□ 研 究 論 文 □

韓國國防經營分析學會誌
第35卷 第2號, 2009. 8. 31.

지뢰지대 밀도별 접촉확률 산정 모델링 방안

(Modeling Scheme for Calculating Encounter Probability Versus Minefield Density)

백 두 현(Baek, Doo-Hyeon)*, †이 상 헌(Lee, Sang-Heon)**

초 록

접촉확률그래프는 한 대의 차량이 지뢰지대를 임의로 통과할 때 한 발의 지뢰가 폭발될 수 있는 확률을 측정한 그래프이다. 이 지뢰지대 밀도별 접촉확률 그래프는 한국 및 미(美) 육군의 야전교범에 제시되어 있으나 실 기동에 의한 데이터인지 워게임에 의한 결과치 인지 근거가 없는 실정이다. 본 논문에서는 신뢰할 만한 자료로서 근거가 없는 접촉확률 그래프를 컴퓨터 프로그램으로 절차식 모델을 구축하여 증명한다. 구축한 프로그램으로 산출된 결과치는 접촉확률그래프에 제시된 값과 거의 유사하게 나타낸다. 따라서 본 연구에서 제시한 절차식 모델은 모델링이 요구하는 타당성 및 모델자체의 검증에 있어 충분한 조건을 갖추었으며 다수 차량의 접촉확률을 계산하는데 있어서 매우 유용하다.

ABSTRACT

The encounter probability graph is measured by the chance(in percent) that a vehicle, blindly moving through a minefield, will detonate a mine. The encounter probability graph versus minefield density is presented in ROK and US Army field manual but this graph is baseless because these data had not been presented as those of live mobility or wargame. In this paper, we verified this graph building procedure model as using computer program. The result values of program are almost like those of graph. Therefore this model for our to suggest have validation, verification that a modeling demand and we convince that this model will be useful for calculating encounter probability of multiple vehicles.

Keywords : Encounter Probability(접촉확률), Minefield Density(지뢰지대 밀도), Procedure Modeling(절차식 모델링)

논문접수일 : 2009년 5월 14일　　논문게재확정일 : 2009년 8월 26일

* 육군 제1107 공병단

** 국방대학교 국방관리대학원

† 교신저자

1. 서 론

지뢰지대 설치 및 개척은 한반도 전장에서 장애물운용과 극복이라는 관점에서 볼 때 매우 중요한 부분을 차지한다. 지뢰를 장애물로 운용하는 입장에서는 적은 비용으로 많은 효과를 볼 수 있는 장점이 있는 반면, 이를 제거하려는 장애물을 극복하는 입장에서는 난해한 문제인 동시에 제한사항이 된다[2].

장애물을 운용하고 극복하는 양자의 입장에서 지뢰가 구비하여야 하는 중요한 효과는 크게 두 가지로 고려할 수 있다. 첫째, 지뢰자체의 파괴력이다. 즉 보다 작은 부피의 지뢰몸통으로 살상력이 크다면 지뢰로서의 효과는 클 것이다. 둘째, 지뢰의 피탄 면적인 커버리지(coverage)이다. 지뢰가 접촉되어 폭발되는 범위가 크다면 이 또한 지뢰의 효과에 중요한 부분이다.

지뢰의 파괴력은 2단계로 발전되어 왔다. 과거 재래식지뢰는 화약 자체의 폭풍효과를 이용하여 차량이나 전차의 일정부분에 영향을 주어 바퀴나 궤도에 영향을 주었으나 그 후에 개발된 살포식지뢰 및 지능형지뢰는 기폭되면 화약이 일정한 방향으로 폭발력이 집중되어 그 방향에 있는 장비의 외형을 뚫어 차량이나 전차 내부의 승무원과 전자장비를 살상 및 파괴시키는 강력한 파괴력을 가지고 있다[1,3].

지뢰의 커버리지에 대한 변화는 3단계로 볼 수 있다. 재래식지뢰는 통상 압력식으로서 차량 바퀴나 전차궤도가 지뢰의 압력판을 눌러 접촉되어야만 기폭된다. 2단계는 자기감응 즉, 차량이나 전차폭 내에 살포식지뢰가 포함되면 기폭 됨으로 1단계의 재래식지뢰보다 커버리지가 증가하게 되고 3단계의 차기지뢰인 지능형지뢰는 더욱 커버리지가 증가된다[7]. 차기지뢰는 지뢰를 중심으로 반경 100m 이내에 차량이나 전차가 포함되면 자탄이 발사되어 해당 장비 상공에서 폭발하여 파괴시키는 메커니즘(mechanism)을 가지고 있다. 지뢰 한 발의 커버리지가 크다면 이러한 지뢰들이 모인 지뢰지대에 차량이나 전차가 기동하게 될 때에는 지뢰에 접촉되는 확률이 보다 클 것이다.

본 논문에서는 두 번째 지뢰의 효과인 커버리지에 대한 연구를 포함한다. 어느 한 지역에 다(多)발의 지뢰가 매설되어 있는 일정한 밀도를 가진 지뢰지대에 한 대의 차량이나 전차가 통과할 때 지뢰에 접촉되는 확률을 구하는 방법을 제시한다. 이 지뢰지대 밀도별 접촉확률(encounter probability)은 한국군 「지뢰」야전교범[7]에 접촉확률그래프로 제시되어 있다. 그러나 이 접촉확률그래프는 근거가 제시되지 않아 실 기동에 의한 데이터인지, 혹은 컴퓨터 프로그래밍에 의한 결과치 인지 확인할 수 없다. 또한 미(美) 「Mine & Countermine Operations」야전교범[12]을 확인한 결과, 이와 동일한 그래프를 발견하였다. 이러한 현상은 한국군이 미(美) 교범을 그대로 준용한 것으로 판단된다. 그러나 미(美) 교범에도 이에 대한 근거를 기술하고 있지 않아 신뢰할 만한 자료로서 근거가 부족하여 절차식 모델을 구축하여 증명을 시도하였다. 컴퓨터 프로그램 작성방법은 대표적인 컴퓨터 언어인 Visual C++ 2005를 사용하여 코드화 작업을 실시함으로써 가능하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 지뢰지대 밀도에 대한 정의를 다루고 3장에서는 접촉확률그래프에 대한 설명과 4장에서는 절차식 모델링 구축을 위한 각종 제원 및 가정 사항을 설정한다. 이를 바탕으로 5장에서는 절차식 모델링을 구축하고 6장에서는 실험결과를 제시한다.

2. 지뢰지대 밀도

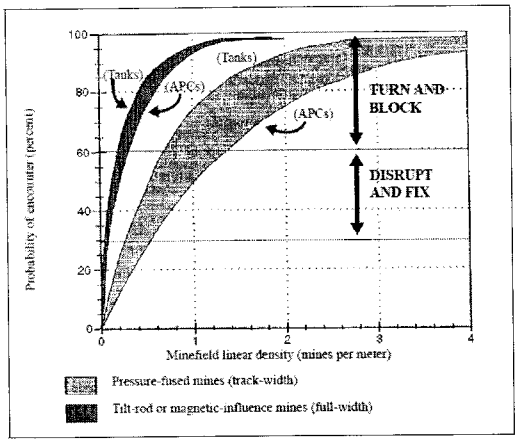
지뢰지대 밀도란 일정한 지역에 지뢰가 매설된 수량의 정도를 말한다. 현 한국군 교리상의 지뢰지대 밀도는 크게 선형밀도와 지역밀도 두 가지로 분류된다. 선형밀도는 통상 재래식 지뢰지대 설치시 사용되며, 종심에 관계없이 정면 1m당 설치되

는 지뢰의 평균수량이다. 지역밀도는 통상 살포식 지뢰지대 설치시 사용되는데 단위면적, 즉 1㎡당 포함되어 있는 지뢰의 평균수량이다[4]. 선형밀도는 지뢰지대를 1m 폭으로 보았을 때, 평균적으로 같은 수량의 지뢰를 포함하고 있으므로 일정한 간격으로 매설하는 재래식 지뢰지대에 적용 가능하다. 그러나 지역밀도는 살포식 지뢰지대처럼 일정한 간격으로 지뢰 설치가 불가할 때 사용되는 밀도로서 어느 지역에 지뢰가 불규칙하게 설치되면 선형밀도처럼 1m 정면으로 보았을 때, 지뢰수량이 많은 곳과 적은 곳이 있기 마련이므로 선형밀도를 적용하기는 제한되어 지뢰수량을 지뢰지대 면적으로 나누는 지역밀도를 적용하는 것이다. 한국군 교리상의 접촉확률그래프가 선형밀도를 고려하였으므로 본 연구에도 동일하게 이를 적용하였다.

3. 접촉확률그래프

접촉확률의 정의는 현 한국군 「지뢰」야전교범[7]과 미군의 「Mine & Countermine Operations」야전교범에 기술되어 있다. 미(美) 교범에는 접촉확률을 "한 대의 차량이 지뢰지대를 통과할 때 한 발의 지뢰가 폭발할 수 있는 확률로 측정된다[12]"로 기술하고 있다. 접촉확률은 지뢰의 밀도, 지뢰의 종류, 지뢰지대를 기동하는 차량의 종류에 따라 정해진다. 지뢰지대의 밀도가 높을수록, 지뢰가 기폭하는 커버리지가 클수록, 기동차량의 차폭 또는 궤도 폭이 넓을수록 접촉확률은 높아진다.

<그림 1>은 미(美) 야전교범에 있는 지뢰지대 밀도에 따른 접촉확률을 지뢰종류와 기동차량에 따라 도출한 확률그래프이다. 대략적으로 개관해 보면, 우선 압력식 지뢰(Pressure-fused mines : track-width)보다 돌출봉식 또는 자기감응식 지뢰(Tilt-rod or magnetic-influence mines : full-width)가 동일한 밀도에서 접촉확률이 높음을 알 수 있다. 압력식지뢰는 차량의 궤도나 바퀴가 압력식 휴즈 부분을 일정한 압력으로 눌러야만 폭발되고 돌출봉식 또는 자기감응식 살포식지뢰는 궤도나 바퀴 부분이 아닌 차폭 전체에 퓨즈가 작용하여 폭발되기 때문에 후자가 더 접촉확률이 높은 것이다.

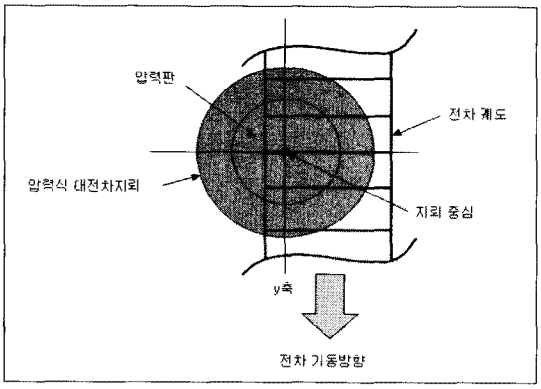


〈그림 1〉 접촉확률그래프(美 야전교범)

전자는 다른 말로 차폭 지뢰, 후자는 궤도폭 지뢰로 일컫는다. 지뢰지대를 기동하는 차량의 종류에 따라서도 접촉확률이 상이하고 압력식지뢰인 경우 전차가 장갑차보다 궤도 폭이 넓으므로 전차가 접촉될 확률이 높고 돌출봉식 또는 자기감응식 지뢰의 경우도 전차가 장갑차보다 차폭이 넓기 때문에 접촉확률이 높은 것이다. 또한 지뢰지대 밀도가 높을수록 그래프는 곡선 형태로 접촉확률이 높아지는 것을 알 수 있다. 돌출봉식 지뢰는 선형밀도 1을 넘어서면서부터 거의 밀도에 변화가 없고 압력식 지뢰는 선형밀도 2.5 이상부터 변화가 없다. 즉 밀도를 높인다고 해서 접촉확률이 선형의 비율로 증가하지 않는다는 사실을 알 수 있다.

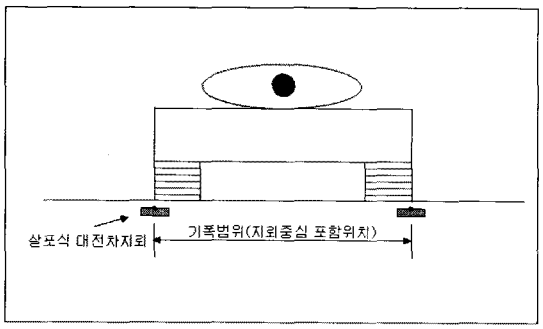
4. 각종 제원 및 가정 사항 설정

접촉확률그래프를 결정짓는 요소는 매설된 지뢰종류, 기동하는 차량종류 및 지뢰지대 밀도 등 세 가지와 관련되어 있다[10].



〈그림 2〉 압력식지뢰 기폭범위

매설된 지뢰종류는 대전차지뢰이며 두 가지 타입으로서 압력식 지뢰와 돌출봉 또는 자기감응식 지뢰(이하 살포식지뢰)로 구분한다. 대전차지뢰의 설치위치에 따른 기폭(폭발)은 실물지뢰로 실험하기 제한되므로 가정 사항으로 설정하였다. 압력식 지뢰는 <그림 2>와 같이 지뢰상부의 압력판 위로 전차궤도가 지뢰중심을 포함하여 기동한다면 대전차지뢰가 기폭되어 폭발하는 것으로 가정하고 <그림 3>과 같이 살포식지뢰는 지뢰의 중심점이 전차의 차폭 내에 있으면 기폭되는 것으로 가정한다.



〈그림 3〉 살포식지뢰 기폭범위

이 가정 사항은 실제 기폭 메커니즘과 거의 유사하다고 판단하였다. 따라서 컴퓨터 프로그램 상에서의 기폭에 대한 묘사는 지뢰의 중심이 차폭 또는 궤도 폭 내에 포함여부로 표현된다.

기동하는 차량종류는 차폭과 궤도 폭의 크기가 접촉확률과 관계되기 때문에 전차, 장갑차, 일반차량 등이 모두 포함된다. 그러나 실험대상은 전차만으로 한정하고 한국군이 방어시 지뢰지대를 설치하고 북한군이 공격하는 상황을 가정하여 북한군 전차만 실험에 포함시켰다. 실제로 전차의 차폭과 궤도 폭이 과거와 현재, 한국군과 북한군이 많은 차이를 보이지는 않는다. 북한군의 대표적인 전차 제원은 <표 1>과 같다[8].

〈표 1〉 북한군 전차 제원

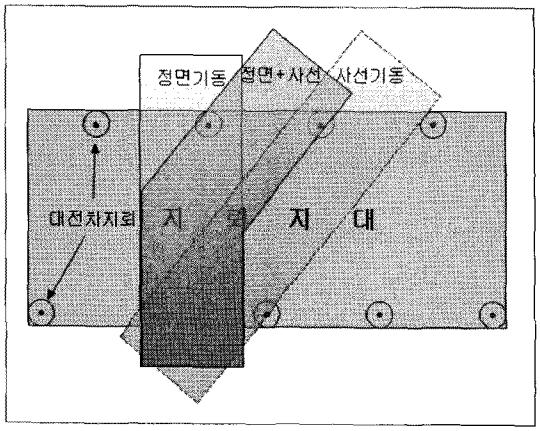
구 분	북한군 : T-54/55
차 폭	3.28m
궤도폭	0.58m

지뢰지대 밀도는 정면 50m, 밀도는 0~4 사이로 설정하여 접촉확률그래프에 있는 밀도와 동일하게 변화시켜보았다. 이때 정면을 50m로 부여한 것은 전차 폭이 통상 4m 이하이므로 전차가 지뢰지대 정면에 임의의 방향으로 충분히 기동하게 하기 위해서이다.

지뢰지대내로 기동하는 차량은 지뢰지대 정면을 향해 수직으로 기동하는 가정을 설정하였다. 이 가정 사항은 어떻게 보면 실제 상황과는 아주 다르다고 생각할 수 있다. 왜냐하면 차량이 지뢰지대를 기동하는 방향은 운전자의 성향에 따라 다양할 수 있기 때문이다.

<그림 4>와 같이 지뢰지대에 정면으로 기동하는 차량이 있을 수 있고 사선으로 기동할 수도 있다. 또한 정면으로 기동하다가 지뢰지대내의 어느 한 지점에서 또 다른 방향으로 기동할 수도 있다. 그러나 이러한 기동은 모델을 구축하는데 중대한 문제점을 포함하고 있다.

지뢰지대 선형밀도(지뢰개수÷정면)는 적 방향에 수직을 고려하여 산정하는 점에서 볼 때 전차 폭 만을 고려한다면 <그림 4>에 나타나듯이 정면 기동 시 전차 폭 내에 2발의 지뢰가 포함되지만



〈그림 4〉 지뢰지대를 통과하는 전차의 기동방향

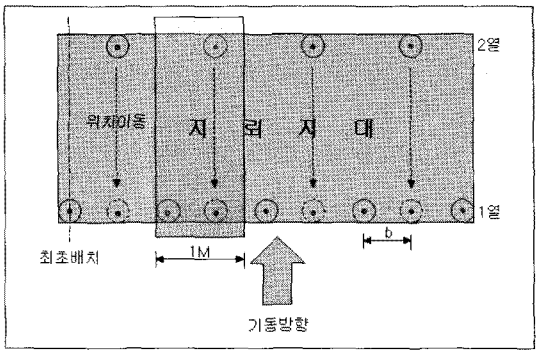
사선기동과 정면기동 후 사선기동은 3발의 지뢰가 포함되어 있음을 알 수 있다. 즉 최초 지뢰지대 밀도를 적 방향에 수직으로 산정했기 때문에 정면기동과는 동일한 밀도이고 사선기동 및 정면기동 후 사선기동은 동일한 차량 폭이지만 지뢰량이 늘어나게 되어 결국 선형밀도가 증가한 형태가 된다. 선형밀도가 증가되었다는 것은 '일정한 밀도를 형성하는 지뢰지대를 기동시 접촉확률을 산정'이라는 목적 중 '일정한 밀도'라는 조건에 위배됨으로 정면기동만을 가정해야 한다는 결론을 도출할 수 있다. 따라서 실험에서 전차는 지뢰지대를 수직으로 기동함으로써 접촉확률이 산출되게 하였다.

5. 절차식 모델링 구축

접촉확률그래프를 증명하기 위한 모델링 구축은 다음 절차에 의하여 시행된다.

Step 1: 정해진 밀도에 따른 정면 50m 지뢰지대 내 지뢰 배치

이때 모델링의 단순화를 위해 2열 이후에 배치되어 있는 지뢰열을 1열에 배치시킨다. 이렇게 배치하여도 선형밀도는 변화가 없다. <그림 5>에서 1m 정면 상에 1, 2열에 배치될 때 선형밀도와 1열에만 배치될 때의 선형밀도는 2로서 동일하다.



〈그림 5〉 지뢰배치 모델

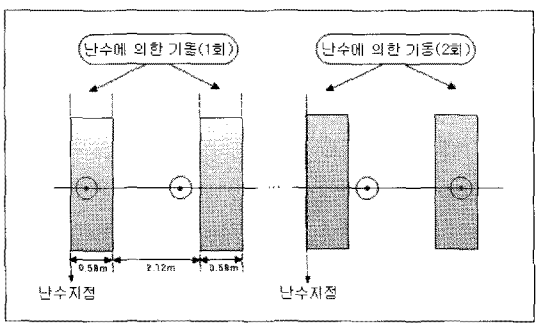
따라서 지뢰지대 내의 모든 지뢰는 프로그래밍 상 하나의 선에 배치된다.

일정한 간격(b = 1/밀도)으로 지뢰를 설치한다. 이때 첫 번째 지뢰배치는 난수를 생성하여 일정한 간격(b) 이하의 거리에 임의 지점 상에 배치하고 그 이후 50m까지 일정한 간격으로 배치한다.

Step 2: 지뢰지대 정면으로 전차를 원하는 횟수만큼 기동

압력식지뢰는 궤도 폭에, 살포식지뢰는 차폭 내에 지뢰가 포함되면 기폭된다.

<그림 6>과 같이 전차의 왼쪽 궤도선을 난수로 생성하여 정면 50m 지뢰지대상의 어느 한 점으로 정하고 나머지 지점들은 전차의 정해진 궤도폭과 차폭을 이용하면 자연적으로 위치를 정할 수 있다. 따라서 1회 기동 시 전차의 왼쪽 궤도 지점을 난수로 생성하여 압력식지뢰는 2개의 궤도 폭 내에, 살포식지뢰는 차폭 내에 지뢰의 위치가 포함



〈그림 6〉 전차기동 모델

〈표 2〉 압력식지뢰의 접촉확률 비교(%)

밀도	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
graph	22	40	58	70	75	80	85	87	90	93	95	96	97	98	98
실험	23	30	69	63	87	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100
차이	+1	-10	+11	-7	+12	+14	+15	+13	+10	+7	+5	+4	+3	+2	+2

〈표 3〉 살포식지뢰의 접촉확률 비교(%)

밀도	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
graph	35	58	70	78	83	88	90	93	94	95	96	97	98	98	98
실험	28	64	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
차이	-7	+6	+20	+22	+17	+12	+10	+7	+6	+5	+4	+3	+2	+2	+2

되면 기폭되는 것이다. 이를 원하는 횟수만큼 시행하면 실제 전차가 기동하는 것과 마찬가지의 모델링이 된다.

Step 3: 접촉확률 산정

접촉확률은 지뢰지대에 기동한 전차의 총 횟수에 대한 전차가 지뢰에 접촉한 횟수이다.

모델 상에서의 접촉확률은 전차의 기동별로 압력식지뢰는 궤도, 살포식지뢰는 차폭 내에 포함된 횟수를 전차의 기동으로 표현된 왼쪽 궤도 위치를 난수 생성한 횟수로 나눈 값이다(접촉횟수÷전차 기동횟수). 이때 접촉확률이란 개념이 차량 한 대가 일정한 밀도를 형성하는 지뢰지대를 기동할 때 지뢰에 접촉하여 폭발할 수 있는 확률이므로, 한 대의 차량이 지뢰지대를 기동하여 지뢰에 접촉되면 그 지뢰는 폭발되어 기능이 상실된 것이 아니고 실험횟수의 반복을 위해 다시 활성화된다. 즉 앞선 전차의 기동에서 폭발된 지뢰는 다시 밀도를 형성하기 위해 재활성화 된다는 의미이다.

6. 실험결과

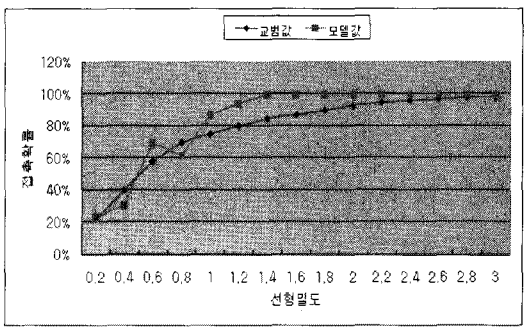
실험을 위한 모델링 구축 도구는 Visual C++ 2005를 사용하여 프로그램화하였다.

전차의 기동횟수는 통계적 신뢰도를 부여하기 위해 해당 밀도별 100,000번 기동을 10번씩 실시하였고, 실험한 결과는 미(美) 야전교범 상에 제시된 접촉확률그래프와 비교하였다. 밀도별 접촉확률에 대한 결과 값은 각각 <표 2>, <표 3>과 같다.

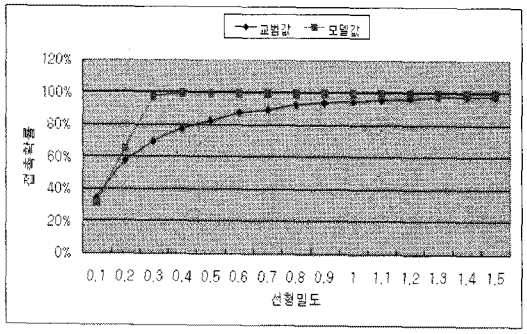
미(美) 야전교범 상에 제시된 접촉확률그래프와 구축된 모델에 의한 데이터 값을 비교한 결과, 전차에 대한 압력식지뢰의 접촉확률 오차값 범위는 -10~15%이고 평균 오차 값은 7.7%이다. 밀도 0.4와 0.8을 제외하고는 구축된 모델의 접촉확률값이 높게 산정되었다.

살포식지뢰의 접촉확률 오차값 범위는 -7~22%이고 평균 오차값은 8.3%이다. 밀도 0.1을 제외하고는 구축된 모델의 접촉확률값이 높게 산정되었다. 살포식지뢰의 오차값이 압력식 지뢰의 오차값보다 높게 나타났다. 상호 결과값에 대한 그래프는 <그림 7>, <그림 8>과 같다.

오차값의 의미는 t-test 수행으로 접촉확률그래



〈그림 7〉 압력식지뢰 접촉확률 비교



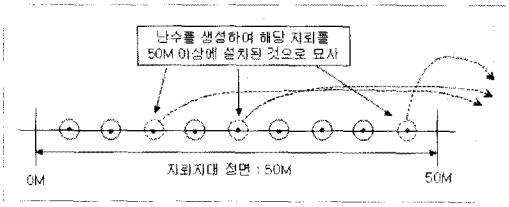
〈그림 8〉 살포식지뢰 접촉확률 비교

프의 데이터 값과 유의수준 5% 범위 내에서 동일한 값으로 인정여부에 대한 분석을 실시하였다. 즉 구축된 모델에 의한 결과 값이 접촉확률그래프에서 제시된 값과 동일하여 모델이 신뢰성이 있느냐에 대한 통계적인 검증이다. t-test 수행결과, 동일하지 않은 것으로 분석되어 모델자체의 적합성 검증을 다시 실시하였다.

모델의 적합성 측면에서 실제 지뢰지대를 설치한다고 했을 때, 매설된 지뢰는 여러 가지 환경요인에 의해 100% 기능발휘를 보장하기 힘들다. 지뢰를 공장에서 생산할 때부터 불량품이 발생할 가능성과 사용자의 보관상 문제가 있을 수 있고 사용자가 매설시 구성품 결합 및 설치 오류, 매설된 후 지형 및 기후에 의한 지뢰 미작동 등 여러 가지 문제점으로 인해 지뢰가 그 기능을 발휘하지 못하는 실 환경적인 요인이 있을 수 있으므로 이를 모델 상에 포함하였다.

이러한 문제점은 현실화된 데이터가 없기 때문에 모델 상에서 지뢰지대에 배치된 지뢰 중 일정한 비율로 지뢰기능을 하지 못하도록 한 후, 접촉확률 결과값을 도출하여 미(美) 야전교범 상에 있는 데이터와 비교하여 가장 근접한 값으로 정했다. 그 결과 통상 지뢰지대에 매설된 지뢰 중 기능을 발휘할 수 없는 지뢰를 20% 정도로 설정한 값이 접촉확률그래프 데이터에 가장 근접함을 알 수 있었다.

이를 위한 모델링 구축은 5장의 Step 1에서

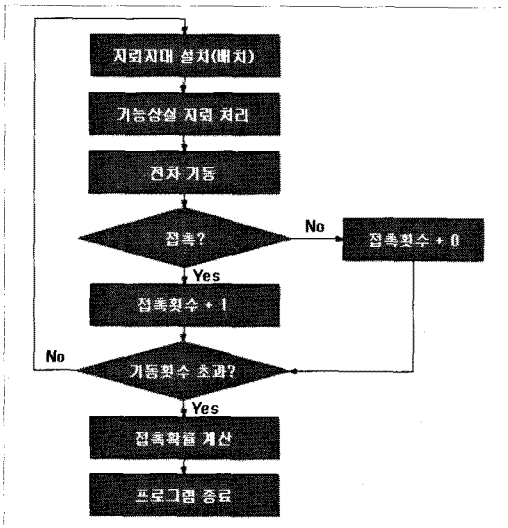


〈그림 9〉 지뢰지대내 기능상실 지뢰 묘사(20%)

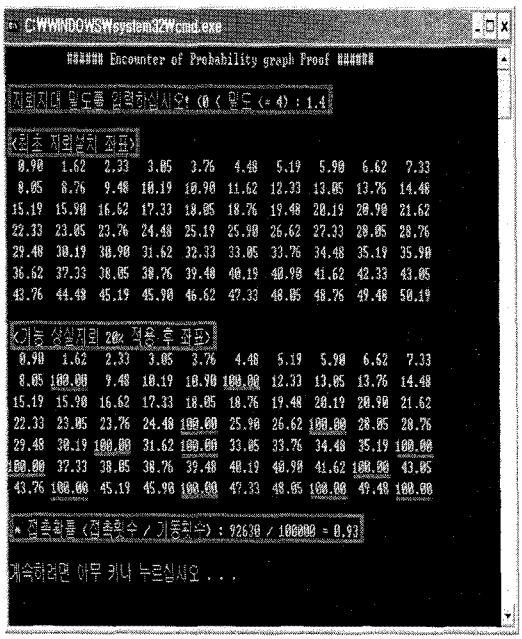
50m 정면의 가로축선상에 일정한 좌표 값으로 설치된 지뢰 중 20%의 비율에 해당하는 지뢰수량을 난수를 생성하여 정면 50m 이상의 위치로 보냄으로써 그 기능을 상실하게 하였다(<그림 9> 참조). 그 이유는 전차의 기동이 50m의 지뢰지대폭 내에서 이루어지므로 50m 이상에 설치된 지뢰는 없는 것이나 마찬가지이기 때문이다.

기능상실 지뢰를 묘사하는 모델은 5장의 Step 1과 Step 2 사이에 포함된다. 최종적인 모델링 구축의 순서도(flowchart)는 <그림 10>과 같다.

기능상실 지뢰를 처리하는 논리까지 포함한 접촉확률그래프를 증명하는 프로그램을 실행하게 되면 <그림 11>의 두 번째 줄에 지뢰지대 밀도를 입력하라는 메시지가 나타난다. 현재 실행화면에서는 밀도 1.4를 입력하였다. 지뢰지대 밀도 데이터를 입력하게 되면 결과값이 전체 실행화면으로



〈그림 10〉 모델링 순서도(flowchart)



〈그림 11〉 접촉확률 증명 프로그램 산출결과 화면

나타나게 된다. <최초 지뢰설치 좌표>는 선형밀도 1.4에 의한 지뢰배치가 0.71m(1/1.4) 간격으로 0~50m 사이에 설치되었음을 알 수 있다. <기능상실지뢰 20% 적용 후 좌표>는 <최초 지뢰설치 좌표>에서 설치된 지뢰 중 임의의 20% 정도의 지뢰가 기능상실 지뢰로 선정되어야 한다. 실험화면에서는 총 70개의 지뢰 중 13개의 지뢰가 기능상실 지뢰로 선정되어 100m에 위치되었다. 100m로 위치를 선정한 것은 지뢰지대의 폭이 50m로 정해졌으므로 기능상실의 의미를 이 지뢰지대 정면 폭 이상에 위치시켜 영향을 미치지 않도록 한 것이다. 이후 전차를 100,000번 기동시켰을 때 지뢰에 접촉하는 전차의 수가 92,630번으로써 93%의 접촉확률이 산출되었다.

실험조건에서 전차의 기동횟수는 100,000번, 전차는 북한군의 T-54/55전차의 궤도 및 전차폭으로 산정하였지만 프로그램 상에서 수치만 변경하면 원하는 데이터를 산출할 수 있다.

설치된 지뢰지대에서 기능이 상실된 지뢰를 20% 적용한 모델을 가지고 접촉확률을 산정한 결과값과 접촉확률그래프 데이터와의 비교는 <표 4>, <표 5>와 같다. 미(美) 야전교범 상에 제시된 접촉확률그래프와 구축된 모델에 의한 데이터 값을 비교한 결과, 전차에 대한 압력식지뢰의 접촉확률 오차값 범위는 -13~7%이고

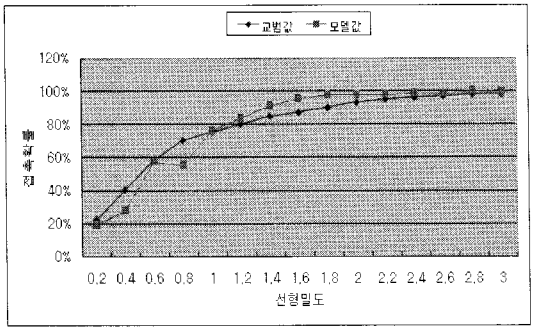
평균 오차값은 3.9%이다. 밀도 0.2, 0.4, 0.8을 제외하고 구축된 모델의 접촉확률 값이 높게 산정되었다. 살포식지뢰의 접촉확률 오차값 범위는 -7~9%이고 평균 오차값은 5.2%이다. 밀도 0.1, 0.2를 제외하고는 구축된 모델의 접촉확률 값이 높게 산정되었다. 상호 결과값에 대한 그래프는 <그림 12>, <그림 13>과 같다. 그래프에서 보는 바와 같이 기능상실 지뢰를 적용했을 경우의 결과값이 접촉확률그래프에 보다 접근해 있고 그래프

〈표 4〉 압력식지뢰 접촉확률 비교(%)

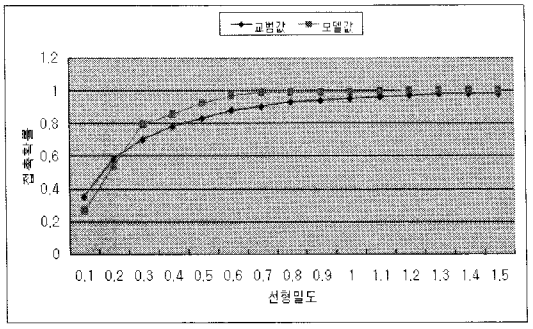
밀도	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
graph	22	40	58	70	75	80	85	87	90	93	95	96	97	98	98
실험	20	28	58	57	75	82	90	94	96	97	98	98	98	99	99
차이	-2	-12	0	-13	0	+2	+5	+7	+6	+4	+3	+2	+1	+1	+1

〈표 5〉 살포식지뢰 접촉확률 비교(%)

밀도	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
graph	35	58	70	78	83	88	90	93	94	95	96	97	98	98	98
실험	28	54	79	83	90	97	98	99	99	100	100	100	100	100	100
차이	-7	-4	+9	+5	+7	+9	+8	+6	+5	+5	+4	+3	+2	+2	+2



〈그림 12〉 압력식지뢰 접촉확률 비교



〈그림 13〉 살포식지뢰 접촉확률 비교

의 기울기도 매끄러움을 알 수 있다. 보다 상세한 비교값은 <표 6>과 같이 오차값 범위와 평균 오차값이 모두 낮아진 것을 확인할 수 있다. 기능 상실지뢰 적용에 따라 오차값이 낮아졌으나 접촉확률 그래프와 동일한 데이터 범주 내에 속하는지에 대한 검증으로 유의수준 5%를 적용하여 t-test를 수행한 결과, 동일한 데이터 범주임이 증명되었다.

따라서 본 연구에서 제시한 모델링과 프로그램은 차량 한 대의 접촉확률을 구하는 접촉확률그래프와 동일한 데이터 범주 내에 있으므로 충분히 현실에 적합한 모델임을 알 수 있다.

〈표 6〉 기능 상실지뢰 적용 유·무에 따른 결과값 비교

구 분	기능 상실지뢰 미적용		기능 상실지뢰 적용(20%)	
	압력식	살포식	압력식	살포식
오차값 범위	-10~15%	-7~22%	-13~7%	-7~9%
평균 오차값	7.7%	8.3%	3.9%	5.2%

7. 결 론

본 논문에서는 지뢰지대 밀도별 접촉확률그래프를 절차식 모델을 구축하여 컴퓨터 프로그램으로 증명하였다. 이러한 절차식 모델링 연구는 다음과 같은 의미를 부여한다.

첫째, 실제 현실세계에서는 전차의 기동이 시간개념이 포함된 동적(dynamic) 개념의 시뮬레이션 형태지만 일정한 밀도를 고려한 지뢰지대 정면으로 전차가 기동하는 것을 고려하여 정적(static)인 모델링만으로도 현실세계를 충분히 반영하였다는 점이다. 또한 지뢰지대에서 지뢰배치를 평면의 개념이 아닌 직선상에 설치함으로써 선형밀도에 위배되지 않으면서 프로그램의 메모리를 줄일 수 있었다. 위 두 가지는 모델링 구축에 있어서 현실세계 반영과 프로그램의 단순화라는 명제를 실현시킨 대표적인 예로 들 수 있다.

둘째, 본 연구의 결과물인 접촉확률그래프 증명 프로그램은 접촉확률그래프에서 나타나 있듯이 전차 외에 차량, 장갑차 등과 같은 바퀴나 궤도 형태의 모든 장비의 제원만 알 수 있다면 프로그램상에 데이터를 투입하여 원하는 접촉확률 값을 산출할 수 있다.

셋째, 살포식 지뢰체계를 대신할 차기지뢰인 지능형지뢰의 효과를 비교할 수 있다는 점이다. 서론에서 지뢰의 성능을 크게 파괴력과 커버리지로 볼 때, 커버리지 부분에 있어 이 프로그램을 이용한다면 재래식 및 살포식 지뢰의 커버리지와 차기지뢰를 비교하여 대체할 차기지뢰의 전력화수준을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

넷째, 접촉확률그래프는 한 대의 전차가 지뢰지대를 통과할 때 한 발의 지뢰가 폭발할 수 있는 확률이다. 이 그래프를 이용하여 다수의 전차가 지뢰지대 기동시 지뢰에 접촉되어 피해받을 수 있는 전차의 대수는 전차별로 접촉확률그래프를 적용해야 하는 문제 때문에 많은 경우의 수가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서 제시한 신뢰성 있

는 프로그램을 바탕으로 이를 보완하여 결과값을 산출한다면 다수의 차량이나 전차를 보유한 기동부대의 지휘관에게 유용한 데이터가 될 것임을 확신한다.

참고문헌

〔1〕 육군교육사령부, 교육회랑 02-3-3, 살포식지뢰운용, 2002.

〔2〕 육군교육사령부, 교육회랑 06-34-6, 장애물운용, 2006.

〔3〕 육군교육사령부, 기술교범 K-5-1095-201-12, 지뢰살포기 KM138, 2001.

〔4〕 육군본부, 기술교범 05-2350-101-10-3, 지뢰제원표, 2000.

〔5〕 육군본부, 야전교범 3-0-1, 군사용어사전, 2006.

〔6〕 육군본부, 야전교범 34-4, 장애물운용, 2002.

〔7〕 육군본부, 야전교범 34-13, 지뢰, 2003.

〔8〕 강성구, "장차전에서 지뢰전의 발전방향(재래식 지뢰에 의한 표면설치를 중심으로)", 군사평론 263호.

〔9〕 이종호, 모델링 및 시뮬레이션 이론과 실제, 21세기군사연구소, 2008.

〔10〕정해관, 최현도, 곽윤근, "지뢰제거시스템의 성능향상에 관한 연구," 대한기계학회 춘계학술대회, 2005.

〔11〕Motoyuki Sato, Jun Fujiwara, Feng Xuan, Zheng Shu Zhou, Takao Kobayashi, "지뢰탐지를 위한 GPR 시스템의 개발," 지구물리(물리탐사), Vol.8, No 4, 2005.

〔12〕Headquarters, Department of the Army, FM 20-32, Mine & Countermine Operations, 2005.

저자소개

백 두 현(E-mail: eightqor99@hanmail.net)

1995 육군사관학교 토목공학과(이학사)
2006 국방대학교 운영분석(석사)
현재 육군 제1107공병단 152대대
관심분야 최적화, 시뮬레이션

이 상 헌(E-mail: leesangh@kndu.ac.kr)

1977 육군사관학교 전기공학과(이학사)
1985 미국 해군대학원 Operations Research(석사)
1991 미국 Georgia Institute of Technology 산업공학(박사)
현재 국방대학교 운영분석학과 교수
관심분야 네트워크 최적화, 메타휴리스틱