추어 본 연구는 분포형 합성환경 모델링 자료를 군사시물레이션에 적용할 수 있는 충실도 높은 워게임을 위한 요소기술을 개발 하는 것이다. 그것은 본 연구를 위해 개발한 2D GIS기반의 『단순 탐지확률 모델』 과 이 모델에 지역별로 상이한 분포형 강수량 자료의 적용 기술이다. 이로써 군사시물레이션 수행 시 모델 해상도(전구급~공학급), 용도(훈련용, 분석용), 묘사 수준(군단급~대대급)에 따라 다양하게 작전지역별 상이한 국지기상을 반영하는 분포형 합성환경의 제공과 사용이 가능해졌다.

주요어 : 합성환경, 군사시물레이션, 분포형 자료, 지리정보체계, 충실도

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

군사훈련을 지원하는 워게임 모델은 환경요소가 매우

* 이 논문은 제1저자 조내현의 박사학위논문을 바탕으로 추가 연구하여 작성한 것입니다.

접수일(2010년 9월 30일), 심사일(1차 : 2010년 11월 4일), 게재 확정일(2010년 11월 15일)

¹⁾ 육군전투지휘훈련단

²⁾ 공주대학교 지리정보과학연구소

³⁾ 공주대학교 지리학과

주 저 자 : 조내현

교신저자 : 김만규

E-mail; aquasia@kongju.ac.kr

중요하다. 중국의 손자는 그의 병서에서 ‘지형을 알고 기상을 아는 것이 승리의 관건이다.’라고 밝혔듯이, 전장환경은 모든 군사작전에 있어서 중요한 요소이고, 실질적인 전장환경의 모델적 표현은 시물레이션으로부터 실전감이 있는 결과를 도출하기 위한 필수적인 선결 조건이다. 그러나 모델링 및 시물레이션(Modeling & Simulation, M & S)을 위한 합성환경(Synthetic Environment) 분야의 한국에서의 중요한 문제점은 시물레이션의 전장환경이 실제의 전장환경에 비해 비현실적이라는 것이다. 예를 들면 한국군의 워게임 모델들은 모든 작전지역에 동일한 기상을 적용하고 있다. 현실세계에서는 국지기상이 군사훈련 및 작전에 많은 영향을 미칠 수 있음에도 작전지역 내의

국지기상과 같은 기상의 분포가 시뮬레이션에 반영되지 않고 있는 것이다. 군사시뮬레이션 시 모델 해상도(전구급~공학급), 용도(훈련용, 분석용), 묘사 수준(군단급~대대급)에 따라 작전지역별 국지기상을 반영한 분포형 합성환경이 필요함에도 이를 적용하고 있지 않은 현실은 군사시뮬레이션의 충실도(Fidelity)에도 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 군사시뮬레이션은 시뮬레이션을 군사 분야에 적용하는 것을 지칭하며 충실도는 묘사 하고자 하는 실제 체계와 비교한 모델이 갖는 표현의 정확도를 말한다. 일반적인 모델과 시뮬레이션의 묘사 하고자 하는 품목이나 경험을 보다 정확히 일치시키거나 나타낼 수 있을 때 충실도가 높다고 한다.

이러한 실정에 비추어 본 연구의 목적은 충실도가 높은 위계임을 위한 분포형 합성환경 모델링 자료의 군사시뮬레이션 적용 기술을 개발 하는 것이다. 아울러 군사시뮬레이션에서 분포형 환경을 고려하였을 때와 그렇지 않았을 때 시뮬레이션 결과의 차이를 분석하여 환경이 군사시뮬레이션의 충실도에 미치는 영향을 밝히고자 하였다.

1.2 연구 동향

합성환경은 육상, 해양, 우주, 대기 영역을 대상으로 시뮬레이션 체계나 시뮬레이터들이 주어진 임무를 달성하기 위해 내부에서 묘사하게 되는 환경개체, 행위 및 상호작용 등을 컴퓨터로 표현한 것을 말한다(손미애, 2003). 합성환경의 범위는 우주, 대기, 육상, 해양으로 구분된다. 우주의 구성인자는 우주기상, 전자기 등이다. 대기의 구성인자는 대기기온, 먼지, 안개, 강수량, 풍향, 풍속 등이다. 육상의 구성인자는 지형, 구조물, 해변, 경사 등이다. 합성환경자료는 자연현상의 1차 가공(모델링 또는 모의) 결과만을 의미하지 않으며, 그것의 2차, 3차 가공 결과도 포함한다. 합성환경자료 먹이사슬처럼 계속해서 자료를 가공하여 생산한다.

영역별 합성환경 인자 수는 무기체계가 점점 복잡화, 대형화되어 감에 따라 증가하고 있다. 일례로 美 DMSO의 MSEA(Modeling Simulation Executive Agent)에서 임무 할당과 분석 용도로 사용하는 WxFX(Warfighter Weather Effects) 시스템은 대기영역 34개 인자, 해양영역 13개 인자, 육상영역 8개 인자 그리고 우주영역 1개 인자, 총 56개 환경인자로 구성된 합성환경을 필요로 한다(Hummel 등, 2001).

미국은 MEL(Master Environmental Library)를 구축하여 자연환경정보를 M&S에 제공하고 있다. MEL에서 제공하는 정보에는 기본적인 환경 데이터 뿐 아니라 모델,

알고리즘 등을 포함하고 있다. 아울러 일종의 합성환경 Federation인 OASES(Ocean Atmosphere Space Environmental Server)와 SETI(Synthetic Environment Tactical Integration)를 구축 및 운영하면서 무기체계 SBA 뿐만 아니라 각종 전투실험에 필요한 합성환경을 publisher 또는 query 형식으로 제공하고 있다(Boyd 등, 1996; Siquig 등, 1996).

한국에서 M&S 분야의 합성환경과 관련된 연구 동향으로는 김지연(2007)이 제조업 분야의 역공급사슬 시뮬레이션을 위해 환경을 고려한 연구도 있지만 SEDRIS(Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification)를 중심으로 한 합성환경의 표현 및 교환 연구가 주를 이루고 있다.

SEDRIS는 미 국방부를 중심으로 개발한 합성환경 데이터의 표현 및 교환명세에 관한 표준이다(James, 1998). SEDRIS는 합성환경에서 여러 개의 시뮬레이션이 동일한 지리정보를 이용하여 가상환경을 구현할 수 있는 기반을 제공하여 시뮬레이터 간의 상이한 입력자로 사용으로 인한 데이터 간의 변환작업, 변환프로그램 개발이 필요 없게 하며 지리정보의 일관성을 유지하여 모의 결과의 신뢰도를 높이기 위해 개발되었다.

국내에서 SEDRIS와 관련된 합성연구 사례로는 다음의 연구들이 있다. 이성기 등(2002)과 변재정 등(2002)이 SEDRIS를 합성전장 3D 전투 게임 개발에 사용하였다. 윤지원(2004)은 SEDRIS 기반의 GIS 데이터 변환에 관한 연구를 수행한 바 있다. 문홍일 등(2005)은 합성환경의 객체 가시화와 맵핑을 수행하였다.

이들 연구는 앞서 언급하였듯이 3차원 가상현실에서 환경의 표현과 교환에 연구중점을 두고 있다. 환경의 표현 측면에서의 연구들은 실세계에서 분포 형태로 나타나는 강수, 안개 등을 모든 가상현실 공간에 동일한 것으로 가정하곤 한다. 이는 가상현실에서 이들 환경인자의 분포를 표현하는 것에 많은 어려움이 따르기 때문이다. 그러나 환경의 표현 관점이 아닌 시뮬레이션 충실도 관점에서는 M&S에서 실세계에 근접한 분포형 환경을 고려할 필요가 있다. 따라서 환경의 표현 관점이 아닌 시뮬레이션 충실도 관점에서 분포형 환경의 시뮬레이션 적용 연구가 필요하다.

1.3 연구 방법

본 연구에서는 연구 사례지역을 제주도 지역으로 하였으며 분포형 합성환경 모델링 대상은 대기영역에서 강수량, 지형영역에서 지형고도와 지형구분으로 하였다. 특히

강수량은 전장기능별 운용개념 및 요구능력(육군본부, 1998), 지상군 기본교리(육군본부, 2005), 지형 및 기상정보(육군본부, 2001), 공군 기본교리(공군본부, 2002), 기상환경 지침서(공군전투발전단, 2004), 해군기본교리(해군본부, 2007) 등을 분석하였을 때 육군, 해군, 공군의 통신·기동 및 다양한 성분작전에서 매우 중요한 환경인자이다. 강수량은 실세계에서 지역에 따라 많은 편차를 나타내고 있지만 한국군 대부분의 위게임은 모든 전장에 동일 강수량이 발생하는 것으로 가정하고 있다. 이에 본 연구에서는 강수량을 대기영역의 연구대상 환경인자로 결정하였다.

한편 제주도는 강수량의 지역적 편차가 매우 큰 지역이다. 제주도 동쪽에 위치한 성산 기상관측소의 30년(1971~2000) 연평균 강수량은 1840.9mm이며 서쪽에 위치한 고산은 1094.7mm 큰 차이를 보인다. 그리고 제주도 한라산을 중심으로 한 산악지대는 2004~2008년 여름철 3개월 평균강수량이 1,300mm 이상이다. 이 양은 한반도 중부지방의 연평균 강수량에 해당한다. 제주도는 이와 같이 다양한 강수분포가 나타날 뿐 아니라 기상관측소 분포 밀도가 높아 관측자료를 이용하는 분포형 합성환경 모델링에 매우 유리한 지역이다. 이러한 이유로 제주도는 강수분포 재현에 적합한 보간 방법 도출 연구에서 연구대상 지역이 되곤 하였다(박종철 등, 2009). 본 연구에서 역시 관측자료 확보가 용이하고 다양한 강수분포 양상이 나타나는 제주도를 사례지역으로 선정하였다.

본 연구에서의 분포형 합성환경자료 구축 및 군사시물레이션 적용 개념은 그림 1과 같다. 지형고도와 지형구분은 2차원 분포도로 작성하였으며, 강수량은 3차원 분포도로 작성하였다.

지형고도와 지형구분 분포도는 최초 래스터(Raster) 형태로 작성하였다. 본 연구에선 이를 GIS(Geographic Information System) 공용 포맷인 Shape로 변환하여 2D GIS 기반으로 개발한 『단순 탐지확률 모델』에서 직접 정보를 조화·추출하는 방식으로 시물레이션에 사용하였다. 강수량 분포도는 본 연구에서 설계한 데이터베이스에 저장하고 UDP(User Datagram Protocol) 통신으로 정보를 조화·추출하는 방식으로 시물레이션에 사용하였다. 지형고도와 지형구분 자료를 작성할 때의 2D 보간에는 ESRI의 ArcGIS를 활용하였으며 강수량의 3D 보간에는 미국 스탠포드 대학에서 개발한 S-GeMS(Stanford Geostatistical earth Modeling Software)를 활용하였다. 2D GIS 기반 『단순 탐지확률 모델』은 ESRI의 MapObject 2.1 GIS 컴포넌트와 Visual Basic 6.0 등을 활용하여 개발하였다.

합성환경자료 구축 영역은 제주도 본섬을 모두 포함하는 범위이다. 영역의 좌측 하단 지점의 좌표는 X-120469, Y-15991, Z-0이며 연구영역 범위는 X축 80km, Y축 50km, Z축 2km이다. Z축의 0은 해발고도 0m를 의미한다. 본 연구에서 좌표는 Bessel 타원체, 횡측메르카토르 도법, 제주도 원점을 사용하여 지도를 투영했을 때의 평면직각 좌표를 사용하였다.

본 논문의 연구결과와 제시는 지형과 대기영역의 분포형 합성환경자료 구축 결과 제시, 이 자료를 시물레이션에 제공하기 위해 설계한 3차원 합성환경 데이터베이스 구조 제시, 그리고 분포형 합성환경자료의 군사시물레이션에 적용 결과 제시로 구성하였다.

2. 분포형 합성환경자료 구축 결과

2.1 지형영역 합성환경자료 구축

지형영역 자료 구축에서는 가장 먼저 연구지역의 수치표고모형(Digital Elevation Model)을 작성하였다. 수치표고모형은 지형고도의 연속적인 분포를 디지털로 재현한 것이다. 본 연구에서 작성한 수치표고모형은 국토지리정보원에서 제작한 1:25,000 수치지형도의 등고선과 표고점을 추출하여 작성하였다. 그리고 이를 토대로 지형경사도를 작성하여 연구에 활용하였다. 수치표고모형을 이용한 지형경사도의 작성에는 Horn(1981)에 의해 제안된 Third-order Finite Difference Weighted By Reciprocal of Squared Distance 방식을 사용하였다. Horn(1981)의 사면경사 계산 방식은 사면경사를 결정하는 셀에 인접한 (3×3, 총 8개 셀) 지형고도 변화 비율을 계산하여 결정

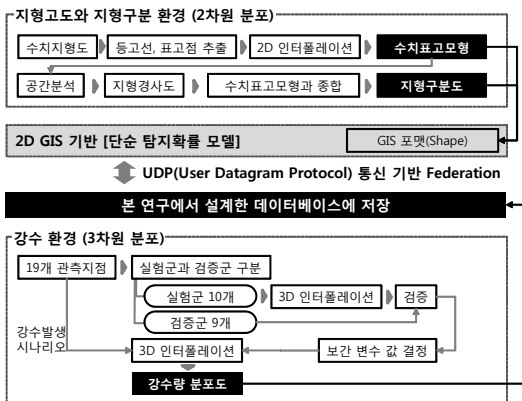


그림 1. 분포형 합성환경자료 구축 및 군사시물레이션 적용 개념

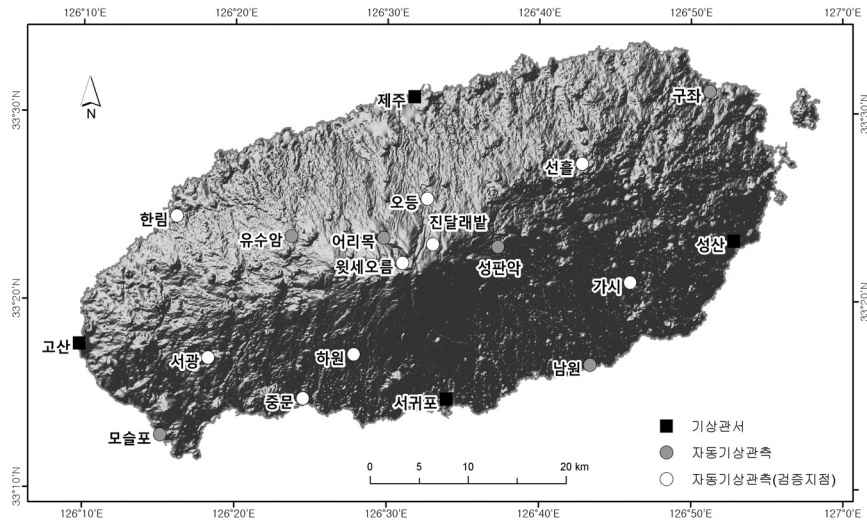


그림 2. 연구에 활용한 기상관측 지점 현황

하는 데 Third-order Finite Difference(Sharpnack 등, 1969), Third-order Finite Difference Weighted by Reciprocal of Distance(Unwin, 1981), Frame Finite Difference(Chu 등, 1995) 등 다른 계산방식에 비해 정확도가 높다(Zhou 등, 2004). 아울러 Burrough 등(1998)과 김만규 등(2008)의 사면경사도를 활용하는 연구에 폭넓게 활용되고 있다.

지형구분 분포도는 산악, 구릉, 평지, 소택지, 수면 분류를 사용하였다. 연구지역의 산악, 구릉, 평지의 지형 구분은 수치표고모형과 지형경사도를 GIS 공간분석하여 결정했다. 산악은 지형고도 300m 이상인 지형이며, 평지는 지형고도가 300m 미만이고 지형경사 3°이하인 지형으로 결정했다. 구릉은 산악과 평지 사이의 지형으로 결정했다. 이승호 등(2005)은 한반도의 상세기후 지역 구분 연구에서 해발 300m 이상 지역을 산지기후 지역으로 구분한 바 있다. 본 연구에서는 이를 준용하여 산지를 구분하였다. 최광준 등(2005)의 지하수기초조사 실무자들이 경험적으로 도출하여 관행적으로 사용하고 있는 지형경사에 따른 지형분류에 의하면 지형경사 3°이하는 평지~완경사지에 해당한다. 한국농어촌공사의 분류는 김만규(2008), 박종철(2009) 등에 의해서 준용된 바 있으며, 기동성 분석과 관련된 본 연구에서도 이를 준용하여 평지와 구릉지를 구분하였다. 수치표고모형과 지형경사도, 지형구분 분포도는 최초 공간해상도 20m의 래스터 형태로 작성하였다. 그러나 MapObject는 래스터에서의 정보추출을 지원하지 않기 때문에 이를 폴리곤 Shape 파일로 변환하였다.

2.2 대기영역 합성환경자료 구축

연구지역의 3차원 강수량 분포도는 강수발생 시나리오에 따라 추정된 19개 기상관측 지점의 특정되지 않은 어느 해의 9월 9일 13:00 ~ 24:00 사이의 시간 강수량을 3차원 보간하여 작성했다. 본 연구에서 사용한 19개 기상관측 지점 현황은 그림 2와 같다.

강수량의 보간에는 정규 크리깅(Ordinary Kriging) 기법을 사용하였다. 크리깅은 강수량 보간에 매우 유용한 것으로 알려져 있다. 특히 본 연구와 동일 지역에 대한 최근의 강수량 분포 작성 연구에서도 우수한 결과가 나타났다(박노옥 등, 2008; 박종철 등, 2009). 정규 크리깅의 매개변수 입력 값은 5년(2004~2008) 동안 관측된 9-11월 평균 강수량의 보간을 통해 결정했으며 매개변수의 초기 입력 값은 지점별 강수량 자료의 공간적인 분포 특성을 토대로 결정했다. 그러나 최종 값은 실험과 검증 과정을 반복하며 값을 조절하는 Trial & Error 과정으로 결정했다.

보간 매개변수 중 이방성 값을 결정하기 위해 연구지역 내 19개 관측지점의 강수량 관측 자료를 그림 3과 같이 표시하고 강수량 분포 특성에 이방성이 나타나는지 경향 분석을 수행하였다. 그림에서 수직선의 위치는 관측 자료의 공간적 위치이며 수직선의 높이는 강수량에 해당한다. 그림 3은 연구지역의 강수량이 중심부에 많고 주변부로 갈수록 적어지는 경향을 보여준다. 아울러 동쪽의 강수량이 서쪽에 비해 많다는 것과 강수량 분포가 북동-남서 방향으로 유사하게 나타난다는 것을 보여준다. 따라서 본 연구에서는 보간에 이방성을 고려하고자 했다. 북

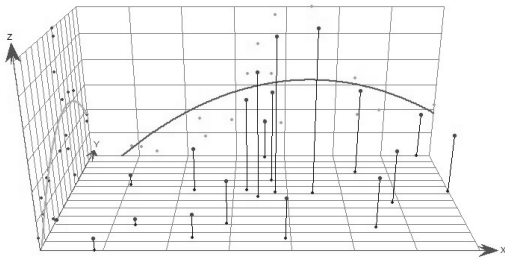


그림 3. 2004-2008년 9-11월 연구지역 19개 지점에서 관측된 강수량 특성

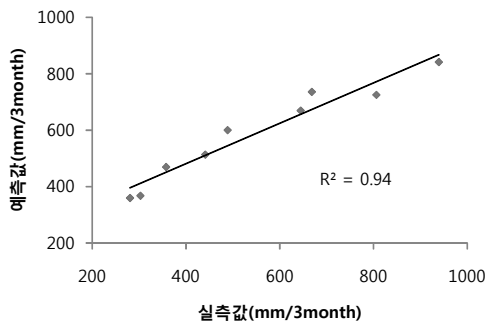


그림 4. 가우스 모델에 의한 제주도의 2004-2008년 9-11월 평균강수량 실측값과 정규 크리깅 예측값 비교

동-남서 방향을 이방성의 초기 입력 값으로 하고 반베리오그램(Semi-variogram)을 이용한 각 방향으로의 자료 탐색을 통해 거리와 세미베리언스(Semi-variance) 사이에 상관관계가 잘 나타나는 방향을 분석한 결과 이방성은 88°로 결정했다.

반베리오그램은 Matheron(1963)의 방법을 이용하여 계산하였으며, 강수량 보간에 가장 적합한 반베리오그램 모델을 선정하기 위해 구형(Spherical), 지수형(Exponential), 가우스(Gaussian) 모델을 적용해 보았다. 그리고 그 중 가장 좋은 보간 결과를 생산한 모델을 최종 모델로 채택하여 연구에 적용하였다.

각 반베리오그램 모델의 분리거리와 분리개수의 곱은 연구범위 내 관측지점 사이의 최대 거리의 반을 넘지 않도록 설정하는 것이 합리적이다(Johnston 등, 2001). 본 연구에서 관측지점 사이의 최대 거리는 약 75km이며, 이에 따라 분리거리(lag size)는 3km, 분리개수는 12개로 설정했다. 탐색반경은 장측 33~40km, 단측 25km로 결정하였다. 관측지점의 이용 개수는 최소 2개, 최대 5의 지점을 이용하도록 설정했다. 본 연구에서 사용하는 보간 입력 자료의 수는 대상 범위에 비해 매우 적다. 따라서 탐색 반경은 적은 개수의 자료를 이용하여 연구지역 전반을 보

표 1. 반베리오그램 모델과 매개변수 값

반베리오그램 모델	문턱값	X축 거리	Y축 거리	Z축 거리	이방성
구형 모델	57,048	36,511	10,719	23,615	88
지수형 모델	72,850	36,511	10,719	23,615	
가우스 모델	39,729	14,924	10,793	10,793	

표 2. 2004-2008년 9-11월 평균 강수량 실측값과 정규 크리깅 예측값 비교

관측소명	해발 고도 (m)	실측값 (mm/3month)	예측값(mm/3month)		
			구형 모델	지수형 모델	가우스 모델
중문	63.0	357.7	500.8	503.3	469.4
오등	513.0	668.5	712.1	709.8	735.7
하원	405.0	441.3	615.5	634.7	513.3
선흥	341.0	644.7	716.0	708.8	669.3
서광	139.0	280.8	415.3	426.1	359.4
한림	22.0	303.0	373.8	395.5	367.3
가시	120.0	488.8	570.5	567.4	600.1
진달래밭	1,490.0	939.3	758.6	765.7	841.4
윗세오름	1,673.0	806.2	743.9	741.0	725.1
결정계수(R ²)			0.86	0.86	0.94
RMSE(mm)			133.2	138.7	93.8

간 할 수 있도록 설정한 것이다. 각 모델의 매개변수 입력 값은 표 1과 같다.

실험과 결과 검증에서는 연구지역 내의 총 19개 기상 관측 지점을 실험군 10개와 검증군 9개로 나누어 진행했다. 보간 결과의 검증을 위해서는 실측값과 보간 결과값 사이의 결정계수(R²)와 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하였다. 표 2는 10개의 강수량 관측 자료를 이용하여 각 반베리오그램 모델로 보간을 수행하고 9개 관측 지점의 실측값과 비교한 결과이다. 그 결과 가우스 모델의 결정계수가 0.94로 구형과 지수형 모델보다 좋은 것으로 나타났다. 가우스 모델의 RMSE 역시 93.8mm로 구형과 지수형 모델 보다 좋았다. 따라서 연구 지역의 9월 강수량 보간에는 가우스 모델을 사용하였다.

이 과정으로 도출한 보간 매개변수 입력 값은 본 연구에 필요한 다양한 해상도의 3차원 강수량 분포도를 구축하는 데 사용하였다. 본 연구에서는 Level 1 ~ Level 3의 공간해상도를 갖는 합성환경을 구축 했으며 Level-1은 X, Y, Z축이 각각 200m, 200m, 100m이다. Level-2는 각 해상도가 400m, 400m, 200m, Level-3은 각 해상도가

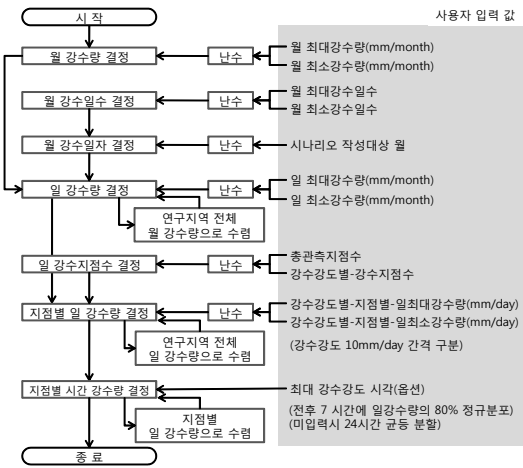


그림 5. 강수발생 시나리오 발생기의 시간 강수량 결정 과정

600m, 600m, 400m이다.

이때 보간에 사용한 시간 강수량 입력 자료는 본 연구에서 개발한 『강수발생 시나리오 발생기』를 이용하여 생산한 결과를 활용하였다. 『강수발생 시나리오 발생기』는 특정 월의 각 기상관측 지점 강수량을 연구자가 원하는 범위 내에서 합리적으로 결정할 수 있도록 지원하는 도구이다. 시나리오 발생기에 의해 강수량을 생산하여 지원하는 것은 강수량 관측 자료의 실측값(최대, 최소)특성을 기반으로 사용자가 원하는 강수 환경을 생산 하고 재현할 수 있음을 의미한다.

본 연구에서 개발한 『강수발생 시나리오 발생기』는 그림 5와 같은 절차로 관측지점별 시간강수량을 결정한다. 이 도구는 각 기상관측 지점에서의 강수 발생 특성을 분석하여 사용자가 지정하는 월의 일강수량을 결정하고 이를 정규분포 또는 균등분포 형태의 시간 강수량으로 생산한다.

3. 3차원 합성환경 데이터베이스 구조 설계

본 연구에서 지형영역의 2차원 합성환경자료는 GIS 포맷으로 구축하고 GIS 컴포넌트에서 제공하는 API를 이용하여 정보를 추출하여 시물레이션에 사용하였다. 특히 이들 자료는 시간이 경과하여도 자료 set이 변하지 않는 것으로 가정하였기 때문에 기존 GIS 컴포넌트에서 제공하는 API를 사용한 정보 추출 및 활용 체계가 가능하다. 그러나 3차원 보간 결과인 강수량 분포도는 각 시간 간격마다 1개의 ASCII(American Standard Code for Infor-

mation Interchange) 또는 Binary 파일 형태로 생산된다. 한 개의 파일에는 강수량 단일 환경인자만을 넣을 수도 있고 경우에 따라서는 강수량 외에 풍향, 풍속 등 다른 환경인자를 포함할 수도 있다. 이와 같이 시간의 흐름과 다양한 환경 인자를 복합적으로 고려해야 하는 군사시물레이션을 위한 합성환경자료 구축 과정에서는 많은 보간 결과 파일들이 생산된다. 그러나 파일 형태의 보간 결과에서 특정지점의 위치와 시간을 지정하여 군사시물레이션에 참가하는 위게임 모델에게 환경 정보를 적절한 시간에 효과적으로 제공하는 것은 거의 불가능하다.

파일 형태의 보간 결과를 군사시물레이션에 활용하는 경우, 다수의 위게임 모델이 연속적으로 정보를 요구하거나 위치가 지속적으로 바뀌는 이동체에게 환경 정보를 제공하기 위해서는 파일의 처음부터 원하는 지점까지 탐색 과정이 반복적으로 이루어져야 한다. 하지만 파일 형태에서 실시간에 가깝게 원하는 시간에 대기환경 정보를 탐색하여 네트워크상의 위게임 모델에 제공한다는 것은 불가능한 일이다. 파일형태의 대기환경 인자별 3차원 보간 결과를 군사시물레이션에 적용하기 위한 새로운 DB구조의 설계가 필요한 이유가 여기에 있다. 최근 주목받고 있는 환경자료 표현기법인 SEDRIS는 3차원 환경자료를 단일 파일 내에서 시간축으로 저장할 수 있으며, 원하는 지점의 환경정보를 추출할 수 있는 API도 제공하고 있다.

그러나 SEDRIS에서의 자료 구축과정이 쉽지 않고, 국내에서는 SEDRIS의 활용이 보편화되어 있지 않다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 Microsoft Access 2003 데이터베이스(이하 MDB)를 기반으로 하는 합성환경 데이터베이스 구조를 그림 6과 같이 설계하고 사용자가 요구하는 시간과 지점의 환경정보를 추출할 수 있는 API를 개발하였다. MDB 포맷은 한국에서 매우 보편적으로 사용하는 데이터베이스이기 때문에 이를 기반으로 구축한 환경자료는 M&S 연구분야에서 합성환경자료를 필요로 하는 한국의 많은 연구자들에게 쉽게 정보를 전달할 수 있다는 장점이 있다. 다만 합성환경자료의 환경인자가 증가하고 환경구축 지역과 해상도가 더욱 다양화되었을 때에는 환경자료의 코딩규격이 명확하게 정의되어 있는 SEDRIS를 활용하여 합성환경자료를 시물레이션에 제공하는 체계를 구성하는 것이 적합할 것이다.

본 연구에서 MDB를 기반으로 설계한 합성환경 데이터베이스의 테이블 구조는 크게 두 부분으로 구분된다. 하나는 보간 영역정보를 담고 있는 테이블이며, 다른 하나는 보간 영역 내 각 격자에서의 환경 인자별 값을 포함하고 있는 테이블이다.



그림 6. 합성환경 데이터베이스 테이블 구조

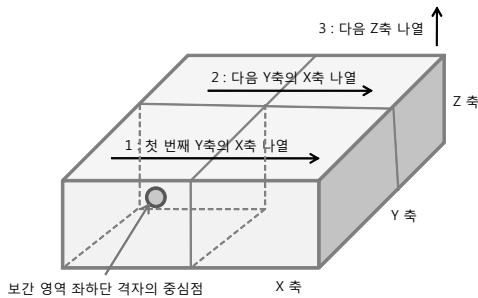


그림 7. 보간 결과 테이블의 합성환경자료 나열순서

보간 영역정보를 담고 있는 테이블의 이름은 ‘BID_사용자지정이름’으로 구성된다. 이 테이블에는 보간 영역의 좌하단 격자의 중앙점 좌표와 한 격자의 크기 정보를 담고 있다. 본 연구에서는 3차원 공간을 이루는 격자의 가로, 세로, 높이가 서로 다른 길이를 가질 수 있도록 설계했다. 위계임 모델 내에서 표적이 제공받을 수 있는 환경 인자는 필드명 Fld1에서 FldN까지 기록되어 있다.

각 격자의 환경 인자별 값은 ‘사용자지정이름_1’부터 n까지의 테이블에 저장되며, n은 사용자가 지정한 시간간격마다 1씩 증가한다. 이 테이블에서 일련번호인 ‘ID’로 3차원 공간의 위치를 알 수 있는데, 일련번호의 나열순서는 그림 7과 같다. 이 나열순서는 Deutsch 등(1997)에 의해 제안된 포맷을 따른 것이다. 본 연구에서 3차원 보간을 위해 사용한 S-GeMS SW의 산출물 ASCII와 Binary

파일 역시 이 포맷을 따르고 있다.

합성환경 데이터베이스에서 특정지점의 환경정보는 보간 영역의 범위, 한 격자의 크기 정보 등을 이용하여 식 (1)로 추출하였다. 식 (1)에서 결정되는 값은 보간 결과 테이블의 일련번호 정보인 ‘ID’이다. 식 (1)에서 열(col)이 X축, 행(row)이 Y축, lyr이 Z축의 격자 개수보다 큰 경우는 그 위치가 보간 영역을 벗어난 것이기 때문에 합성환경 정보가 추출 되지 않는다. (OrgX - XreSol / 2) 또는 (OrgY - YreSol / 2) 또는 (OrgZ - ZreSol / 2) 값이 음인 경우도 해당 위치가 영역 내에 없는 것이기 때문에 합성환경 정보가 추출되지 않는다.

$$\begin{aligned}
 Ac &= col + ((row - 1) \times Xcnt) + (Xcnt \times Ycnt \times (Lyr - 1)) \\
 col &= trunc((x - (OrgX - XreSol/2))/XreSol) + 1 \\
 row &= trunc((y - (OrgY - YreSol/2))/YreSol) + 1 \\
 lyr &= trunc((z - (OrgZ - ZreSol/2))/ZreSol) + 1
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Ac : 특정지점 X, Y, Z의 대기환경 정보가 합성환경 데이터베이스의 보간 결과 테이블에서 갖는 일련번호

x : 특정지점의 X 좌표

y : 특정지점의 Y 좌표

z : 특정지점의 Z 좌표

col : X 좌표에 대한 보간 영역 좌하단 으로부터의 X축 격자 개수

row : Y 좌표에 대한 보간 영역 좌하단 으로부터의 Y축 격자 개수

lyr : Z 좌표에 대한 보간 영역 좌하단 으로부터의 Z축 격자 개수

Xcnt : X축 격자의 총 개수

Ycnt : Y축 격자의 총 개수

Zcnt : Z축 격자의 총 개수

trunc : 소수점 이하 절사

XreSol : 한 개 격자의 X축 길이

YreSol : 한 개 격자의 Y축 길이

ZreSol : 한 개 격자의 Z축 길이

OrgX : 보간 영역 좌하단 격자의 중심점 X좌표

OrgY : 보간 영역 좌하단 격자의 중심점 Y좌표

OrgZ : 보간 영역 좌하단 격자의 중심점 Z좌표

본 연구에서 설계한 합성환경 DB구조는 DB를 기반으로 하기 때문에 파일 기반의 DB구조에서 고려할 수 없었던 특정 지역의 환경변화를 즉각 반영할 수 있다. 이는 위

게임 모델 내의 표적에 지역적인 합성환경의 환경변화를 제공 할 수 있음을 의미한다.

4. 분포형 합성환경자료의 군사시뮬레이션 적용

4.1 군사시뮬레이션 시나리오 및 정보 흐름

본 연구에서 설계한 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다. 작전지역은 제주도 지역으로 정면80km, 종심50km로 정의하고, 청군은 시뮬레이션 시작 시 모의 전투공간에서 서편 X-127,000m, Y-187,000m, Z-50m에 위치해 있다. 홍군은 청군의 위치로부터 동쪽 60km(좌표 X-187,000m, Y-187,000m, Z-50m) 지점에 위치해 있다. 시뮬레이션이 시작되면 청군과 홍군은 9월 9일 18시부터 서로를 향해 이동을 시작하며 상대방이 위치했던 지점에 도착할 때까지 주야간을 구분하지 않고 이동한다. 청군은 동쪽으로 이동하여 홍군의 출발지점에 도착할 때까지 이동하며 홍군은 서쪽으로 이동하여 청군의 출발지점에 도착할 때까지 이동한다. 이동 중 청군과 홍군은 서로를 탐지하려고 한다.

본 연구의 시뮬레이션에서 가정 사항은 다음과 같다. 청군의 이동체는 K1A1 전차이며 홍군은 천마호 전차로 가정하였다. 청군과 홍군의 야지 최대속도는 40km/h로 가정하였다. 청군 K1A1 전차의 센서 최대탐지거리(Sr)는 주간에는 5km 야간에는 TOD(열상장비)를 사용하여 4km 인 것으로 가정했다. 홍군 천마호 전차의 센서 최대탐지거리는 주간에는 청군과 동일하게 5km 이지만 야간에는 IR 센서 장비를 사용하여 2.5km인 것으로 가정했다.

청군과 홍군의 거리가 센서 최대탐지거리 보다 작으면 탐지를 시작한다. 청군과 홍군 간의 탐지에는 지형기복이 없는 것으로 가정한다. 탐지능력은 센서 성능과 탐지거리, 탐지비율, 환경지연계수에 의해 영향을 받는다. 청군과 홍군은 모두 자신이 이동할 수 있는 최대 속도로 이동 하지만 실제 이동속도는 강수 조건과 지형구분의 환경에 의해 좌우된다. 주간은 06시~19시이며, 야간은 19시~06시로 가정했다.

시뮬레이션에서 청군과 홍군 간의 탐지확률과 야지 이동속도는 각각 식 (2)와 식 (3)을 적용하여 결정했다. 식 (2)에서 탐지비율(Z), 도로 지연 계수(Road), 경사도 지연 계수(Slope)는 모두 1을 적용하여 동일하다고 가정했다.

$$\text{탐지확률}(P) = Z \times E \times Se \times D \tag{2}$$

$E = \text{Road} \times \text{Slope} \times \text{Rainfall} / \text{Terrain}$

Z : 탐지비율(센서민감도)

E : 환경 지연 계수

Road : 도로 지연 계수

Slope : 경사도 지연 계수

Rainfall : 강수량 지연 계수

Terrain : 지형 지연 계수

Se : 센서 장비 계수

D : 거리 지연계수

$$\text{야지이동속도}(V) = V_m \times E \tag{3}$$

V_m : 최대 이동 속도

E : 환경 지연 계수

센서 장비 계수(Sensor Equipment Coefficient, Se)는 장비 유형과 강수 환경에 따라 표 3의 계수를 적용하였다. 강수환경은 시간당 강수량에 따라 세우(細雨), 중우(中雨), 강우(強雨), 폭우(暴雨)로 구분하였으며, 장비는 TOD, IR(적외선), 가글, 육안을 고려하였다.

지형구분에 따른 지형지연계수(Terrain)는 산악 2.0, 구릉 1.33, 평지 1.0, 소택지 2.0, 수면 16.0 을 적용하였다. 강수량 지연 계수(Rainfall)는 맑음 1.0, 세우 0.9, 중우 0.5, 강우 0.3, 폭우 0.1로 적용하였다. 거리 지연계수는 청군과 홍군 사이의 거리가 가까울수록 크고 멀수록 작다. 상호 간의 거리가 4.1km 이상일 때는 0.6이며 거리가 1km 감소할 때마다 계수는 0.1씩 증가한다. 거리가 1km 이하일 때는 1을 적용하였다. 본 연구에서 사용한 기상모의 및 센서탐지 모의논리, 통제변수 등은 창조21 모델을 일부 준용한 가상 데이터이다. 창조21 모델은 1996년에 육군 교육사에서 개발한 군단·사단급 전투지휘 훈련용 모델을 말한다.

그림 8은 본 연구에서 개발한 주요 모듈과 시뮬레이션 시간에 따른 정보 흐름 순서를 표현한 것이다. 시뮬레이션 모듈은 시뮬레이션의 시작과 끝을 통제한다. 시뮬레이션이 시작되면 시뮬레이션 모듈은 2D GIS Map 모듈과 합성환경DB 모듈에 시뮬레이션 시작을 알리며 시각과 각

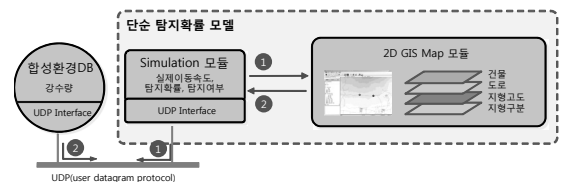


그림 8. 본 연구에서 개발한 군사시뮬레이션 주요 모듈 및 정보 흐름

표 3. 청·홍군 장비별 센서 장비 계수

구분	강수량 (mm/h)	센서 장비 계수(Se)			
		TOD	IR	가글	육안
세우	1 - 3	0.33	0.15	0.6	0.5
중우	4 - 8	0.17	0.1	0.4	0.25
강우	9 - 15	0.033	0.025	0.12	0.05
폭우	16이상	0.01	0.01	0.04	0.0125

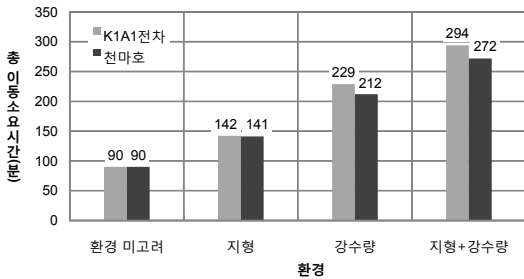


그림 9. 합성환경 고려 시 총 이동소요시간 변화 (대기환경의 공간해상도 Level-1 적용 시)

이동체의 위치정보를 전달한다. 2D GIS Map 모듈은 각 이동체의 위치에 대한 지형고도, 지형구분 자료를 추출하여 시뮬레이션 모듈에 전달하고 각 이동체의 위치를 지도에 표시한다. 합성환경 DB는 각 시각과 이동체 위치에서의 강수량 자료를 추출하여 시뮬레이션 모듈에 전달한다. 시뮬레이션 모듈은 전달 받은 정보를 활용하여 실제이동 속도, 탐지확률, 탐지여부를 계산하고 다음 이동체의 위치를 결정하여 2D GIS Map 모듈과 합성환경DB 모듈에 전달하며 시뮬레이션을 계속 진행시킨다.

4.2 시뮬레이션 결과 분석

본 연구의 시뮬레이션을 통해 획득한 결과는 첫째 모의 전투공간 상에서 청군과 홍군의 총 이동소요 시간이다. 합성환경을 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 총 이동소요 시간을 비교할 수 있었다. 둘째 청군이 홍군을 발견하기까지 소요한 시간과 이동거리를 합성환경 고려 이전과 이후로 구분하여 비교했다. 셋째 홍군이 청군을 발견하기까지 소요한 시간과 이동거리를 합성환경 고려 이전과 이후로 구분하여 비교했다.

표 4는 시뮬레이션 결과를 종합한 것으로 지형, 강수량의 환경조건을 고려 했을 때와 고려하지 않았을 때의 총 이동소요시간, 탐지확률 산출결과이다. 표 4의 시뮬레이션 결과는 Level-1~Level-3의 공간해상도별로 10번의 시뮬레이션을 수행하여 획득한 평균값이다.

청·홍군 장비의 총 이동소요시간 측면에서 그림 9와 같이 환경 미고려 시 청·홍군의 총 이동소요시간은 90분으로 동일하며, 지형조건 고려 시 141분~142분으로 환경 미고려 시에 비해 약 1.6배 차이가 발생했다. 강수환경 고려 시에는 총 이동소요시간이 211분~229분(약 2.4배)이 소요되며 지형조건과 대기환경을 모두 고려했을 때는 272분~296분(약 3배)이 소요된다. 즉 지형조건과 강수환경을 고려했을 때는 미고려 시에 비해 총 이동소요시간에서 약 3배 이상 차이가 있음을 확인할 수 있다.

이와 같이 청군과 홍군의 총 이동소요시간에 차이가 발생하는 이유는 이동 중 서로 다른 강수환경을 겪고 있기 때문이다. 기존 군사시뮬레이션에서는 모든 전장의 강수환경이 동일하다고 가정하기 때문에 동일 경로를 지나 는 청군, 홍군의 이동시간이 동일했다. 그림 9의 환경 미고려 시 시뮬레이션 결과가 이를 대변한다. 그러나 본 연구에서는 시간과 공간에 따라 강수량 차이가 있는 분포형 강수환경자료를 시뮬레이션에 적용하였다. 따라서 서로를 향해 이동하는 청군과 홍군이 동일 지점을 통과하더라도 그 당시의 강수환경에 차이가 있고 이것이 이동시간에 반영되고 있는 것이다.

탐지 측면에서는 환경 미고려 시 최초 탐지시각과 청·홍군 탐지회수에 큰 차이가 없다. 이는 청·홍군이 탐지가능거리에서 마주쳤을 때 탐지확률이 0.7 이상의 높은 확률을 보이기 때문이다. 반면 지형조건만을 고려했을 때는 청군과 홍군 사이의 탐지회수에 약 1회 정도 차이가 나며 이는 청군의 탐지가능거리가 홍군에 비해 우세하기 때문에 청군의 탐지회수가 많은 것으로 판단된다. 즉 지형조건 반영으로 탐지가능거리에 차이가 발생하고, 청군이 홍군보다 많은 탐지시도를 할 수 있게 됨으로써 낮은 탐지확률에서도 홍군을 발견할 수 있게 된다. 이에 따라 최초탐지시각 역시 청군이 홍군보다 약 2분 빠르며, 홍군은 청군에 근접하여 탐지확률이 산술적으로 높아졌을 때 청군을 탐지하게 된다. 본 연구에서 탐지여부 결정 모듈은 육군의 전투지휘훈련용 모델인 창조21 모델의 탐지여부 결정과정을 준용하여 탐지확률을 결정하고 난수를 발생시켜 그 값이 탐지확률 보다 작거나 같으면 탐지에 성공하는 것으로 설계하였다. 표 4의 최초탐지시 탐지확률은 탐지에 처음 성공한 때(난수가 처음 탐지확률보다 작거나 같을 때)의 탐지확률이다.

강수환경 조건 또는 지형조건과 강수환경 조건을 모두 고려했을 때 역시 홍군과 청군 사이의 탐지회수에 차이가 나타난다. 이를 통해 시뮬레이션에 지형, 강수 등 합성환경을 반영하였을 때 탐지에 많은 영향을 미치고 있음을

표 4. 시뮬레이션 결과 종합

구 분	분석항목	대기환경의 공간해상도(X, Y, Z)			
		Level-1 (200,200,100)	Level-2 (400,400,200)	Level-3 (600,600,400)	
환경 미고려	청군	홍군탐지회수	5.7	-	-
		최초탐지시각	18:42:36	-	-
		최초탐지시 탐지확률	0.760	-	-
		총 이동소요시간	90분(19:30:00)	-	-
	홍군	청군탐지회수	5.7	-	-
		최초탐지시각	18:42:24	-	-
		최초탐지시 탐지확률	0.780	-	-
		총 이동소요시간	90분(19:30:00)	-	-
지형조건 고려	청군	홍군탐지회수	4.4	-	-
		최초탐지시각	19:06:06	-	-
		최초탐지시 탐지확률	0.390	-	-
		총 이동소요시간	142분(20:22:00)	-	-
	홍군	청군탐지회수	2.7	-	-
		최초탐지시각	19:08:12	-	-
		최초탐지시 탐지확률	0.415	-	-
		총 이동소요시간	141분(20:21:00)	-	-
강수환경 고려	청군	홍군탐지회수	0.9	1.5	0.9
		최초탐지시각	20:39:17	20:41:53	20:43:00
		최초탐지시 탐지확률	0.078	0.096	0.077
		총 이동소요시간	229분(21:49:00)	228분(21:48:00)	231분(21:52:00)
	홍군	청군탐지회수	0.6	0.5	0.5
		최초탐지시각	20:39:40	20:41:00	20:43:15
		최초탐지시 탐지확률	0.077	0.085	0.060
		총 이동소요시간	212분(21:32:00)	214분(21:36:00)	214분(21:36:00)
지형조건 + 강수환경 고려	청군	홍군탐지회수	1.4	1.4	2.2
		최초탐지시각	21:18:54	21:17:15	21:18:27
		최초탐지시 탐지확률	0.134	0.125	0.136
		총 이동소요시간	294분(22:54:00)	293분(22:53:00)	296분(22:56:00)
	홍군	청군탐지회수	1.0	0.8	0.7
		최초탐지시각	21:19:10	21:17:30	21:20:36
		최초탐지시 탐지확률	0.147	0.112	0.143
		총 이동소요시간	272분(22:32:00)	272분(22:32:00)	272분(22:32:00)

* 표에서 강수환경만이 공간해상도를 갖는다. 지형조건(지형고도, 지형구분)은 폴리곤 벡터로 구축되어 있기 때문에 공간해상도의 개념이 없다.

알 수 있다.

환경 미고려 시 청·홍군간 최초탐지시각 차이는 평균 12초 이며, 지형조건을 고려했을 때는 평균 2분 차이가 발생했다. 그리고 강수환경을 고려했을 때는 약 15초~53

초 차이가 발생했으며, 지형조건 및 강수환경을 고려했을 때는 약 15초~129초 차이가 발생했다. 그림 10에서 지형과 강수량을 고려 했을 때 강수량만 고려 했을 때에 비해 오히려 탐지확률이 높은 이유는 청·홍군간 조우시간과 지

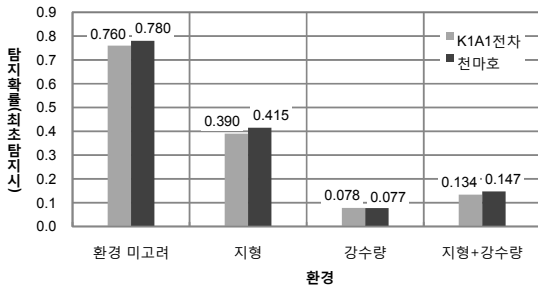


그림 10. 합성환경 고려 시 탐지확률 변화사례 (대기환경의 공간해상도 Level-1 적용 시)

점이 달라지면서 강수조건이 중우(中雨), 세우(細雨)로 차이가 발생했고 탐지확률 계산 시 강수조건이 타 조건에 비해 강조되어 중우, 세우의 영향이 심화되었기 때문이다. 이와 같은 결과는 모든 전장을 동일 환경에 놓았을 때는 나타나지 않는 현상이다. 시간과 공간에 따라 다른 환경이 분포하고 있고 현재 시뮬레이션이 진행되고 있는 공간이 어느 지역인가에 따라 지역적 환경조건이 시뮬레이션에 반영되는 양상을 보여주고 있는 것이다.

마지막으로 Level-1에서 level-3의 서로 다른 해상도를 적용하여 시뮬레이션을 진행하였으나 본 연구의 시뮬레이션 시나리오 상에서는 위 해상도의 구분이 시뮬레이션 결과에 큰 차이를 발생시키지는 않았다. 따라서 본 연구의 시나리오와 유사한 군사시뮬레이션을 수행할 때는 Level-3 수준의 해상도를 갖는 강수환경 자료를 사용하는 것이 유용할 것으로 판단된다.

5. 결 론

육군의 대표적인 군사단급 훈련용 창조21 모델의 기상모의 논리, 센서탐지논리의 개념을 일부 준용하여 탐지확률 논리를 수학적으로 표현한 『단순 탐지확률 모델』을 2D GIS 기반으로 개발하고 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 모든 전투공간에 동일한 기상자료를 부여하지 않고, 작전지역별 상이한 분포형 시간당 강수량 자료를 『단순 탐지확률 모델』에 적용해 봄으로써 그 유용함과 필요성을 확인할 수 있었다. 구체적으로 작전지역내 지역별 상이한 분포형 기상자료는 전국적으로 동일한 기상자료를 부여했을 때와 다른 창-홍군 장비의 총 이동소요시간과 탐지확률에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 이러한 시뮬레이션 적용 연구결과는 ‘분포형 합성환경자료-특히 강수환경’이 군사시뮬레이션에 탐지논리 변수로 반영되어 모의결과의 충실도를 향상시킬 수 있음을 의미한다. 이

연구결과는 합성환경의 군사시뮬레이션 적용 시 모델 해상도(전구급~공학급), 용도(훈련용, 분석용), 모사 수준(군단급~대대급)에 따라 다양하게 작전지역별 상이한 국지기상을 반영한 분포형 합성환경 제공이 가능함을 보여주었다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가지고 있다. 첫째, 국방M&S환경에서 다루려는 육상, 해양, 대기, 우주 분야의 합성환경 중에서 육상, 대기 환경의 매우 제한적인 인자에 국한하여 연구를 하였다. 특히 대기환경 인자 중에서 군사적 활용도가 높은 강수량에 대해서만 연구를 하였고 기온, 풍향, 풍속, 적설, 습도, 안개 등 군사적으로 중요한 다른 기상요소에 대해 고려하지 못했다는 점이다. 둘째, 군사시뮬레이션의 상호운용성과 재사용성을 위해 실제 군에서 운용중인 모델과 연동표준기술구조(High Level Architecture, HLA)/연동기반체계(Run Time Infrastructure, RTI) 기반 하 합성환경 페더레이션을 구성하여 분포형 합성환경 자료를 모델 논리에 반영하여 피해결과를 산출하지 못한 점이 아쉬움으로 남는다.

본 연구에 대한 향후의 연구과제는 한국군 합성환경의 2~4차원 DB 표준화 및 레파지토리(Repository) 구축 연동, 분포형 합성환경 페더레이션 구축 적용, 육상-해양우주 영역의 합성환경에 대한 모의자료 구축과 표현에 관한 모델링 기법 연구일 것이다.

감사의 글

이 논문은 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(UD080042AD).

참 고 문 헌

1. 공군본부, *공군교범 0-1 공군 기본교리*, 2002년.
2. 공군전투발전단, *ROC 작상 시험평가 작전운영을 위한 기상환경지침서*, pp. 29-72, 2004년.
3. 김만규, “충청도 병천천 유역에 대한 “물리결정 물수지 모델-BROOK90”의 지형, 식생, 토양 Parameter 획득 연구와 a priori simulation 결과 해석,” *한국지형학회지*, 15(1), pp. 37-52, 2008년 3월.
4. 김만규, 박종철, “수치표고모형(DEM)의 해상도가 물리 결정 일괄 매개변수 물수지 모델의 모의 결과에 미치는 영향 평가,” *한국지리정보학회지*, 11(3), pp. 151-165, 2008년 9월.
5. 김지연, 김해중, 신기태, 박진우, “운영 효율성과 환경 영향을 고려한 공급사슬 평가에 관한 연구,” *한국시뮬레이션학*

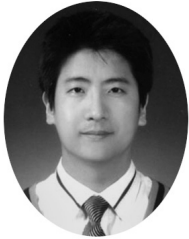
- 회 논문지, 16(3), pp. 29-38, 2007년 9월.
6. 문홍일, 한순홍, “SEDRIS를 이용한 디지털 생산 시물레이션과 합성 환경 매핑,” *한국시물레이션학회 논문지*, 14(2), pp. 15-24, 2005년 6월.
 7. 박노옥, 장동호, “수치표고모델과 다변량 크리깅을 이용한 기온 및 강수 분포도 작성,” *대한지리학회지*, 43(6), pp. 1002-1015, 2008년 12월.
 8. 박종철, *물리결정 물수지 모델을 이용한 환경변화의 수문학적 영향 예측 - 용담댐 상류 구량천 유역을 사례로*, 박사학위논문, 공주대학교, pp. 46, 2009년 2월.
 9. 박종철, 김만규, “공동 크리깅을 이용한 강수 분포도 작성에서 지형 사면방향 변수 사용에 대한 연구: 제주도를 사례지역으로,” *한국지형학회지*, 16(3), pp. 59-66, 2009년 9월.
 10. 변재정, 이성기, 윤호상, 이우민, 박재현, 이상호, *합성가상 전장환경 운영개념 연구*, 국방과학연구소, pp. 1-122, 2002년.
 11. 손미애, “합성환경 표현 및 교환명세(SEDRIS) 소개,” *국방정책연구*, 59, pp. 99-127, 2003년 7월.
 12. 육군본부, *전장기능별 운용개념 및 요구능력*, 1998년.
 13. 육군본부, *야전교범 6-32 지형 및 기상정보*, 2001년.
 14. 육군본부, *야전교범 0 지상군 기본교리*, 2005년.
 15. 윤지원, *실시간 시물레이션 연동을 위한 SEDRIS 기반의 GIS 데이터 변환에 관한 연구*, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 1-20, 2004년 2월.
 16. 이성기, 윤호상, 이우민, 박재현, 이상호, 변재정, “3D 전투 모의엔진 설계 및 구현방안,” *통신/전자 학술대회*, pp. 221-226, 2002년 5월.
 17. 이승호, 허인혜, 이경미, 권원태, “우리나라 상세기후 지역의 구분,” *한국기상학회지*, 41(6), pp. 983-995, 2005년 12월.
 18. 최광준, 안조범, 용환호, *김해지역 지하수 기초조사 보고서 3.3 지형 및 지세*, 한국농어촌공사, pp. 21-27, 2005년 12월.
 19. 해군본부, *해군교범 0 해군 기본교리*, 2007년.
 20. Boyd, J.D. and Frilot, D., *Final Report Master Environmental Library, Task 1: Environmental Requirements*, NRL/MR/7332--96-8004, Naval Research Laboratory, pp. 1-65, May 1996.
 21. Burrough, P. A. and McDonell, R.A., *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press. New York. pp. 190, Apr. 1998.
 22. Chu, T.H. and Tsai, T.H., “Comparison of accuracy and algorithms of slope and aspect measures from DEM,” *Proceedings of GIS AM/FM ASIA'95*, Bangkok, vol. I, pp. 1-11, Aug. 1995.
 23. Deutsch, C.V. and Journel, A.G., *GSLIB: Geostatistical Software LIBrary and User's Guide*, 21th Ed., Oxford University Press, New York, Aug. 1997.
 24. Horn, B.K.P., “Hill shading and the reflectance map,” *Proceedings of IEEE*, vol. 69, no. 1, pp. 14-47, Jan. 1981.
 25. Hummel, J.R. and Blake, D.W., “What Constitutes a Verified and Validated Natural Environment Representation?,” *Simulation Interoperability Workshops*, Orlando, 01F-SIW-083, Sep. 2001.
 26. James, R.H., *SEDRIS Data Model*, <http://www.se dris.org>, 1998.
 27. Johnston, K., Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N., *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, ESRI, pp. 131-166, Jul. 2001.
 28. Sharpnack, D.A. and Akin, G., “An Algorithm for computing slope and aspect from elevations,” *Photogrammetric Engineering*, vol. 35, no. 3, pp. 247-248, Mar. 1969.
 29. Siquig, R.A. and Lowe, S.J., *THE MASTER ENVIRONMENTAL LIBRARY: An Environmental Data Source for DOD Applications*, Defense Technical Information Center, Naval Research Laboratory, pp. 16-19, Oct. 1996.
 30. Unwin, D., *Intoductory Spatial Analysis*. Methuen, London and New York, 1981.
 31. Zhou, Q. and Liu, X., “Error analysis on grid-based slope and aspect algorithms,” *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 70, no. 8, pp. 957-962, Aug. 2004.



조 내 현 (jooonh@hanmail.net)

1983 전남대학교 화학공학과 학사
1987 국방대학원 운영분석학과 석사
2010 공주대학교 대학원 군사과학정보학과 이학박사
2001~2008 육군본부 분석평가단 근무
2009~현재 육군전투지휘훈련단 전투모의처 DB관리과장

관심분야 : 모델링&시물레이션, 합성환경, M&S VV&A



박 종 철 (jcp@kongju.ac.kr)

2001 공주대학교 지리학과 학사
2003 공주대학교 지리정보학과 석사
2009 공주대학교 대학원 지리정보학과 이학박사
2010~현재 공주대학교 지리정보과학연구소 연구교수

관심분야 : 모델링&시물레이션, 합성환경, 지리정보체계



김 만 규 (aquasia@kongju.ac.kr)

1988 고려대학교 지리교육과 학사
1991 고려대학교 대학원 지리학과 석사
1997 독일 카를로 빌헤르미나 쥘 브라운슈바이크 과학기술대학교 이학박사
1998~현재 공주대학교 지리학과 교수

관심분야 : 모델링&시물레이션, 합성환경, 환경모델링