

# 프랙탈 차원과 에이전트 기반 시뮬레이션을 이용한 지형이 전투효과에 미치는 영향 연구

조성진<sup>1</sup> · 이상현<sup>1†</sup>

## Applying Fractals and Agent-Based Simulation to Explore the Role of Terrain in Combat Effectiveness

Sungjin Cho · Sangheon Lee

### ABSTRACT

In the past, most of battle occurred in flatland and simple military force size gave a big influence in combat result. However, after the World War I, most of battles took place at the various terrain features such as forest, downtown, jungle and many others. Therefore, terrain factor exerts big influence on battle with weapon system in the ground warfare. However, effect of terrain has been explained only by quantitative manner in the battle. Furthermore, combat simulation and modeling applied a method that lower the combat capability of battle factors. In this paper, we present instrumentation that evaluate impact of terrain using fractal dimension. We determine the fractal dimension value by the “box counting dDimension” and density to calculate impact of terrain. Furthermore, we analyzed correlation with fractal dimension and density for battle result that obtained from the EINSTEIN model which is an agent-based simulation. We compare with ‘Stalingrad battle’ result out of battle example and analyzed. This study presented a method combat effectiveness that effect of terrain calculate quantitatively using fractal dimension.

**Key words** : Combat effectiveness, Agent-based simulation, Fractal, Terrain

### 요약

과거에는 평지에서의 전투가 대부분이었고 단순한 병력 크기가 전투 승패에 큰 영향을 주었다. 1차대전 이후 숲, 도심, 정글 등과 같은 다양한 지형에서 전투를 치루기 때문에 지상전에서 지형요소는 무기체계와 함께 전투에 큰 영향을 미친다. 지금까지 전투에서 지형의 영향은 정성적으로만 설명되었으며 워게임, 교전시물레이션에서는 전투요소들의 능력치들을 낮추는 방법을 적용하였다. 본 연구에서는 프랙탈 차원을 이용하여 지형의 영향을 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 연구 방법으로 정량적인 지형의 영향도를 구하기 위해 Box Counting Dimension 계산을 이용한 프랙탈 차원 값과 지형의 밀도를 특성 값으로 정하였다. 또한 에이전트 기반 시뮬레이션인 EINSTEIN 모델에서 구한 전투 결과를 바탕으로 프랙탈 차원과 밀도에 대한 상관도를 분석하였으며 과거 전투 사례 중 ‘스탈린그라드 전투’ 결과와 비교하여 분석하였다. 본 연구는 정성적으로 설명되던 지형의 영향을 프랙탈 차원을 이용하여 정량화함으로써 새로운 전투효과도 평가방법을 제시하였다.

**주요어** : 전투효과도, 에이전트 기반 시뮬레이션, 프랙탈, 지형

## 1. 서론

전쟁사를 통해 전투시 승패에 가장 큰 영향을 미치는

요소는 병력의 크기일 것이다. 전투 모형에 반드시 포함되는 변수도 병력의 크기이다. 그러나 병력만 고려하는 전투모형은 1차대전 이전까지만 유효하게 사용될 수 있다. 근대에 이르기 전에는 지형의 영향이 거의 없는 평원에서의 전투가 대부분이었다. 소총 발사율은 분당 2발 정도로서 대규모 병력은 큰 화력을 집중할 수 있었기 때문에 승패의 중요한 요소가 되었다. 대포 또한 마찬가지로

2009년 6월 15일 접수, 2009년 11월 24일 채택

<sup>1)</sup> 국방대학교 운영분석학과

주저자 : 조성진

교신저자 : 이상현

E-mail; leesangh@kndu.ac.kr

황이었으며 1차대전 전의 참호전이 있기까지 전투에서 지형의 영향은 그다지 크지 않았다. 지형이 전투에 미치는 특성은 전투개체가 가진 전투능력을 감소시킨다는 점이다. 도심과 정글에서의 전투는 조밀한 지형의 방해로 짧은 거리에서 전투를 수행해야 하며 사정거리가 긴 무기체제와 전차, 장갑차 등 차량의 이동 능력을 저하시킨다.

1차대전 전 참호전은 전진 속도를 느리게 하여 공격에 노출되는 시간을 증대시켰으며 기관총의 보편화로 보병들은 집중된 형태를 유지할 수 없었다. 2차대전 이후에는 지형을 엄폐물로 이용하여 더 산개된 형태로 전투를 수행하였다. 본격적인 도심지역 전투가 시작되었으며 공격측은 큰 피해를 입기도 하였다. 지형이 전투에 큰 영향을 준 사례로는 2차대전 때 스탈린그라드 전투, 마켓가든 작전, 구 일본군의 임펄 작전, 벌지 전투와 전후 베트남전 때 후에(Hue) 전투, 소말리아와 이라크에서 미군이 치룬 게릴라와의 시가전 등이 있다(합동참모본부, 2004).

효율적인 전투수행 결과를 표현하는 방법의 하나로 전투효과도를 사용한다. 전투효과도를 나타내는 척도(MOE : Measure Of Effectiveness)로는 손실의 크기를 주로 사용한다. 기존 평가방법으로는 란체스터 모형을 가장 많이 사용하였다. 란체스터 모형은 전투병력의 크기를 주 입력값으로 사용하여 전투결과를 산출한다(김충영 등, 2004; Chen 등 2001; Lucas 등, 2004). 그리고 지형의 영향을 승수의 개념으로 적용한 연구도 있지만 지형의 특성만 적용한 것으로서 지형의 형태를 반영하지는 못 하였다(원은상, 1999).

본 연구에서는 지형 형태가 전투에 미치는 영향을 평가하기 위해 프랙탈(fractal) 차원을 이용한 방법을 제시하고자 한다. 또한 지형에 따른 전투 결과를 실험하기 위해 에이전트 기반 시뮬레이션(ABS : Agent Based Simulation)을 사용하였으며 실험결과를 통하여 프랙탈 차원이 지형 형태의 영향도를 평가하는데 유용함을 보이고자 한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 프랙탈 차원

프랙탈은 1975년 만델브로트가 소개한 기하학으로 자기유사성(self-similar)을 소수차원으로 표현하는 특징을 가진다(Peitgen 등, 2004; 윤영수 등, 2005).

그림 1은 대표적인 프랙탈들로서 전체와 부분에서 닮은 꼴 형태의 도형을 포함하고 있다. 프랙탈의 특징은 도형의 자기유사성을 차원 값으로 표현하는데 시어핀스키 개스킷은 1.58이고 코흐곡선은 1.26의 차원 값을 가진다.

이 의미는 각 도형들이 어느 차원에 가까운지를 나타내는 척도로 이해할 수 있다.

식 (1)은 프랙탈 차원을 계산하는 여러 가지 방법 중 일반적인 계산 방법이다. 식 (1)에서  $D$ 는 차원 값,  $d$ 는 축소율,  $N$ 은 축소율에서 닮은꼴 도형의 개수를 나타낸다.

$$D = \frac{\log N}{\log(1/d)} \tag{1}$$

### 2.2 Box Counting Dimension

BCD(Box Counting Dimension)는 프랙탈 차원을 표현하는 계산 방법 중 하나이다(Peitgen 등, 2004). BCD는 그림 1과 같은 규칙적인 도형이 아니더라도 차원을 계산할 수 있다. BCD를 이용한 프랙탈의 차원 계산방법은 다음과 같다. 먼저 패턴을 포함시키는 공간을 정한 후 격자(box) 형태로 세분화하고 패턴이 지나가는 격자의 개수를 구한다. 격자 축소율과 각 축소율 별 헤아려진 격자수에 대해  $\log$ 화하여 구한 기울기가 프랙탈 차원이 된다.

$$\log N = D \log\left(\frac{1}{d}\right) + c \tag{2}$$

식 (2)에서 차원 값  $D$ 는 식(1)과 달리 연속된 격자 축소율( $d=1/2, 1/4, 1/8, 1/16, \dots$ )에 대하여 구한 기울기이다. BCD의 의미는 대상을 계속 세분화할 때 닮은꼴 형태를 유지하기 위한 격자수의 증가율이다.  $c$ 는 상수이며  $D$ 는 0과 2사이의 값을 가진다.  $D=2$  이면 2차원 평면으로 패턴이 전체 면적을 포함하는 것을 나타내고  $D$ 가 작아질수록 패턴이 흩어져 있다는 의미가 된다.

그림 2는 세계지도에 대해 BCD를 계산한 것으로서 1.64차원 값으로 계산된다. BCD의 장점은 정형화된 도형



(a) 시어핀스키 개스킷 (1.58차원)



(b) 코흐 곡선 (1.26차원)

그림 1. 프랙탈 예와 차원값

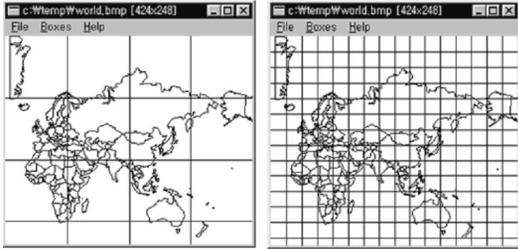


그림 2. Box Counting Dimension 예 (1.64차원)



그림 3. EINSTEIN 모형 및 시뮬레이션 화면

또는 패턴이 아니어도 프랙탈 차원을 계산할 수 있다는 점이다.

### 2.3 에이전트 기반 시뮬레이션

에이전트 기반 시뮬레이션(이하 ABS)은 다양한 형태로 구현되지만 본 연구에서는 세포 자동자(CA : Cellular Automata) 형태의 ABS를 활용하고자 한다. CA는 노이만(Neumann)의 자기복제(self-reproduction) 아이디어에서 출발하여 울프램(Wolfram)이 연구 발전시킨 것으로서 대표적으로는 콘웨이(Conway)의 ‘생명 게임(Game of Life)’이 있다(윤영수 등, 2005).

ABS는 각 에이전트가 주어진 규칙을 바탕으로 매 상황을 판단하고 적응하면서 목적인 임무를 수행하는 개념을 가진다. 특히 전투상황은 복잡한 전투 요소를 통하여 다양한 행동과 사건이 발생하게 되므로 교전결과 예측을 위해 ABS 활용은 매우 적합한 방법이다(Ilachinski, 2000; 2003). ABS를 이용한 연구로는 전투사례 연구(지승도 등, 2008; Champagne 등, 2003)와 가상의 교전을 통하여 효과적인 전력 운영방안을 제시하고자 하는 연구(이기택 등, 2000; 이동준 등 2007) 등이 있다.

대표적인 ABS 개념의 교전 분석모형으로는 미국의 IS-SAC, EINSTEIN 그리고 뉴질랜드의 MANA 등이 있으며 본 연구에서는 EINSTEIN 모형(그림 3)을 사용하였다.

### 2.4 프랙탈 차원을 이용한 전투모형 연구

ABS를 이용한 군사분야 연구는 다양하지만 프랙탈을 전투모형에 이용한 연구는 현 시점에서 Lauren의 연구가

유일한 것으로 조사되었다. Lauren(2002a, 2002b)의 연구는 화력(fire power)의 집중 정도가 전투효과에 미치는 영향을 연구하였다. 효과적인 전투를 위해서는 화력집중이 필요하며 화력집중도를 평가하는 방법으로 프랙탈 개념을 사용하였다. ABS 모형을 사용하여 교전 시나리오에 따른 전사한 에이전트들의 분포를 프랙탈 차원 값으로 산출하여 화력의 집중도로 표현하였다. Lauren의 연구는 실제로 뉴질랜드 국방기술연구소(Defence Technology Agency)가 만든 ABS 모형인 MANA 모형에서 전투결과를 분석하는 부분에 사용되고 있다.

### 2.5 기존 전투모형에서 지형영향 평가방법

전쟁사에서는 지형이 전투에 미치는 영향을 개념적으로 설명한다. 그렇지만 전투 모형을 통하여 정량적인 결과를 얻기 위해서는 다양한 지형의 종류와 형태를 어떻게 모형에 적용해야 하는지가 중요하다. 특히 지형 요소의 어려운 점은 척도의 표현이다.

전투 연구에 가장 많이 사용된 방법은 란체스터 모형이다. 란체스터 모형은 병력 크기를 바탕으로 손실률을 적용하여 전투 손실을 산출한다. 특히 손실률을 어떻게 정할 것인지가 매우 중요하다. 손실률에는 다양한 전투환경 요소들인 기동력, 무기성능, 지형, 기상, 사기 등이 융합되어 있다. Chen 등(2001)과 Lucas 등(2004)의 연구는 란체스터 모형을 이용하여 전투사례를 분석하였으며 손실률은 실제 전투자료를 바탕으로 적용하였다. 그러나 지형의 영향은 손실률 형태로 타 요소와 융합되어 표현되기 때문에 지형의 영향도를 평가하기는 어렵다.

반면 위게임이나 전투 시뮬레이션에서는 지형의 영향도를 전차, 보병 등 플랫폼의 이동속도, 이동거리를 제한하거나 교전 판정시 명중률, 손상률을 변화시키는 형태로 적용하고 있다(Dunnigan, 2000).

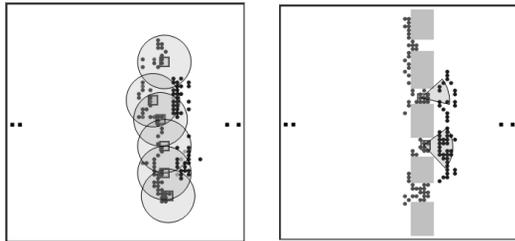
## 3. 지형의 영향 및 프랙탈 차원을 이용한 평가

### 3.1 지형의 영향

전투에 미치는 지형의 영향으로는 가시거리와 이동의 제한이 있다. 가시거리의 제한은 목표를 발견하고 공격할 수 있는 시간을 짧게 한다. 이동의 제한은 정상적인 속도를 감소시키거나 경로를 제한시킨다. 특히 도시지역 전투에서는 지형의 영향이 가장 크다. 도시지역 군사작전의 특징으로는 많은 병력이 소모되며 작전이 예상보다 장기간 수행된다는 점이다(합동참모본부, 2004). 표 1은 도시, 사막, 산악지역의 작전환경을 비교한 것이다.

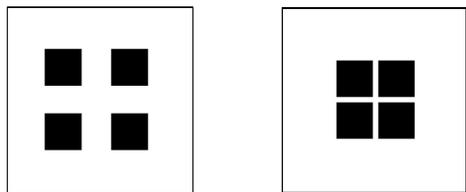
표 1. 지형에 따른 작전환경 비교(합동참모본부, 2004)

특성	도시	사막	산악
비전투원 수	다수	소수	소수
가치 있는 목표	다수	소수	소수
제한된 교전규칙	있음	없음	없음
탐지, 관측, 교전거리	단거리	장거리	중거리
접근로	다수	다수	소수
이동의 자유	불량	양호	보통
통신 기능	불량	양호	불량

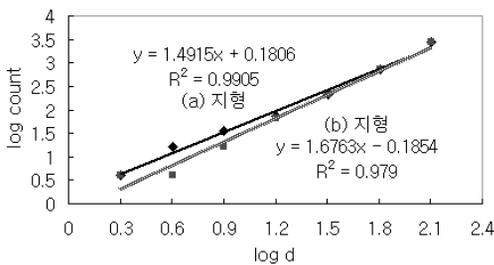


(a) 장애지형이 없는 경우 (b) 장애지형이 있는 경우

그림 4. 도시지역에서의 지형의 영향



(a) 지형 (1.492차원) (b) 지형 (1.676차원)



(c) 지형에 따른 프랙탈 차원(BCD) 계산

그림 5. 동일밀도 지형의 2가지 형태에 대한 프랙탈 차원

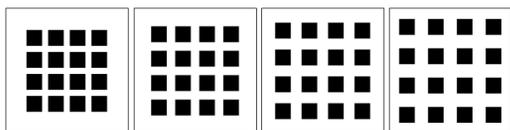


그림 6. 밀도 27%인 지형에서 4가지 조밀도 (예)

도시에 있는 건축물들의 밀도는 가시거리와 이동에 큰 영향을 준다. 가시거리와 이동속도, 이동범위의 제한은 전투시 무기체계의 성능 발휘를 저하시킴으로서 전투 능력을 감소시킨다(그림 4).

방어자는 건축물을 이용한 엄폐로 방어효율이 높아지며 공격자는 자신을 노출해야 하기 때문에 매우 불리해진다. 즉 공격자에게는 화력 집중을 위한 이동과 공격을 어렵게 한다.

### 3.2 프랙탈 차원을 이용한 평가방법

전투에서 지형영향을 평가하기 위해서는 지형의 특성을 정량적으로 측정하는 방법이 필요하다. 하나의 방법으로 건축물들이 차지하는 밀도를 측정하는 방법이 있다. 그렇지만 같은 밀도라 하더라도 간격이 넓다면 건축물에 의한 장애영향은 낮아질 것이다. 따라서 밀도만으로 장애지형의 영향을 평가하기에는 곤란하다. 본 연구에서는 밀도의 성질을 포함하면서도 장애지형의 조밀성을 측정하는 방법으로 프랙탈 차원을 사용하고자 한다.

그림 5는 동일한 밀도를 가진 지형에 대해 조밀성에 따른 프랙탈 차원을 BCD로 계산한 예이다.

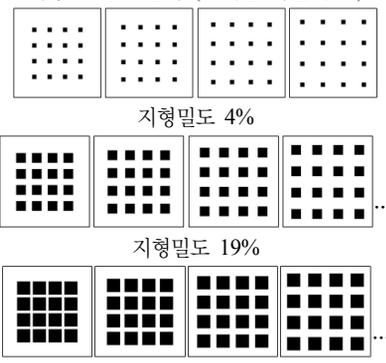
그림 5에서 (a)지형은 (b)지형보다 더 산개된 형태를 가지고 있으며 각각의 프랙탈 차원을 계산하면 (a)지형이 1.492차원으로 (b)지형의 1.676차원보다 작다. 따라서 프랙탈 차원은 지형 밀도가 동일한 경우라도 집중되거나 산개된 형태의 크기를 정량적으로 나타낼 수 있음을 보여주고 있다. 동일 밀도에서 프랙탈 값이 크다는 의미는 장애지형들이 모여서 2차원 평면에 가깝다는 의미가 되며 프랙탈 값이 작으면 지형들이 산개 되어 선이나 점에 가까워진다는 의미가 된다.

## 4. 프랙탈 차원을 적용한 실험

### 4.1 실험 구성 및 방법

실험은 EINSTEIN 모형을 사용하였으며 지형에 따른 청군과 홍군의 교전결과를 분석하였다. EINSTEIN 모형은 좌표를 이용하여 지형을 편집한다. 본 연구에서는 지형의 프랙탈과 밀도를 비교 연구하는 것이므로 정확한 밀도 편집이 가능한 EINSTEIN 모형을 사용하였다. 기본 교전 시나리오인 홍군이 공격임무를 청군이 방어임무를 수행하는 것으로 하였다. 양측의 전투능력은 동일하며 청군은 홍군의 80%의 병력을 갖추는 것으로 가정하였다. 교전에 적용할 지형의 수는 10가지 종류의 밀도에 그림 6과 같이 각 4가지 형태의 조밀도로 구분하여 총 40개이다.

표 2. 실험요소의 구분 및 내용

구분	내용
병력 크기	청군 80 vs. 100 홍군
시나리오	홍군은 지형물을 통과하여 청군을 공격
지형 밀도 (10가지)	4, 8, 10, 13, 16, 19, 23, 27, 31, 36(%)
밀도별 지형 형태 (각 4가지)	지형 조밀도 완화 (프랙탈 차원 감소)  지형밀도 4% 지형밀도 19% 지형밀도 36%
전투효과도 (2가지)	$MOE_1 = \text{홍군 손실율}$ $MOE_2 = \frac{\text{청군 손실크기}}{\text{홍군 손실크기}}$

실험시 EINSTein 모형에 적용한 전투공간의 크기는 ‘100(dot)×100(dot)’이며 홍군과 청군은 좌우 양측에 위치한다. 시뮬레이션 교전시간은 200(time step)으로 하였다. 각 지형의 프랙탈 차원 산출은 ‘Fractal Dimension’<sup>1)</sup> S/W를 사용하였으며 종합 정리한 실험요소의 구분은 표 2와 같다. 두 가지 전투효과도 중 MOE<sub>1</sub>은 홍군의 손실률

로서 지형의 조밀도에 따른 공격자의 피해를 산출한 것이고, MOE<sub>2</sub>는 홍군 손실에 대한 청군 손실결과를 비교한 것이다. MOE<sub>2</sub>가 1.0을 기준으로 작으면 지형이 방어자에게 유리한 효과를 주는 것으로 판단할 수 있다.

#### 4.2 실험 결과 및 분석

시뮬레이션 실험은 각 지형별로 50회씩 수행하였다. 그림 7은 실험결과 중 홍군(공격군)의 손실률(MOE<sub>1</sub>)을 프랙탈 차원과 밀도에 대해 나타낸 것이다. 지형이 없는 상태에서 실험시 홍군 손실률은 0.28이었다.

지형밀도 4%에서는 최소 0.33의 손실률을, 지형밀도 36%에서는 최대 0.97의 손실률을 보였다. 즉 지형이 없는 경우보다 최소 1.2배에서 최대 3.5배의 손실을 보이고 있다. 즉 우세한 병력을 가지더라도 지형의 조밀성이 높은 곳에서는 공격자에게 불리함을 알 수 있다.

그림 7은 프랙탈 차원이나 밀도가 증가할수록 홍군의 손실률 증가를 지수함수 형태의 회귀모델로 나타낸 것이다. 회귀분석 결과 손실률에 대한 결정계수는 프랙탈 차원에서 R<sup>2</sup>=0.8447이고 밀도에서 R<sup>2</sup>=0.7192로서 프랙탈 차원이 더 높은 설명력을 가지고 있으며 프랙탈 차원이나 밀도가 증가할수록 홍군의 손실률은 지수형태로 완만하게 증가함을 보이고 있다.

그림 8은 프랙탈 차원이나 밀도가 증가할수록 청군과 홍군간의 손실크기 비율(MOE<sub>2</sub>)을 선형회귀모델로 나타낸 것으로 그림 7과는 다르게 선형의 형태를 보이고 있다. 회귀분석 결과 프랙탈 차원에서는 R<sup>2</sup>=0.8676, 밀도에서는 R<sup>2</sup>=0.7475를 보이고 있어 프랙탈 차원의 설명력이 더 높음을 보이고 있다. 지형 밀도 4%에서는 손실비가 최대 2.06으로서 홍군(공격군) 1명 손실시 청군(방어군) 약 2

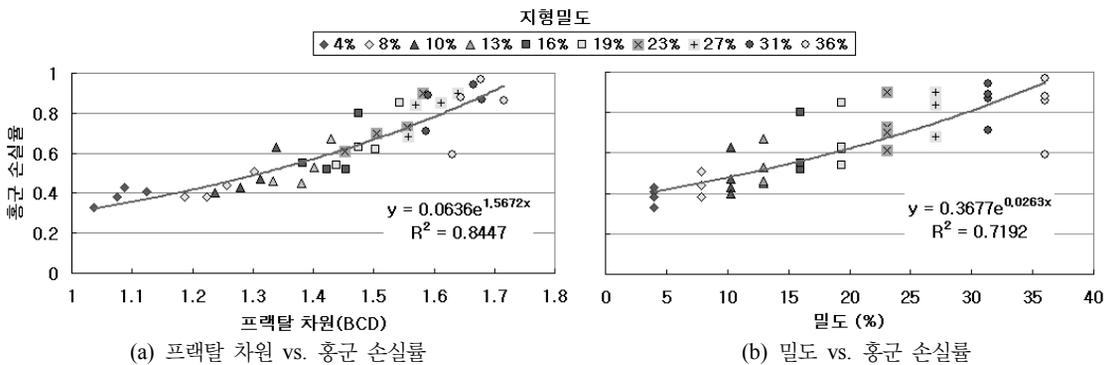


그림 7. 프랙탈 차원과 지형밀도에 대한 MOE<sub>1</sub> (홍군 손실률)

1) <http://ory.ph.biu.ac.il/SEP> (2009년 6월 검색가능)

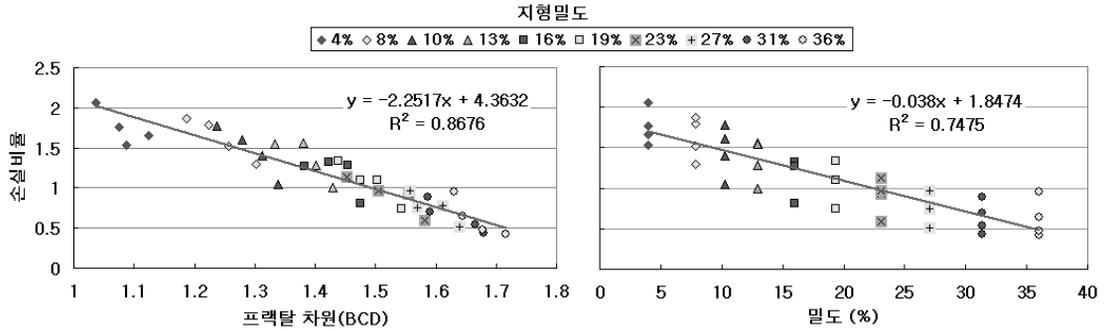


그림 8. 프랙탈 차원과 지형밀도에 대한 MOE<sub>2</sub> (손실비율=평균손실=흉근손실)

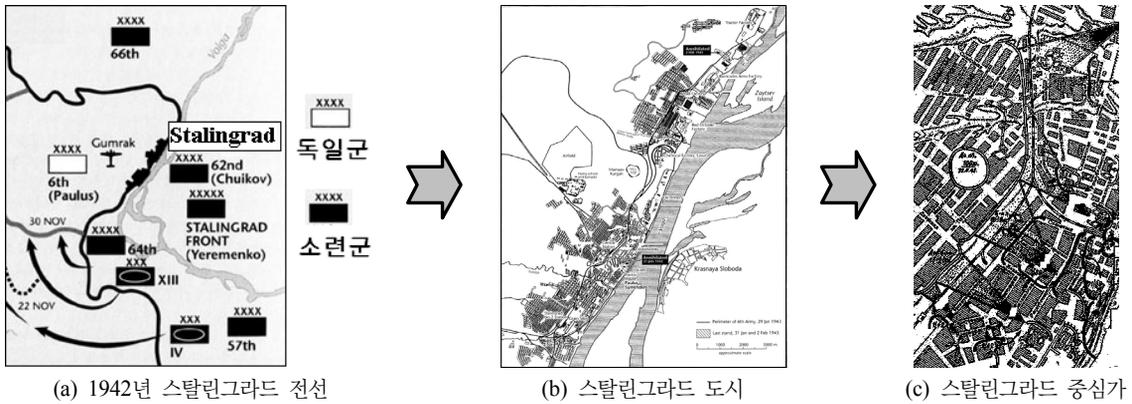


그림 9. 제2차 세계대전 중 스탈린그라드 전투지형 (예)

명 손실을 보였다. 그러나 지형밀도 36%에서는 손실비가 0.4까지 나타난 경우도 있어 지형의 조밀성은 방어자에게 유리하게 작용하고 있음을 보여준다.

그림 7과 그림 8을 통하여 프랙탈 차원이 밀도보다 지형의 영향을 평가하는데 보다 높은 설명력을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉 프랙탈 차원이 큰 지형에서는 공격군이 크게 불리하므로 전투를 회피하는 것이 전술적으로 올바른 판단이 될 것이다.

### 4.3 역사적 전투사례 적용

본 연구 방법을 대표적인 도시전투 사례인 ‘스탈린그라드 전투’에 적용하여 보았다. ‘스탈린그라드 전투’는 2차대전시 독일과 소련의 최대 격전지로 전쟁의 전환점이 된 전투이다. 그림 9(a)는 1942년 ‘스탈린그라드’를 점령한 독일군을 포위한 소련군이 반격하는 상황이다. 그림 9(b)는 ‘스탈린그라드’ 도시를 나타내고 있으며 지형평가는 도시의 중심가를 나타내는 그림 9(c)를 사용하였다.

중심가의 밀도는 76.4%이고 프랙탈 차원은 1.876으로 산출되었다. 당시 전투결과는 독일 제6군이 항복함으로써 독일군이 패하였으며 전사자는 독일군 147,000명, 소련군 478,741명 이었다(Overy, 1997). 소련군에 대한 독일군 손실비율이 0.31로서 공격자인 소련군의 손실이 매우 컸음을 알 수 있다.

본 연구에서 구한 MOE<sub>2</sub> 회귀식에 ‘스탈린그라드’ 지형의 프랙탈 차원과 밀도 값을 사용하여 계산한 결과 프랙탈 차원에서는 0.14, 밀도에서는 -1.05로 ‘독일군/소련군’의 손실비율이 산출되었다. 실제 전투결과는 0.31로서 독일군 손실이 더 크게 나타났다. 그 이유로 독일군은 겨울 전투준비가 안 되었고 보급도 제대로 이루어지지 않은 상태에서 전투를 수행했기 때문에 정상적인 전투를 할 수 없었던 것으로 판단된다. 또한 연구 자료에 의하면 공격군에 대한 방어군의 손실비율이 0.5 이하가 되면 공격을 포기한다고 한다(Dupuy, 1990). 실제 결과인 0.31을 볼 때 소련군의 공격은 인명을 경시한 것으로 볼 수 있다.

반면 MOE<sub>1</sub> 회귀식에서 프랙탈 차원은 1.2, 밀도는 2.74로 소련군 손실률이 산출되었지만 손실률은 1을 넘지 못하므로 전멸이라고 볼 수 있다. 그렇지만 실전에서는 어느 정도 손실이 발생하면 후퇴나 항복 등으로 전투가 종료하기 때문에 극단적인 전투 결과는 거의 발생하지 않는다.

## 5. 결 론

본 연구는 지형이 전투에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 프랙탈 차원 평가방법을 제시하였다. 이 방법은 전투 공간의 지형이 공격자와 방어자에 대해 누가 유리한지를 판단할 수 있는 지침으로 사용할 수 있다. 또한 전투사례에 응용하면 지형 요소가 전투에 미친 영향을 정량적으로 설명할 수 있다.

본 연구는 시작 단계의 연구로서 정성적으로 이해되어 온 지형의 영향을 정량화함으로써 새로운 전투효과도 평가 방법을 제시한 것에 큰 의의가 있다.

## 참 고 문 헌

1. 이태원, 강성진 (2000), "EINStein 모형을 이용한 복잡계 이론의 지상전 적용에 관한연구", 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol. 9, No. 1., pp. 55-66.
2. 이동준, 홍윤기 (2007), "에이전트 기반 지휘통제 모의방법론", 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol. 16, No. 3, pp. 39-48.
3. 지승도, 유용준, 정찬호, 이장세, 김재익 (2008), "에이전트 기반의 인간 미개입형 합정전투 M&S 시스템 설계 및 서해교전 사례연구", 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol. 17, No. 2, pp. 49-61.
4. 김충영, 민계료, 하석태, 강성진, 최석철, 최상영 (2004), 군사 OR 이론과 응용, 도서출판 두남.
5. 윤영수, 채승병 (2005), 복잡계 개론, 삼성경제연구소.
6. 원은상 (1999), 전력평가의 이론과 실제, 한국국방연구원 (KIDA).
7. 합동참모본부 (2004), 도시지역 작전 (원저: 미합동교범 3-06(2002)), 합동참모본부 교리훈련부.
8. Chen, P.S. and Chu, P. (2001), "Applying Lanchester's Linear Law to model the Ardennes Campaign", *Naval Research Logistics*, Vol. 48, pp. 653-661.
9. Ilachinski, A. (2000), "Irreducible Semi Autonomous Adaptive Combat (ISAAC) : An Artificial Life Approach to Land Combat", *Military Operations Research*, Vol. 5 No. 3, pp. 29-46.
10. Ilachinski, A.(2003), "Exploring self-organized emergence in an agent-based synthetic warfare lab", *Kybernetes, The International Journal of Systems & Cybernetics*, Vol. 32 No.1-2, pp. 38-76.
11. Lauren, M.K. (2002a), "Firepower concentration in cellular automaton combat models-an alternative to Lanchester", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53 No. 6, pp. 672-679.
12. Lauren, M.K. (2002b), "Fractals and Combat Modeling using MANA to Explore the Role of Entropy in Complexity Science", *Fractals*, Vol. 10 No. 4, pp. 481-489.
13. Lucas, T.W. and Turkes, T. (2004), "Fitting Lanchester Equations to the Battles of Kursk and Ardennes", *Naval Research Logistics*, Vol. 51, pp. 95-116.
14. Dunnigan, J. F. (2000), *Wargames Handbook*, 3rd Edition, Writers Club Press, USA.
15. Dupuy, T. N. (1990), *Understanding Defeat: How to Recover from Loss in Battle to Gain Victory in War*, 1st Edition, Paragon House Publishers, USA.
16. Overy, Richard (1997), *Russia's War*, 1st Edition, Penguin Books, USA.
17. Peitgen, Jurgens, Saupe (2004), *Chaos and Fractals*, 2nd Edition, Springer, USA.
18. Champagne, L., Carl, R.G., and Hill, R., (2003), "Search Theory, Agent-Based Simulation, and U-boats in the Bay of Biscay", *Proc. of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 991-998.



**조 성 진** (pkm366@snu.ac.kr)

1994 해군 OCS 임관  
2002 국방대학교 운영분석 석사  
2008 서울대학교 산업공학 박사  
2009~현재 국방대학교 운영분석학과 교수

관심분야 : 군사 O.R., 탐색이론, 최적화, 시뮬레이션



**이 상 현** (leesangh@kndu.ac.kr)

1977 육군사관학교 전기공학 학사  
1985 미 Naval Postgraduate School 산업공학 석사  
1991 미 Georgia Institute of Technology 산업공학 박사  
2000~현재 국방대학교 운영분석학과 교수

관심분야 : 최적화 및 네트워크모형, SCM, 시뮬레이션