

지형공간 정보를 이용한 감시장비 배치 최적화 실험 연구

Experimental Research on the Optimal Surveillance Equipment Allocation Using Geo-spatial Information

이용웅* **성장섭**** **양우석**** **임성빈***** **어양담***
Lee, Yong-Woong Sung, Chang-Sup Yang, Woo-Suk Im, Seong-Bin Eo, Yang-Dam

ABSTRACT

This study was focused on analyzing mathematical model for optimal allocation of surveillance equipment which is operated on the natural geographical condition, such as DMZ fence area. Optimal allocation algorithm was studied for the equipment to develop the whole surveillance and watch model for the two area as testing. Also 3D visualization program was developed to display and analyze the detecting effect. The results show that our suggested model will be available for enhancing security condition on the watching area.

주요기술용어(주제어) : Mathematical Model(수리적 모델), Optimal Allocation(최적화 배치), Detecting Effect(탐지 효과), 3D Visualization(3차원 도시)

1. 서론

기준선 남북방향의 약 2km의 폭으로 형성된 지역에서 과거 인원에 의한 경계방범을 탈피, 과학화되고 자동화된 첨단 감시장비 활용을 통한 효과적인 경계방안의 중요성이 대두되고 있다. 또한 지리정보는 1840년경 프랑스에서 최초로 사진이 지형도 제작에 사용된 이래로 영상수집수단, 통신 및 신호처리, 컴퓨터, 측지학의 이론적 발전과 자연과학 분야 연구 성과의 실용적인 활용을 통해 전장정보화 구현 기반자

료로서의 역할이 점점 부각되고 있다^[1].

본 연구에서는 자연지형상에서 운용되는 경계장비 성능 및 제원, 경계대상 지역의 지형 환경을 이용하여 인원과 장비 수에 대한 배치변화를 통한 수리적 모델을 구축하고, 효과적 배치를 위한 지형공간정보 기반의 이론적 탐지 확률 모델을 구축하였다^[2].

연구 결과의 신뢰성 확보를 위해 지형적 특성이 상이한 2개 지역을 대상으로 수리적 모델을 적용, 결과를 분석하였고, 식생 및 기상을 고려한 감시장비 최적화 배치 분석 결과에 대한 과학적 접근과 입체적 현실감을 감안하여, 3차원 지형상에 수리적으로 계산한 탐지확률 값을 실시간으로 계산 및 도시할 수 있는 프로그램을 시험 제작하였다.

본 연구는 접근이 제한된 지형 공간적 특수성, 이력자료를 포함한 분석 결과 자료의 적시제공과 의사결정자가 비교적 자유롭게 분석정보를 획득할 수 있

† 2005년 10월 21일 접수~2006년 3월 17일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 한국과학기술원(KAIST) 산업공학과

*** (주)NGT 연구소장

주저자 이메일 : lpilyw@add.re.kr

도록 지원하는 지형기반의 분석도구 개발을 수행하였으며, 실험 지역 지형정보 구축 및 활용을 통한 효율적인 감시 기반을 연구하였다.

2. 연구 내용 및 방법

감시 장비에 대한 지형기반 가시선 분석, 기상 및 식생 차폐율에 따른 운용 실험자료를 근거로 탐지확률을 이론적으로 계산하고, 최대 탐지 효과를 낼 수 있는 최적의 장비 수/배치 모델을 제시하며 이를 실시간 3차원 도시하는데 연구의 목적이 있으며, 연구 내용은 다음과 같다.

첫째, 실험지역을 피복하는 고해상도 위성영상, 지형분석도, 군사지형도 자료로부터 수치 고도자료를 생성하여 3차원 경계 공간자료를 구축하였다. 열상장비인 경우 탐지능력 저하요인 중 하나인 식생차폐율을 적용하기 위하여 지형분석도(VITD : Vector Interim Terrain Data)의 속성으로부터 식생밀도를 추출하고 열상장비 실험자료를 근거로 탐지확률을 계산하였다.

둘째, NATO 표준과 미육군 야시장비연구소에서 개발한 ACQUIRE 프로그램 그리고 국내 열상장비 성능평가 자료를 활용하여 감시장비의 거리/기상/식생차폐율별 탐지확률 생성, 최적화 모델의 입력자료로 활용하였다.

셋째, 경계 대상지에 대하여 일정격자(cell)로 실험 지역의 영역을 구분하여, 가시선 분석 결과 및 감시 장비 위치에 따른 각 cell의 탐지확률을 계산하고 감

시장비 최적 배치 모델을 생성하는 알고리즘을 연구하였다.

넷째, 복합적인 환경을 고려한 경계 효과 분석결과를 실시간으로 계산하고, 탐지면적 및 경계대상지 전체에 대한 탐지확률을 디지털 3차원 지형공간상에 입출력할 수 있는 도시 프로그램을 제작하였다.

3. 지형자료 구축

삼림과 지형굴곡이 많은 지역과 평지와 하천 그리고 안개가 많은 지역을 실험지역으로 선정하고 3차원 지형자료를 구축하였다.

가. 위성영상 및 지도자료

실험지역의 영상자료는 정사처리된 해상도 1m 급의 위성영상(CIB : Controlled Image Base)^[3]과 2.5m 공간해상도의 SPOT-5 입체 위성 자료를 활용하여 고도자료 생성 및 수리적 모델링 결과도시에 활용하였다.

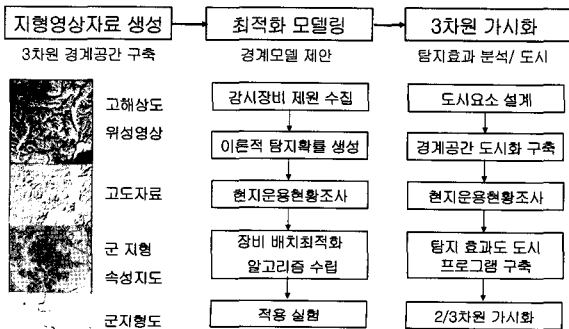
가시범위 결과 도시 기반이 되는 지도는 1:5만 축척의 군사 래스터지도(ADRG : Arc Digitized Raster Graphics)를 사용하였다. ADRG는 기존의 축척 1:5만 종이지도를 스캐닝하여 디지털 래스터 형식으로 재현한 것으로서 주로 군사 상황도 도시용으로 사용되는 자료이다^[4].

나. 고도자료

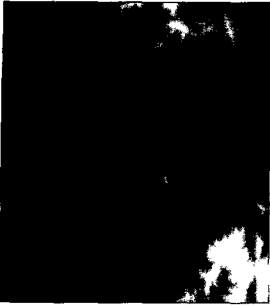
가시선 분석에 중요한 영향을 미치는 고도자료는 실험지역(1)의 경우 1:2.5만 지도의 3차원 등고 레이어가 구축되어 있지 않아서 30m간격의 고도자료를 10m간격으로 내삽하여 생성하였다. 1:2.5만 벡터 지도의 3차원 등고 레이어가 확보되어 있는 실험지역(2)에 대하여는불규칙삼각망(TIN : Triangulated Irregular Network)을 구성하여 10m 격자간격의 고도자료로 생성하였다^[5].

다. 지형분석도

열상장비의 운용에 영향을 미치는 요인 중 식생에 의한 차폐율을 적용하기 위하여 실험지역의 식생자료



[그림 1] 연구 흐름도



[그림 2] 실험지역(1)
고도자료



[그림 3] 실험지역(2)
고도자료



[그림 4] 실험지역(1)
식생밀도도



[그림 5] 실험지역(2)
식생밀도도

를 구축하였다. 식생 속성자료는 지도(ADRG)에 표현되어 있지 않으므로 디지털 형식의 축척 1:5만 지형분석도(VITD : Vector Interim Terrain Data)에서 취득하여 활용하였다. 지형분석도는 장애물, 경사도 및 지형, 토질/토양, 배수, 수송, 식생 6개 계층의 속성정보를 보유하며, 각각의 계층은 지형지물의 상세한 속성을 포함하고 있다^[6]. 본 연구에서는 열상장비의 계절별 이론적 탐지확률 계산을 위해 식생계층의 식생밀도(DMT : Density Measure % of Tree/Canopy Cover)를 사용하여 식생차폐율로 고려하였다.

4. 수리적 모델링

가. 탐지확률 생성

열상장비는 빛이 전혀 없는 상태에서 대상물과 배경에서 방출되는 고유한 복사에너지 차이(온도 차이)

를 검출하여 전기적 신호로 거친 뒤 영상화하는 장비이다. 탐지확률의 계산은 NATO 표준(문서번호 : STANAG 4347)의 기준을 미 야시장비연구소가 개발한 ACQUIRE 프로그램에 입력, 거리별 탐지확률을 생성하였다. 대상물은 길이 0.5m, 높이 1.5m, 온도차 3.0°C를 기준으로 하였다.

온도, 습도, 계절, 안개 등에 의하여 열에너지의 전달 감소율인 대기투과율은 NATO 표준 기상 기준에 의해 기상 양호시 투과율 0.82/km, 기상 불량시 투과율 0.37/km을 적용하였으며, VITD의 식생밀도 기준인 12%, 38%, 62%, 88%를 감안, 식생에 따른 은폐율 성능 실험에 적용하였다. 계절에 따른 변화는 식생밀도를 여름→봄/가을→겨울순으로 25%씩 감소하는 것으로 가정하여 수리식에 입력하였다.

상기 입력항목에 대하여 계산된 확률이 50% 이상일 경우에만 탐지가 가능한 것으로 고려하였고 50% 미만일 경우에는 탐지가 되지 않는 확률값 0으로 하였다.

나. 감시장비 배치 모델 수립

주어진 제약조건을 만족하면서 탐지 성능을 최대화하는 감시장비의 위치를 결정하는 문제이므로^[7], 본 연구에서는 정수계획법(Integer Programming)을 이용하여 최적화 모델을 수립하였으며 다음과 같은 몇 가지 대안을 설정하고 이를 비교 분석하여 최종 모델을 결정하였다.

1) 대안 I

각 지역(cell) 별로 요구되는 최소 탐지 확률 및 각 감시 장비가 배치될 위치 영역에 대한 제약 하에서 총 비용을 최소화할 수 있는 감시장비의 대수 및 위치를 결정하는 모델이다.

Maximize 총 비용
Subject to 각 cell 별 최소 탐지확률 값에 대한
 제약장비 위치의 제약
 (예: 일정지역에서 최소 1대 배치 필요)

이 모델은 지역 전체의 탐지확률 및 장비 대수 증

가에 대한 탐지 확률의 증가 효과를 정확히 도출해내기 위해 다음의 시뮬레이션 모델링이 필요하다.

- 경계대상 전역에 대하여 기존 및 예상 취약지 등을 고려하여 침투상황 및 그 경로를 무작위로 발생시킨다.
- 장비의 성능 및 경계 지형의 굴곡, 기후 조건, 감시 장비의 운용 상황 등을 고려하여 경계지역 전체의 탐지확률 값을 생성한다.
- 감시 장비 1 대가 추가될 때마다 경계 영역 전체의 탐지 확률의 증가 효과를 산출해 내며, 이 값이 대안 I 모델의 입력 변수가 된다.

이것은 널리 알려진 위치결정 문제의 형태를 지나며, 결정 변수는 추가로 설치할 장비의 최적 수량 및 해당 위치가 된다. 본 모델은 경계 대상 영역 전체에 대한 탐지확률 값을 직접 산출할 수 있다는 장점이 있으나 감시 장비의 최적화 배치보다는 별도로 수행하여야 할 침투 시나리오 분석 등 시뮬레이션의 역할이 커지게 된다.

2) 대안 II

가용한 감시 장비의 수량이 제한 될 경우 각 지역(cell)들의 평균 탐지 확률을 최대화 할 수 있는 최적의 감시 장비 배치 및 각 장비들의 담당 영역을 결정한다.

Maximize 각 지역(cell)들의 평균 탐지확률
Subject to 하나의 지역은 하나의 장비가 담당될
 장비가 담당할 수 있는 cell수는 주어짐
 비용(장비의 대수) 제약

본 모델은 탐지확률을 계산하기 위한 별도의 시뮬레이션 모델링을 수행할 필요가 없다는 장점이 있으나, 침투 상황 및 감시 장비의 운용 상황에 대해 세밀히 반영하지 못하므로 정확한 탐지확률 값을 산출하기가 곤란하다. ACQUIRE에 의하여 거리별 확률(p_i)값이 대안 II 모델의 입력 변수가 된다.

탐지확률(\hat{p}_i)는 어느 특정한 cell에서 침투확률(w_i)이 주어진다면 해당 cell에서의 탐지확률(\hat{p}_i)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{p}_i = w_i \cdot p_i$$

이 모델은 잘 알려진 Location-Allocation 문제로 모델화될 수 있으며, 최적화 결과는 장비들이 배치되는 최적 위치 및 각 장비가 담당할 감시 영역이 된다.

3) 모델 결정

예상 침투 및 감시장비의 실질적인 운용 자료 등과 같은 현실 상황을 사실적으로 반영한 탐지확률 값을 의사결정자에게 제공해준다는 차원에서 대안 I이 대안 II보다 더 의미가 있으나, 가용한 자료를 최대한 활용한실험적인 가능성 연구를 위하여 대안 II 모델에 몇 가지 합리적인 가정들을 포함하여 보완하였다.

Maximize 각 지역(cell)들의 평균 탐지확률
Subject to 하나의 지역은 하나의 장비가 담당될
 장비가 담당할 수 있는 cell수는 주어짐
 비용(장비의 대수) 제약
 장비의 성능은 동일
 (탐지확률은 지형, 거리에 따라 상이)

감시 장비에 대한 예산 제약(장비의 대수)이 주어진 상황에서 각 지역(cell)들의 평균 탐지 확률을 최대화 할 수 있는 최적의 장비 배치 및 각 장비들의 담당 영역을 결정하는 모델로서 입력 변수는 다음과 같다.

- p_{ij} : cell i 를 후보지 j 에 배치된 장비가 담당할 때의 그 cell의 탐지확률(ACQUIRE와 가시선 분석에 의해 산출된 값임)
- w_i : (i) 각 cell에서의 침입확률 (ii) 각 cell의 우선 탐색에 대한 중요도 척도(경계 취약 지역 혹은 주요 감시 지역일 경우 w_i 값이 높아짐)
- m_j : 후보지 j 에 위치된 감시장비가 담당할 수 있는 최대 cell 영역 수
- n : 설치할 장비의 대수(의사결정자에 의해 주어지는 예산 제약)

의사결정 변수로는 cell i 가 후보지 j 에 배치된 감시 장비에 의해 담당되는지의 여부(X_{ij} : 0 또는 1의 값을 가지는 이진변수)와 장비가 후보지 j 에 배치되는지 여부(Y_j : 0 또는 1의 값을 가지는 이진변수)가 되며 최적화를 위한 목적함수는 다음과 같다.

$$Z(OD) = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i p_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in J} X_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq m_j Y_j, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = n \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

$$Y_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J \quad (6)$$

- (1) 침투 확률(혹은 해당 cell 영역의 중요도, w_i)을 고려하지 않을 경우의 식을 $Z'(OD)$ 라 하면, $Z'(OD) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{ij} X_{ij} \equiv OD$ 장비에 의해 탐지 가능한 cell 수의 기대치가 된다. 따라서 침투확률(w_i)이 고려된 원래의 목적함수($Z(OD)$) 자체는 큰 의미를 가지지는 않으나, 각 cell 영역에 대한 상대적인 중요도를 모델에 반영한 최적화 결과를 얻을 수 있다.
- (2) 각 cell i 는 최대한 하나의 장비에 의해 담당되며 중복 할당은 모델에서 고려하지 않는다.
- (3) 각 후보지 j 에 장비가 배치될 경우 그 장비는 최대 m_j 개의 cell 영역을 담당할 수 있다.
- (4) 경계 지역에 투입되는 장비는 총 n 대이다.
- (5), (6) 이진 변수 제약식

본 연구에서는 Lagrangian relaxation 방법을 이용하여 경계 장비모델에 대한 근사 최적해를 구하는 휴리스틱 알고리즘을 적용하였다^[8,9].

5. 경계효과 도시 프로그램 제작

경계효과 도시 프로그램은 Microsoft Windows XP 환경에서 동작하는 Standalone 형식으로서 GUI 환경의 사용자 인터페이스를 통해 동작하고 가공된 각종 지형 자료 및 감시장비 최적화 배치 알고리즘에 의해 수행된 각종 분석 결과를 도시하거나 사용자 개입에 의한 요구 기능을 수행하며 지형자료 기반의 2, 3차원 도시부분과 경계장비 배치 최적화 부분으로 내용이 대별된다. 또한 2차원 도시 기능, 3차원 도시 기능, 가시선 분석 기능, 최적 배치 분석 기능을 최상위 레벨로 분해한다.

2차원 도시 기능은 축척 1:5만 지형도인 ADRG 래스터 지도와 고해상 위성영상 및 고도자료를 화면상에 도시하고, 이를 확대 축소 할 수 있도록 하였다. 가시선 분석 및 감시장비의 최적 배치 결과를 지형자료와 중첩하여 도시하며 마우스가 화면상에서 이동함에 따라 실시간으로 지도 혹은 영상상의 위치좌표를 표시하도록 개발하였다.

3차원 도시 기능은 고도자료를 이용한 3차원 지형과 수치고도 텍스처 및 ADRG 텍스처를 중첩하여 3차원 도시를 구현하도록 되어 있다. 대부분 2차원 기능을 그대로 3차원에서 생성하여 결과 화면의 확대, 축소, 회전 및 시점 이동 등 사용자의 분석을 지원하도록 되어 있다. 특히 가시선 분석을 수행한 감시장비의 위치표시, 장비위치명, 가시지역의 중첩 및 색상변경을 실시간으로 수행하도록 되어 있고, 장비별 가시범위 분석을 위한 감시장비 도시 On/Off 기능이 포함되어 있다.

가시선 분석 기능은 감시 장비의 성능, 기상, 식생을 고려하여 수치고도자료를 바탕으로 가시 범위를 분석하고 최적 배치 환경을 설정한다. 단일 후보지에 대한 가시선 분석의 경우, 마우스 및 키보드 입력을 통해 후보 지점을 선정할 수 있고, 탐지 방향, 범위, 기상, 식생 조건을 GUI를 통해 설정하도록 하였다. 다수의 후보지점에 대한 일괄 분석을 위해 후보지점 파일 입력이 가능하고 결과에 대한 저장 기능이 포함되어 있다. 분석 결과인 가시면적, 남/북 경계지역에 대한 가시면적 비율이 화면상에 표시되고, 분석결과에 대한 화면을 저장할 수 있도록 개발되었다.



[그림 6] 감시 장비 최적배치 분석 결과 3차원 도시에

최적 배치 분석 기능은 가시선 분석 결과를 바탕으로 배치 장비 수에 따른 최적 배치(배치 장비, 각 장비별 담당) 분석을 수행한다. 목표로 하는 감시장비 최적화 배치 수 및 수리적 반복 조건을 GUI를 통해 입력할 수 있고, 중간 분석 결과에 대한 텍스트 파일을 매 실행시 저장하여 최적화 효율을 표시하는 결과를 볼 수 있도록 설정되었다.

6. 실험 및 분석

지형적 특성이 상이한 2개 실험지역에 대하여 가시면적, 수리적 탐지면적, 남측 및 북측 가시비율을 계산하였다. 또한 기 설정된 다수의 장비 설치 후보지를 입력하고, 현재 운용중인 위치 및 대수별 최적화 배치위치에서의 가시면적을 구하여 경계담당 면적에 대한 총 가시비율을 계산하였고, 현재 운용 배치를 기준으로 장비대수를 증가시키면서 탐지확률의 변화를 분석하였다. 분석대상 기상, 계절, 실험지역 및 대수별 실험 경우의 수가 과도하여 다음과 같은 실험방법을 기준으로 적용 하였다.

- 하나의 실험에 대하여 알고리즘 최대 반복 횟수를 100회로 한정하였다.
- 각 cell의 침투확률(w_i)은 1로 설정한다.
- 각 장비가 담당하는 영역은 약 남북방향으로 약 2km 지역으로 설정한다.

- 각 장비가 담당할 수 있는 cell의 수(m_j)는 가시할 수 있는 cell의 수로 한정한다.
- 날씨(좋은 날씨, 나쁜 날씨)와 식생(미고려, 봄·가을, 여름, 겨울)의 조합 즉, 8개의 실험자료 묶음으로 실험한다.

가. 실험지역(1)에 대한 결과 및 분석

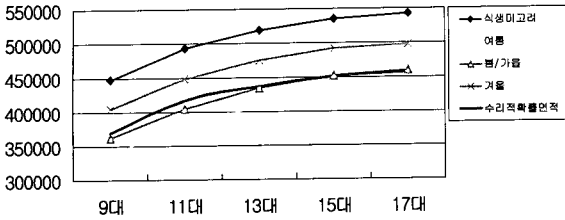
현재 운용위치를 바탕으로 기상/계절별로 가시비율 증가량과 가시면적을 계산하였고 이를 최적화 배치 분석 결과와 비교하였다. 표 1은 기상 양호시와 불량시로 구분하여 계절별로 남측가시비율(기준선~남측선 영역의 가시비율) 차이를 나타내고, 이에 따른 가시면적의 증가량을 100m²단위(본 연구에서는 10m×10m단위의 격자면을 가시 단위영역으로 구분하여 계산하였음)로 표시하였다.

다수의 후보위치중 주어진 대수로 최적화 배치하는 경우가 현재 운용중인 배치에 비하여 기상 및 계절 모든 조건에서 가시비율 0.3~0.9%, 가시면적 1,999,300~3,606,800m²의 향상을 보이고 있다. 그러나 본 결과는 실험에 적용한 최적화 배치 알고리즘의 목적함수식에서 주요 지점에 대한 가중치를 고려하지 않은 것으로써, 주요 침투로 등을 고려한 현지 운용여건을 고려한다면 현재의 배치 상태가 설득력이 있는 것으로 판단된다.

장비의 추가 배치에 따른 효과를 분석하기 위하여 현재 배치된 장비를 고정시킨 상태에서 대수를 증가

[표 1] 현재 배치에 대한 최적화 배치 프로그램 결과 비교 실험지역(1)

구 분		식생미고려	여름	봄/가을	겨울
기상 양호	남측가시비율 증가량(%)	0.8	0.4	0.7	0.3
	전체가시면적 증가량(m ²)	3,542,700	3,305,000	3,606,800	3,446,700
기상 불량	남측가시비율 증가량(%)	0.7	0.7	0.7	0.9
	전체가시면적 증가량(m ²)	2,384,000	1,999,300	2,113,500	2,379,700



[그림 7] 감시장비 증가에 따른 실험지역(1) 가시면적 증가도(Y축 : 100m²)

시키면서 실험하였다. 현재 배치를 고정시킨 이유는 침투로 등을 감안한 상태에서 비가시 지역을 줄이려는 것과 실험 결과의 일관성 확보 측면을 고려하였기 때문이다. 만약 기존 배치를 고려하지 않을 경우 각각의 대수마다 배치 및 탐지영역의 변화가 발생하여 단지 가시면적 증가만이 결과로 생성되는 것을 피하고자 하였다. 실험 결과, 17대까지 증가하는 과정에서 남측영역의 가시비율 약 10%, 북측영역 가시비율 약 3% 정도의 증가를 보이고 있으며 가시면적과 탐지확률은 세부적으로는 증가율 변동이 있으나 전체적으로는 확률면적 증가 경향을 보이고 있다. 본 연구에서 설정한 수리적 모델은 탐지확률을 최대화 하는 목적 함수식에 의해 최적화 배치를 실행하므로 장비 수량 증가에 따른 수리적 확률 단위면적은 감소하는 경향이 있다. 즉, 감시 장비의 수가 증가함에 따라 추가된 하나의 장비가 탐지확률에 미치는 효과는 점점 적어지는 것을 알 수 있다.

그림 7에서 알 수 있듯이 계절별로 가시면적의 차이는 있으나 증가 추세는 동일하고 특히 수리적 확률 면적은 대수증가에 따라 증가율이 감소하는 것을 나타내고 있으므로, 이에 의해 장비 배치 알고리즘의 최적화 결과가 합리적으로 산출되었다고 볼 수 있다. 예산상의 제약으로 인하여 최대 설치 가능 장비의 수가 17대일 경우, 본 연구의 실험결과 13~15대를 기준으로 가시면적 증가율이 급격히 감소하므로, 이후의 추가 대수는 취약지 및 지형적 특성 등으로 고려하여 배치하거나 다른 경계 방안과의 연동을 고려하는 것이 현실적이다.

나. 실험지역(2)에 대한 결과 및 분석
현재 배치를 바탕으로 기상/계절별로 가시비율과

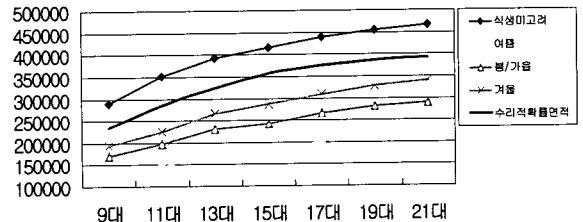
가시면적을 계산하였고, 다수의 후보지를 대상으로 최적배치를 실행한 후 해당 배치에 따른 확률 및 면적 각각의 계산결과를 표 2에 나타내었다. 실험지역(2)는 실험지역(1)에 비하여 지형 굴곡이 심하고 산림 밀도가 높아 가시면적 및 탐지확률이 상대적으로 적은 값으로 계산되었다.

현재 배치에 비해 최적화 배치 결과는 남측 가시비율이 계절별로 0.7%~3.1%씩 증가되었고, 면적은 99,300~4,211,000m² 향상이 되었다. 장비 배치 모델 적용성 판단기준의 하나인 수리적 확률 면적은 3,640,075m² 차이 만큼의 증가가 이루어져서 단순 가시면적의 증가 뿐만 아니라 가시면에 대한 탐지확률의 증가가 되었다는 것을 알 수 있다. 한편, 최적화 배치로 선정된 위치의 대다수가 현재 배치 위치를 채택하는 점을 고려하여, 침투로 등을 고려한 현재 배치가 합리적이라 판단한다.

감시 장비 설치 후보지에 대하여 현재 배치를 기반

[표 2] 현재 배치에 대한 최적화 배치 프로그램 결과 비교 실험지역(2)

구 분		식생미고려	여름	봄/가을	겨울
기상 양호	남측가시비율 증가량(%)	2.8	0.7	1.2	2.3
	전체가시면적 증가량(m ²)	4,211,000	99,300	139,400	796,600
기상 불량	남측가시비율 증가량(%)	3.1	2.3	1.2	1.1
	전체가시면적 증가량(m ²)	1,898,000	1,630,600	931,100	690,400



[그림 8] 감시장비 증가에 따른 실험지역(2) 가시면적 증가도(Y축 : 100m²)

으로 장비 대수를 증가시키면서 최적화 배치를 실행하고 이때의 추가 배치 위치 및 가시영역, 탐지확률을 계산하였다. 실험에서 장비 대수를 21대까지로 증가시켜본 결과 남측 가시비율이 약 19%, 북측 가시비율이 약 8%정도 증가하였다. 여기서도 탐지확률을 최대화 하는 목적 함수식에 의해 최적화 배치가 이루어지므로 장비 증가에 따른 수리적 확률 단위면적은 감소하는 경향이 그림 8에 나타나고 있다. 계산결과를 바탕으로 15~17대를 기준으로 수리적 확률면적 증가율이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

7. 결론

지형영상 기반의 경계 수리적 모델링 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

첫째, 실험지역에 대한 3차원 경계 공간 지형자료를 구축하고, 기상, 식생자료를 고려한 탐지확률을 생성하였으며, 이를 기반으로 감시장비 배치 이론적 모델을 수립하였다.

둘째, 장비 수 및 성능, 경계에 따른 탐지효과를 실험지역에 대하여 제시하였고, 장비 최적화 배치 알고리즘을 통한 현재 배치의 적합성 및 새로운 배치에 대한 적용 가능성을 분석하였다.

셋째, 수리적 모델링 결과에 대한 2/3차원 도시/분석 프로그램 개발하여 경계장비 배치위치, 배치방법에 대한 효과분석 도구로 사용이 가능하도록 하였다.

넷째, 다양한 지형특성 및 경계조건 등에 대한 경계모델 수립시 본 연구결과를 확장/보완하여 적용이 가능한 기반을 구축하였다.

추후 보완 사항으로는, 실제 환경에서의 장비 운용/성능 자료 축적, 타 경계 장비에 의한 감시 효과 도입, 경계 인원에 의한 침투 차단 효과 등을 복합적으로 고려하여 모델링한다면 신뢰성과 적용성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단한다. 또한 시간적 개념이 포함된 탐지확률 계산에 대한 연구가 필요하고 고정밀 지형위치/속성/고도자료를 기반으로 한 적용 실험을 통하여 현실성을 증대시킬 필요가 있다.

앞에서 제시된 탐지확률은 방어적 개념으로서 침투

확률에 대한 이론적 연구를 추가하여 침투 및 탐지를 종합적으로 고려한 확률 개념 및 최적화 연구가 진행되어야 할 것이며, 마지막으로 타 경계/경보 장비와 연계한 감시네트워크 구축으로 상호보완적인 경계에 활용하여 경계 관련 정보를 획득, 판단할 수 있는 체계를 구축, 종합적인 경계효과를 증대시키는 방안의 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] National Geospatial-Intelligence Agency, Geospatial Intelligence Basic Doctrine, NGA/OGMP/Doctrine Office, 2004, p.10.
- [2] 이용웅 외 3인, 철책선 경계를 위한 수리적 모델 실험 연구, TEDC-517-050766, 국방과학연구소, 2005, pp.4~55.
- [3] 이용웅 외 5인, CIB 규격 분석, TEDC-508-040349, 국방과학연구소, 2004, pp.4~13.
- [4] 박계성, 주진천, 래스터(ADRG) 지도 규격 분석, TEDC-108-000619, 국방과학연구소, 2000, pp.3~10.
- [5] 이용웅 외 5인, DTED Level-3, 4, 5 규격 분석, TEDC-508-040350, 국방과학연구소, 2004, pp.5~14.
- [6] 이용웅 외 5인, VITD 규격 분석, TEDC-508-040353, 국방과학연구소, 2004, pp.4~7, pp.157~168.
- [7] P. B. Mirchandani, R. L. Francis, "Discrete Location Theory", John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [8] C. R. Reeves, "Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems", Halsted Press, 1993.
- [9] C. S. Sung, W. Yang, "Routing for a Multicommodity Traffic Problem with Transmission Delay and Load Balancing Considered", Telecommunications Review 15 (3), 2005, pp.548~559.