韓國 軍事運營分析 學會誌
第 15 卷, 第 2 號, 1989. 12. 31.

海上浸透船 早期發見 方案
(An Optimal Strategy for Finding Espionage Ship)

金 忠 英*

Abstract

This research paper is aimed at developing an optimal strategy for finding espionage ship sent from North Korea. The optimal strategy developed here handles detection rate and probability that the espionage ship is in a certain specific sea area. A detection model is developed and an application problem is illustrated.

1. 序 論

一般的으로 海上에서 展開되는 對間諜作戰은 최초 哨戒任務중인 함정이 正體不明인 船舶을 檢索하거나 陸上電探基地에서 檢索을 요하는 船舶을 探知하여 前進配置된 함정으로 하여금 檢問 檢索토록 하기도 하고 때로는 民間魚船으로 부터 疑似船舶이라는 申告를 接受하므로써 시작된다. 일단 正體不明인 船舶을 檢索하여 間諜船임이 判明되면 이때부터 對海上浸透作戰狀況이 展開된다. 이때 間諜船은 통상 公海上으로 逃走하거나 隣近 島嶼나 魚船群속으로의 은신을 試圖한다. 我海軍은 周邊海域을 作戰海域으로 宣布함과 동시에 隣近海域에 配置되어 있는 함정으로 間諜船의 逃走가 豫想되는 海域을 遮斷하고 基地에 期待중인 함정을 作戰海域에 追加로 配置하여 精密探索을 실시한다.

* 國防大學院

精密探索할 海域이 廣範圍할 경우에는 作戰海域을 小海域으로 나누어 小海域別로 探索함정을 割當하여 精密探索을 실시한다. 이때 大中型 함정은 광활한 外海쪽으로 配置하고 島嶼 또는 魚船이 많이 分布되어 있는 複雜한 海域에는 機動性이 양호한 高速정을 配置하여 探索을 실시한다. 만약 間諜船이 我海軍이 遮斷線을 形成할 때까지 遮斷을 벗어나지 못한다면 隣近 島嶼나 魚船群속으로 숨어 있거나 아니면 陸地로 逃走할 可能性이 높다. 間諜船이 魚船群속에 魚船으로 假裝하여 숨어 있으면 모든 魚船을 檢問檢索하여야 하므로 時間이 所要되며 檢索중에 公海上으로 逃走할 可能性이 높으며 한편 魚船群內에서 間諜船을 識別할 수 있을지라도 射擊하는데 制約을 받게 되며 間諜船은 이러한 弱點을 利用하여 逃走하게 된다.

間諜船에 대한 追跡 또는 射擊은 領海나 公海上에서는 可能하나 第3國의 領海內에서는 不可能하다. 따라서 逃走하는 間諜船은 第3國으로 들어가기 전에 擊沈 또는 拿捕하여야 한다. 間諜船이 광활한 公海上으로 逃走하여 海軍單獨作戰으로 追跡이 어려울 경우에는 空軍과 合同作戰으로 間諜船을 追跡하여 擊沈시킨다. 그러나 作戰이 夜間에 이루어질 경우에는 識別이 어려움으로 航空機 操縱士는 바다에 관한 知識과 間諜船을 識別할 수 있는 知識을 事前에 갖추어야 한다.

지금까지 說明한 浸透間諜船을 發見하여 擊沈 또는 拿捕하는 段階를 要約하면 첫째는 初期接觸 또는 浸透情報를 接受하고 둘째는 接觸船舶에 接近하거나 또는 接受된 情報를 근거로 하여 浸透船舶을 探索하여 接近하고 세째는 檢問檢索을 통하여 識別하고 間諜船이 判明되면 擊沈하거나 拿捕하게 된다. 그런데 모든 段階에서 間諜船을 探索하거나 追跡하는 過程을 거치게 된다.

이러한 浸透間諜船에 대한 海上作戰은 우선 作戰海域에서 間諜船을 早期에 發見하는 것이 가장 重要하다. 本 硏究는 作戰海域이 廣範圍할 경우에 全作戰海域을 數個의 小海域으로 나누고 可用함정을 各 小海域에 效果的 割當하여 間諜船探知를 極大化하는 함정割當方案을 討議하고자 한다.

2. 探索함정 割當模型 設定

만약 北傀間諜船이 우리 魚船에 의해 發見되어 곧 海洋警察隊에 申告되었고 이때 間諜船은 共海上으로 逃走하여 復歸하거나 아니면 複雜한 島嶼사이에 숨거나 또는 魚船群에 숨어서 隱蔽한다고 하자. 그러면 우리의 海軍은 間諜船이 逃走하거나 隱居할 수 있는 넓은 海域을 探索하여 間諜船을 發見해야 하는 問題가 發生한다. 이러한 경우에 間諜船 搜索作戰에 投入할 수 있는 함정이 數隻이 있다면 이들 함정을 어떻게 運營하면 間諜船을 早期에

發見할 수 있는가 하는 問題가 擡頭된다.

이러한 狀況에서는 廣範한 海域을 海域特性에 따라 小海域으로 나누어 可用함정을 間諜船發見을 極大化할 수 있도록 各 小海域에 割當하여 搜索토록 하는 方案을 생각할 수 있다. 만약 數種의 함정이 數隻이 있고 搜索해야 할 作戰海域은 廣範圍하여 作戰海域 指揮官은 効果的으로 搜索作戰을 遂行하고 責任海域을 분명히 하기 위해 海域의 特性에 따라 陸地隣接海域, 公海隣接海域, 島嶼海域, 魚船이 많은 海域 等으로 구분하여 作戰海域을 小海域으로 나눈 다음에 旣存情報, 間諜船 浸透戰術 및 小海域의 特性을 考慮하여 各 小海域內에 間諜船이 存在할 確率과 그 小海域內에 間諜船이 存在하고 있을 때 搜索船이 間諜船을 搜索하여 探知할 條件確率을 推定하였다고 한다면 이를 根據로 可用함정으로 하여금 間諜船을 發見할 確率를 最大化하는 作戰目的을 設定할 수 있다.

이때 作戰海域이 n小海域으로 나누어졌고 m種의 함정이 可用하며 이중 i類型함정(i=1, m)이 j번째 小海域을 探索하고 이때 j번째 小海域에 한 間諜船이 潛伏내지 逃走하고 있을 경우에 間諜船을 探知할 條件確率을 P_{ij}라고 하고 j번째 小海域에 間諜船이 存在할 確率을 W_j라고 하면 i類型함정 한 隻이 j小海域을 探索하여 間諜船을 發見하지 못할 確率은 探知確率과 存在確率이 獨立事象으로 看做할 수 있기 때문에 다음과 같다.

P_r(i함정이 j小海域에서 間諜船을 探知못함)
=P(存在)P(探知못함/存在)=$W_j(1-P_{ij})$ (2-1)

만약 i類型의 함정數隻(x_{ij})이 j小海域을 探索한다면 j小海域에서 間諜船을 探知하지 못할 確率은 各함정의 探索이 서로 獨立일 때 다음과 같이 表現된다.

P(x_{ij}隻이 j小海域에서 間諜船을 探知못함)=$W_j(1-P_{ij}^{x_{ij}})$ (2-2)

단, x_{ij}는 i類型함정이 j小海域에 投入되는 數

이때 m種類의 함정이 각각 j小海域에 投入되어 探索活動을 한다면 j小海域에서 間諜船을 探知하지 못할 確率은 다음과 같다.

P(各種함정이 j小海域에서 間諜船을 探知못함)=$W_j\prod_{i=1}^{m}(1-P_{ij})^{x_{ij}}$

단, x_{ij} : i類型함정이 j小海域에 投入된 數
m : 함정類型數

總 n小海域에 대해서도 위와 같이 各種함정을 割當하여 間諜船을 探知한다면 全探索海域에서 間諜船을 探知하지 못할 確率(ND)는 다음과 같다.

$$ND=\sum_{j=1}^{n}W_j\prod_{i=1}^{m}(1-P_{ij})^{x_{ij}}=\sum_{j=1}^{n}W_j\prod_{i=1}^{m}(q_{ij})^{x_{ij}} \quad (2-3)$$

단, $q_{ij}=1-P_{ij}$

그런데 海上浸透海域에 無限定으로 探索함정을 割當할 수 없다. 이러한 制限狀況은 두가지 境遇로 생각할 수 있다. 하나는 割當할

수 있는 總합정數와 함정類型數가 制限되어 있으며 總합정數의 範圍內에서 어떤 類型의 함정도 割當 可能한 境遇 1이고 다른 하나는 類型別로 可用하정數가 制限되어 있는 境遇 2이다.

가. 境遇 1

먼저 總함정數(B_0)만 制限되어 있고 類型別 數는 制限이 없는 경우를 생각해 보자 먼저 j 小海域에 割當되는 함정數를 x_j라고 하고 總可用함정數를 B_0라고 하면 더욱 制約式이 成立한다.

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = B_0 \tag{2.4}$$

단, B_0는 總함정數

그런데 x_j는 모든 類型의 함정數를 합한 數와 같으므로 追加的으로 다음 制約式이 成立한다.

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = x_j \qquad j=1, n \tag{2-5}$$

단, x_j : j번째 小海域에 割當된 모든 類型의 함정數의 合

x_{ij} : i 類型의 함정이 j小海域에 割當된 數

式(2-4)와 式(2-5)을 綜合하면 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \le B_0 \tag{2-6}$$

단, B_0 : 總함정數

다음에 目的函數式 (2-3)에서 $q_{ij}=1-P_{ij}$로 두고 制約式(2-6)를 합하면 다음과 같이 非線型計劃法이 設定된다.

$$\text{Min ND} = \sum_{j=1} W_j \prod_{i=1} q_{ij}^{x_{ij}} \tag{2-7}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \le B_0$$

$$\text{단,} \quad x_{ij} \ge 0, \quad i=1, m, \quad j=1, n$$

式(2-7)은 動的計劃法으로 最適解를 구할 수 있다(參考文獻 7과 8 參照). 그러나 여기서는 發見的方法(heuristic method)을 使用하여 最適解를 구하는 方法을 紹介하고자 한다. 이 方法은 各各의 小海域에 대하여 追加的인 探索船을 投入할때 間諜船을 探知하지 못할 確率을 가장 크게 減小시키는 小海域에 割當하므로서 全作戰海域에 대해 間諜船을 探知하지 못할 確率을 最小化할 수 있는데 主眼을 두고 導出된다. (參考文獻 7과 8)

예를 들어 小海域 1에 x_{i1}($i=1, m$)을 割當하면 間諜船을 發見하지 못할 確率(NP_1)은 다음과 같다.

$$NP_1 = W_1 \prod_{i=1}^{m} q_{i1}^{x_{i1}} \tag{2-8}$$

마찬가지로 小海域 2에서 間諜船을 發見하지 못할 確率(NP_2)는 다음과 같다.

$$NP_2 = W_2 \prod_{i=1}^{m} q_{i2}^{x_{i2}} \tag{2-9}$$

그리고 小海域 1과 2를 망라한 全海域에서 間諜船을 탐지하지 못할 確率(ND)는 두 小海域에서 탐지하지 못할 確率의 合이다. 즉,

$$ND = NP_1 + NP_2 \tag{2-10}$$

그런데 ND를 最小化하기 위해서는 NP_1과 NP_2를 모두 最小化하여야 한다. 만약 小海域에 x_{K1}을 하나 더 追加하였다면 小海域 1이 間諜

船을 發見하지 못할 確率(NP_1^*)는 다음과 같다.

$NP_1^* = NP_1 q_{K1}, \quad k=1, \cdots, m$

따라서 NP_1^*를 가장 적게 하기 위해서는 q_{K1} $(k=1, m)$중에서 가장 적은 값을 택한다면 다른 어느 것을 택하는 것보다 NP_1^*가 가장 적어 진다. 一般的으로 小海域 j에서는 $q_{ij}(i=1, m)$를 比較하여 가장 적은 값을 다음과 같이 구한다.

$$q_{lj} = \min_i \{ q_{ij} \} \tag{2-11}$$

그리고 q_{lj}에 해당하는 x_{lj}에 하나를 더 追加하므로서 $NP_j^* = NP_j q_{lj}$가 되어 NP_j^*가 다른 類型을 追加하는 것 보다 적은 값을 갖는다. 따라서 小海域 j에서는 언제나 式(2-11)에 의해 類型 l을 하나 더 割當한다.

다음에는 n 小海域중에서 어느 小海域에 優先하여 하나를 더 割當해야 全作戰海域에서 間諜船을 探知하지 못할 確率을 最小化하느냐 하는 問題가 擡頭된다. 먼저 小海域 1과 小海域 2를 比較하기 위해 $q_{S1} = \min\{q_{i1}\}$이고 $q_{t2} = \min\{q_{i2}\}$라고 하면 小海域 1에서는 類型 S를 優先하여 割當하고 小海域 2에서는 類型 t를 優先으로 割當한다면 探知못할 確率을 最小化할 수 있다. 다음에 $NP_1^* = NP_1 q_{S1}$이고 $NP_2^* = NP_2 q_{t2}$라고 하면 NP_1^*은 NP_1에 x_{S1}을 하나 더 割當했을 때 探知못할 確率이고 NP_2^*는 NP_2에 x_{t1}을 하나 더 割當하여 얻은 探知못할 確率이다. 따라서 $(NP_1 - NP_1^*)$와 $(NP_2 - NP_2^*)$값을 比較하여 큰 값이 探知못할 確率을 크게 減少시키므로 큰 값에 해당하는 小海域에 優先하여 하나 더 割當하므로서 두 海域上에서 探知못할 確率을 最小化할 수 있다. 또한 $NP_1 - NP_1^* = NP_1 - NP_1 q_{S1} = NP_1(1-q_{S1})$이며 $NP_2 - NP_2^* = NP_2(1-q_{t2})$이므로 NP_1, q_{S1}, NP_2 및 q_{K1}의 크기를 서로 比較하므로서 크게 減小하는 小海域을 識別할 수 있다. 즉,

$NP_1 > NP_2$ 이고 $q_{S1} < q_{t2}$면 x_{S1}에 하나 더 割當한다.

$NP_1 > NP_2$ 이고 $q_{S1} > q_{t2}$이고 $NP_1(1-q_{S1}) > NP_2(1-q_{t2})$이면 x_{t1}에 하나 더 割當한다.

$NP_1 > NP_2$ 및 $q_{S1} > q_{t2}$이고 $NP_1(1-q_{S1}) < NP_2(1-q_{t2})$이면 x_{t2}에 하나 더 割當한다.

$NP_1 < NP_2$인 경우도 $NP_1 > NP_2$의 경우와 類似하게 比較하여 割當한다.

이러한 探知못할 確率을 最小化하기 위한 比較割當方法은 곧 다음 定理가 成立하므로 可能하다.

〈定理 1〉 $ND(x^*) = \sum_{j=1}^{n} W_j \prod_{i=1}^{m} (q_{ij})^{x_{ij}^*}$가 最小値라고 하고 x^*는 이때 割當된 모든 x^*_{ij}의 合이라고 하자 그러면 x^*+1를 더 追加하여 $ND(x^*+1)$이 역시 最小化되는 값을 갖기 위해서는 各項$(W_j \prod_{i=1}^{m} (q_{ij})^{x^*_{ij}}$, $j=1, n)$중에서 各 x_{ij}에 하나를 더 割當했을 때 가장 크게 減少하는 項에 x_{ij}를 하나 더 追加한다.

〈證明〉 $ND(x^*) = \sum_{j=1}^{n} W_j \prod_{i=1}^{m} (q_{ij})^{x^*_{ij}}$에서 各項중에서 x_{lk}에 하나 더 追加할때 가장 많이 減小한다면

$$ND(x^*+1)=\sum_{\substack{j=1\\k\neq j}}^{n} W_j \prod_{i=1}^{m}(q_{ij})^{x^*_{ij}}$$

$$+W_K \prod_{\substack{i=1\\l\neq i}}^{m}(q_{iK})^{x_{iK}} q_{lK}^{x_{lK+1}} \qquad (2\text{-}12)$$

$$ND(x^*)\text{-}ND(X^*+1)=W_K\prod_{i=1}^{m}(q_{iK})^{x_{iK}}(1-q_{iK}) \quad (2\text{-}13)$$

가 成立되며 따라서 最大減小는 $W_K\prod_{i=1}^{m}(q_{iK})^{x_{iK}}$가 가장 크고 $(1-q_{lK})$이 가장 적을 때 일어난다. 왜냐하면 $0<q(1-q_{lK})<1$이 成立되고 또 各項 $\{W_j\prod_{i=1}^{m}(q_{iK})^{x_{ij}},\ j=1,n\}$의 合이 $ND(x^*)$이므로 어떤 한 項의 값이 다른 모든 項의 값보다 x_{ij}를 하나 더 割當하여 가장 크게 減小한다는 것은 곧 $ND(x^*+1)$이 계속 最小化를 維持하고 있음을 意味한다.■

定理 1에 의하면 $W_j\prod_{i=1}^{m}q_{iK}^{x_{ij}}$로 構成되는 各項의 크기와 各項에 있는 q_{ij}의 크기가 x_{ij}를 하나 더 追加할 때의 減小하는 크기를 決定함을 알 수 있다. 지금까지 討議한 내용을 根據로 보다 具體的인 最適割當을 위한 定理을 세울 수 있다.

〈定理 2〉 $ND(x^*)=\sum_{j=1}^{n}W_j\prod_{i=1}^{m}(q_{ij})^{x_{ij}}$를 最小値로, $x^*=\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}x_{ij}$라 하자 이때 하나를 더 割當한 $ND(x^*+1)$ 역시 最小化를 維持하기 위해서는 各項중에서 가장 큰 項을 다음과 같이 먼저 選定한다.

$$W_S\prod_{i=1}^{m}q_{iS}^{x^*_{iS}}=\max\{W_j\prod_{i=1}^{m}q_{ij}^{x_{ij}}\} \qquad (2\text{-}14)$$

다음에 위에서 選定한 S項에서 다음과 같이 가장 적은 q_{KS} 값을 選定한다.

$$q_{KS} = \min_i \{q_{iS}\} \qquad (2\text{-}15)$$

그리고 S項을 제외하고 가장 큰 값을 가진 項을 다음과 같이 選定한다.

$$W_t\prod_{i=1}^{m}q_{it}^{x^*_{it}}=\max_{\substack{j\\j\neq s}}\{W_j\prod_{i=1}^{m}q_{ij}^{x^*_{ij}}\} \qquad (2\text{-}16)$$

마찬가지로 t項중에서 가장 적은 q를 다음과 같이 選定한다.

$$q_{lt} = \min_i \{q_{it}\} \qquad (2\text{-}17)$$

그러면 다음 경우에 $ND(x^*+1)$은 最小化가 維持된다.

경우 1

$q_{KS}<q_{lt}$면 S項에 x_{KS}를 하나 더 割當한다.

경우 2

$q_{KS}>q_{lt}$면 S項과 t項을 다음과 같이 比較하여

$$W_S\prod_{i=1}^{m}q_{iS}^{x^*_{iS}}(1-q_{KS}) \geq W_t\prod_{i=1}^{m}q_{it}^{x^*_{it}}(1-q_{lt}) \quad (2\text{-}18)$$

이면 x_{KS}에 하나 더 割當한다.

경우 3

$q_{KS}>q_{lt}\ W_S\prod_{i=1}q_{iS}^{x^*_{iS}}(1-q_{KS})<W_t\prod_{i=1}q_{it}^{x^*_{it}}(1-q_{lt})$ 이면 S項과 t項을 제외한 다음 큰 項을 選定하여 이 項에 해당하는 最小 q를 選定한다. 그리고 이 項을 나項이라고 하고 하면 t項과 나項을 이전 S項과 t項 比較했던 方法으로 比較하여 경우 1과 경우 2가 될 때까지 反復한다.

〈證明〉 경우 1에서 $q_{KS}\leq q_{lt}$이고 $W_S\prod_{i=1}^{m}q_{iS}^{x^*_{iS}}>W_t\prod_{i=1}^{m}q_{it}^{x^*_{it}}$이므로 다음 不等式이 成立한다.

$$W_S\prod_{i=1}^{m}q_{iS}^{x^*_{iS}} - W_S\prod_{i=1}^{m}q_{iS}^{x^*_{iS}}q_{KS} > W_t\prod_{i=1}^{m}q_{it}^{x^*_{it}}$$

$$- W_t \prod_{i=1}^{m} q_{it}^{x_{it}^*} q_{it} \quad (2\text{-}19)$$

$$W_s \prod_{i=1}^{m} q_{is}^{x_{is}^*}(1-q_{ks}) > W_t \prod_{i=1}^{m} q_{it}^{x_{it}^*}(1-q_{it}) \quad (2\text{-}20)$$

위 式은 곧

$$ND(x^*) - ND(x^* + x_{ks}^*) > ND(x^*) - ND(x^* + x_{it}^*) \quad (2\text{-}21)$$

를 意味하며 따라서 ND(x*)에 하나 追加로 割當했을 때 減小量을 意味하므로 많이 減小하는 項에 割當하므로 最小化를 계속 維持할 수 있다. 경우2도 式(2-21)에 의해 成立한다.

定理1과 定理2는 하나의 함정을 浸透海域에 割當하려 할 때 어느 海域에 어떤 類型의 함정을 割當하는 것이 間諜船을 發見하지 못할 確率을 最小化할 수 있는가 하는 割當方法을 提示해 주고 있다. 즉 各 浸透海域에 間諜船의 存在確率(W_j)과 可用함정이 各海域에서 探索할 때의 探索能力(P_{ij})만 안다면 우리는 경우1에 해당하는 狀況에 대하여 間諜船探知를 極大化하는 함정割當方法을 알 수 있다. 경우1 狀況에 대한 最適割當節次를 나열하면 다음과 같다.

段階1 : 各 小海域에 可用한 함정類중에서 探知 못할 確率이 가장 적은 값을 選定한다. 즉 小海域 j에 대해 最小値 q_{lj}를 다음과 같이 구한다.

$$q_{lj} = \min_i \{q_{ij}\} \quad j=1, n$$

다음에 모든 小海域에 割當 함정數 x_{ij}를 모두 0로 두고 모든 $NP_j(j=1, n)$를 0로 둔다.

段階2 : $ND=\sum_{j=1}^{n} NP_j$를 計算한다. 可用手段이 모두 割當되었는지를 點檢한다. 즉

$S=\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} x_{ij}=B_0$ 면 節次를 終了한다.

$S=\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} x_{ij}<B_0$ 면 段階3으로 간다.

단 B_0는 總可用數

段階3 : 各 小海域別로 다음과 같이 探知못할 確率을 計算한다.

$$NP_j = W_j \prod_{i=1}^{m} q_{ij}^{x_{ij}} \quad j=1, n$$

다음에 NP_j를 比較하여 가장 큰 값과 다음으로 큰 값을 選定한다. 즉

$$NP_f = \max_j \{NP_j\}$$

$$NP_g = \max_{j, j\neq f} \{NP_j\} \quad (2\text{-}22)$$

段階4 : $NP_f > NP_g$이므로 $q_{lf} \le q_{lg}$면 x_{lf}에 하나 더 割當하고 段階2로 간다 아니면($q_{lf} > q_{lg}$) 段階5로 간다.

段階5 : x_{lf}와 x_{lg}중에서 어느것을 하나 더 割當할 것인지를 다음과 같이 比較하여 決定한다.

$NP_f - NP_f q_{lf} \ge NP_g - NP_g q_{lg}$면 x_{lf}에 하나 더 割當한다 段階2로 간다.

$NP_f - NP_f q_{lf} < NP_g - NP_g q_{lg}$면 段階6으로 간다.

段階6 : 지금까지 考慮한 큰 NP에 관한 값을 除外하고 다음 가장 큰 NP값을 다음과 같이 選定한다.

$$NP_h = \max_{j, j\neq f, g} \{NP_j\}$$

g를 f로 두고 h를 g로 두고 段階4로 간다.

나 境遇 2

다음은 類型別로 可用함정數가 制限되어 있는 경우를 생각해 보자. 이 경우 目的函數는 式(2-3)과 같이 同一하다. 그러나 함정類型別로 可用함정數가 制限되어 있으므로 i 類型의 함정이 j小海域에 割當된 數를 x_{ij}라고 하고 i 類型의 總可用數를 B_i라고 하면 더욱 制約式이 成立한다.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \le B_i \quad i=1,m \tag{2-23}$$

結果的으로 式(2-3)과 (2-23)을 綜合하면 다음과 같은 非線型計劃法이 設定된다.

$$\min\ ND = \sum_{j=1}^{n} W_j \prod_{i=1}^{m} (q_{ij})^{x_{ij}} \tag{2-24}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \le B_i \qquad i=1,m$$

$$x_{ij} \ge 0 \qquad i=1,m,\ j=1,n$$

式(2-24)의 目的函數는 境遇 1의 目的函數와 同一하게 乘과 積으로 構成된 各項의 合으로 ND값을 形成하고 있다. 따라서 境遇 1과 같이 最適化할 수 있으나 다만 制約事項이 各 함정種類別로 制限되어 있으므로 $\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \le B_i$ 滿足하지 못할 때는 그 類型이외 다른 類型의 함정을 찾아 그 중 가장 目的函數를 크게 減小시킬 수 있는 類型을 해당 海域에 割當하여야 한다.

경우 2도 目的函數가 경우 1과 同一하므로 定理 1과 定理 2를 通用하여 같은 方法으로 最小化를 할 수 있다. 다만 이때 每追加割當 마다 可用함정數를 超過하지 않게 割當하도록 有意하여야 한다.

一般的로 아주 正確한 最小化는 計算過程이 定理 2에서 보여주듯이 複雜하므로 野戰에서는 計算이 單純하면서 迅速하게 解를 얻을 수 있는 概略的인 最小化가 바람직할 경우가 흔하다. 簡單한 概略的인 最小化를 하기 위해 먼저 式(2-18)을 보면

$W_s \prod_{i=1}^{m} q_{is}^{x_{is}^*}(1-q_{ks}) \ge W_t \prod_{i=1}^{m} q_{it}^{x_{it}^*}(1-q_{lt})$일 경우에 x_{ks}에 하나 더 割當하나 아니면 다음 큰 項을 찾아 다시 比較하는 번거러움이 있다. 그런데 이때 모든 q는 $0 < q < 1$이므로 式(2-20)에서 통상 $W_s\prod_{i=1}^{m} q_{is}^{x_{is}^*} / W_t \prod_{i=1}^{m} q_{it}^{x_{it}^*} > (1-q_{lt})/(1-q_{ks})$가 成立한다. 이는 q間의 差는 작아서 $(1-q_{lt})/(1-q_{ks}) < 10$ 이지만 $W_s \prod_{i=1}^{m} q_{is}^{x_{is}^*} / W_t \prod_{i=1}^{m} q_{it}^{x_{it}^*} \ge 10$ 경우가 많기 때문이다. 즉 $W_s \prod_{i=1}^{m} q_{is}^{x_{is}^*} / W_t \prod_{i=1}^{m} q_{it}^{x_{it}^*} \ge 10$ 거의 成立된다면 가장 큰 項을 選定하여 이중 가장 적은 q를 割當하면 된다. 따라서 概略的 最小化를 위한 節次는 다음과 같다.

第 1 段階 : $ND(x^*) = \sum_{j=1}^{n} W_j \prod_{i=1}^{m} q_{ij}^{x_{ij}^*}$가 概略인 最小値라고 하면 $W_i \prod_{i=1}^{m} q_{ij}^{x_{ij}^*}$로 형성되는 모든 j 項을 比較하여 다음과 같이 가장 큰項을 選定한다.

$$W_K \prod_{i=1}^{m} q_{iK}^{x_{iK}^*} = \max_j \{ W_j \prod_{i=1}^{m} q_{ij} \} \tag{2-25}$$

第 2 段階 : 1 段階에서 選定한 k項 중에서 다음과 같이 가장 적은 q를 選定한다.

$$q_{lK} = \min_i \{q_{iK}\} \tag{2-26}$$

第3段階： 2段階에서 選定된 q_{lK}에 해당하는 x^*_{lK}에 하나를 더 割當한다. 다시 $x^*=x^*+1$로 두고 1段階를 反復한다.

지금까지 式(2-24)에서 目的函數에 관해서만 討議하였다. 다음에는 制約式이 있을 경우에 最小化를 하는 方法을 討議해 보자. 概略的인 最小化 段階3에서 x_{lK}에 하나 더 割當하고자 할 때 制約式을 범하게 된다면 다음 式이 成立된다.

$$\sum_{j=1}^{n} x^*_{lj} = B_l \text{ 및 } \sum_{j=1}^{n} x^*_{lj}+1 > B_l \qquad (2\text{-}27)$$

이러한 경우에는 段階3에서 x^*_{lj}에 하나 더 割當할 수 없다. 따라서 l類型이 아닌 다른 類型에 割當하되 制約式을 범하지 않으면서 q값이 가장 적은 값에 하나 더 割當한다. 結果的으로 制約式을 考慮하는 槪略的인 最小化 節次는 다음과 같다.

段階 1 $ND(x^*)=\sum_{j=1}^{n} W_j \prod_{i=1}^{m} q_{ij}^{x^*_{ij}}$가 概略的 最小化라고 하면 모든 j項을 比較하여 다음과 같이 가장 큰 項을 選定한다.

$$W_K \prod_{i=1}^{m} q_{iK}^{x^*_{iK}} = \max\{W_j \prod_{i=1}^{m} q_{ij}^{x^*_{ij}}\} \qquad (2\text{-}28)$$

段階2 段階1에서 選定한 k項중에서 다음과 같이 制約式을 點檢하여 等式이 成立하는 i類型과 不等式이 成立하는 i類型을 識別한다.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = B_i \text{ 면 } i \in E$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} < B_i \text{ 면 } i \in I$$

즉 等式이 成立하는 i類型의 集合을 E라고 하고 不等式이 成立하는 i類型을 I라 하고 I에 속하는 q_{iK}를 다음과 같이 比較하여 가장 적은 것을 選定한다.

$$q_{lK} = \min_{i \in I} \{q_{iK}\} \qquad (2\text{-}29)$$

x^*_{lK}에 하나 더 割當하고 段階1로 가서 節次를 反復한다.

모든 i가 E에 속하면 모든 割當이 完了되었으므로 節次를 終了한다. 그리고 最終的으로 割當한 x값을 類型別 및 項別로 綜合하고 $ND(x^*)$값을 計算한다.

3. 適用事例

가. 事例 Ⅰ(境遇1의 狀況)

海軍作戰司令部에서는 19××年 ××月傾 ××事業을 妨害하기 위해 西海를 통한 海上浸透가 豫想된다고 判斷하여 ××事業이 施行되는 一個月前부터 백령도, 연평도 그리고 덕적도를 中心으로 하는 海域을 各各 小海域으로 나누어 各 小海域에 대해 獨立的인 探索活動을 強化하기로 하였다. 따라서 西海北方海域은 3小海域으로 나누었으며 各 小海域으로 間諜船이 浸透할 確率은 各各 0.25, 0.3 및 0.45로 判斷되며 我海軍은 이들 海域에 모두 10隻 投入하여 探索作戰을 실시하고자 한다. 그런데 西海上에 可用한 함정類型 2가지로 判斷되었으며 2가지 類型은 모두 10隻까지 投入할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 3小海域에 2가지 類型의 함정을 어떻게 割當하며 探知確

表1-1 함정類型과 小海域의 特性

區　分	小海域		
	1	2	3
類型 1이 探知 못 할 確率(q_{1j})	0.15	0.4	0.45
類型 2이 探知 못 할 確率(q_{2j})	0.4	0.35	0.25
間諜船이 浸透할 確率(w_j)	0.25	0.3	0.45

率을 極大化할 수 있겠는가? 함정類 1과 2가 各 小海域을 探索했을 때의 間諜船을 探知할 確率과 各 小海域에 間諜船이 浸透할 確率은 (表 1-1)과 같다.

事例 I 을 境遇 1의 節次를 사용하여 세 小海域에 總可用數 10隻을 割當하여 보자.

段階 1 : 各 小海域에 대해 q의 最小値를 구하면 다음과 같다.

$q_{11}=0.15$　$q_{22}=0.35$　$q_{23}=0.25$

그리고 모든 $x_{ij}=0$이고 $B_0=10$이다.

段階 2 : $S=0$

段階 3 : $NP_1=0.25$　$NP_2=0.3$　$NP_3=0.45$ $NP_f=NP_3=0.45$이고 $NP_g=NP_2=0.3$

段階 4 : $q_{if}=q_{23}=0.25$　$q_{ig}=q_{22}=0.35$이고 $q_{if}<q_{iq}$이므로 $x_{23}=1$로 둔다. 段階 2로 간다.

段階 2 : $S=1$,

段階 3 : $NP_1=0.25$, $NP_2=0.3$, $NP_3=0.1125$, $NP_f=NP_2=0.3$, $NP_q=NP_1=0.25$

段階 4 : $q_{if}=q_{22}=0.35>q_{ig}=q_{1},=0.15$이므로 段階 5로 간다.

段階 5 : $NP_f-NP_f\,q_{if}=0.3-0.3(0.35)=0.195$ $NP_g-NP_g\,q_{ig}=0.25-0.25(0.15)=0.2125$이며 따라서 $NP_f-NP_f\,q_{if}<NP_g-NP_g q_{ig}$이며 段階 6으로 간다.

段階 6 : $NP_h=NP_3=0.1125$이며 $f=1$, $g=2$이면 段階 4로 간다.

段階 4 : $g_{if}=q_{11}=0.15\leq q_{ig}=q_{23}=0.25$ 이므로 $x_{11}=1$로 두고 段階 2로 간다.

段階 2 : $S=2$,

段階 3 : $NP_1=0.0375$, $NP_2=0.3$, $NP_3=0.1125$, $NP_f=NP_2=0.35$, $NP_g=NP_3=0.1125$

段階 4 : $q_{if}=q_{22}=0.35>q_{ig}=q_{23}=0.25$

段階 5 : $NP_f-NP_f\,q_{if}=0.3-0.3(0.35)=0.195$, $NP_g-NP_g\,q_{ig}=0.1125-0.1125(0.25)=0.0844$ 이며 $NP_f-NP_f\,q_{if}\geq NP_g-NP_g q_{ig}$이므로 $x_{22}=1$로 두고 段階 2로 간다.

段階 2 : $S=3$,

段階 3 : $NP_1=0.0375$, $NP_2=0.105$, $NP_3=0.1125$ $NP_f=NP_3=0.1125$, $NP_g=NP_2=0.105$

段階 4 : $q_{23}=0.25<q_{22}=0.35$ 이므로 $x_{23}=$

$1+1=2$로 두고 段階 2로 간다.

段階 2： $S=4$,

段階 3： $NP_1=0.0375$, $NP_2=0.105$, $NP_2=0.028125$, $NP_I=NP_2=0.105$ $NP_K=NP_1=0.0375$

段階 4： $q_{22}=0.35>q_{11}=0.15$ 段階 5로 간다.

段階 5： $0.105-0.105(0.35)=0.068>0.0375-0.0375(0.15)$ 0.0319이므로 $x_{22}=1+1=2$로 두고 段階 2로 간다.

段階 2： $S=x_{11}+x_{22}+x_{23}=1+2+2=5$

段階 3： $NP_1=0.0375$, $NP_2=0.03675$, $NP_3=0.028125$ $NP_I=NP_1=0.0375$, $NP_K=NP_2=0.03675$

段階 4： $q_{11}=0.15>q_{22}=0.35$ 이므로 段階 2 $x_{11}=1+1=2$로 간다.

段階 2： $S=x_{11}+x_{22}+x_{23}=2+2+2=6$

段階 3： $NP_1=0.005625$, $NP_2=0.03675$, $NP_3=0.028125$ $NP_I=NP_2=0.03675$, $NP_K=NP_3=0.028125$

段階 4： $q_{22}=0.35>q_{23}=0.25$ 이므로 段階 5로 간다.

段階 5： $NP_I-NP_I q_{II}=NP_2-NP_2 q_{22}=0.03675-0.03675(0.35)=0.02389$이고 $NP_K-NP_K q_{IK}NP_3$ $NP_3 q_{23}=0.028125-0.028125(0.25)=0.02109$여서 $NP_I-NP_I q_{II}>NP_K-NP_K q_{IK}$이므로 $x_{22}=2+1=3$으로 두고 段階 2로 간다.

段階 2： $S=x_{11}+x_{22}+x_{23}=2+3+2=7<10$

段階 3： $NP_1=0.005625$, $NP_2=0.0128625$, $NP_3=0.028125$, $NP_I=NP_3=0.028125$, $NP_K=NP_2=0.0128625$

段階 4： $q_{II}=q_{23}=0.25<q_{IK}=q_{22}=0.35$이므로 $x_{23}=2+1=3$으로 두고 段階 2로 간다.

段階 2： $S=x_{11}+x_{22}+x_{23}=2+3+3=8<10$

段階 3： $NP_1=0.005625$, $NP_2=0.0128625$, $NP_3=0.007031$, $NP_I=0.0128625$, $NP_K=0.007031$

段階 4： $q_{II}=q_{22}=0.35>q_{IK}=q_{23}=0.25$이므로 段階 5로 간다.

段階 5： $NP_I-NP_I q_{II}=NP_2-NP_2 q_{22}=0.0128625-0.0128625(0.35)=0.00836$, $NP_K-NP_K q_{IK}=NP_3-NP_3 q_{23}=0.007031-0.007031(0.25)=0.00520$, $NP_I-NP_I q_{II}>NP_K-NP_K q_{IK}$이므로 $x_{22}=3+1=4$로 두고 段階 2로 간다.

段階 2： $S=x_{11}+x_{22}+x_{23}=2+4+3=9<10$

段階 3： $NP_1+0.005625$, $NP_2=0.004502$, $NP_3=0.00703125$, $NP_I=0.00703125$, $NP_K=0.05625$

段階 4： $q_{II}=q_{23}=0.25>q_{IK}=q_{11}=0.15$

段階 5： $NP_I-NP_I q_{II}=NP_3-NP_3 q_{23}=0.00703125-0.00703125(0.25)=0.005278$, $NP_K-NP_K q_{IK}=NP_1-NP_1 q_{11}=0.005625-0.005625(0.15)=0.00478$ 따라서 $NP_I-NP_I q_{II}>NP_K-NP_K q_{IK}$이므로 $x_{23}=3+1=4$ 段階 2로 간다.

段階 2： $S=x_{11}+x_{22}+x_{23}=2+4+4=10=B_0$ 節次를 終了한다.

$ND = NP_1 + NP_2 + NP_3 = 0.005625 + 0.004502 + 0.0017578 = 0.0118848$

結果的으로 $x_{11}=2$, $x_{22}=4$, $x_{22}=4$이며 이때 全海域에서 探知못할 確率은 0.011885이다.

나. 事例 Ⅱ (境遇 2 狀況)

狀況은 事例Ⅰ과 同一하나 類型1과 類型2의 함정數가 各各 5隻으로 制限되었다고 하자 이러한 경우에 槪略的인 最小化를 구하기 위해 制約式을 考慮하는 槪略的 最小化 節次를 밟으면 다음과 같다.

段階 1 : ND(0) 일때 MIN{0.25, 0.3, 0.45} =0.45이므로 K=3이므로 第3小海域에 먼저 割當하게 된다.

段階 2 : 모든 $x_{ij}=0$이므로 모든 i는 Ⅰ에 속한다. q를 서로 比較한다. $MIN\{q_{13}, q_{23}\} = MIN\{0.45, 0.25\} = 0.25$, $l=2$ 따라서 類型2를 먼저 第3小海域에 割當한다. 段階2로 간다.

段階 1 : $ND(x_{23}=1)$ 이면 MAX{0.25, 0.3, 0.1125} =0.3이다. K=2

段階 2 : $MIN\{q_{12}, q_{22}\} = MIN\{0.4, 0.35\} = 0.35$ $l=2$ 이다. 따라서 類型2를 第24海域에 割當한다. 段階1로 간다.

段階 1 : $ND(x_{22}=1, x_{23}=1)$, MAX{0.25, 0.105, 0.1125} =0.25 K=1이다.

段階 2 : $MIN\{q_{11}, q_{21}\} = MIN\{0.15, 0.4\} = 0.15$ $l=1$ 이다. 따라서 類型1을 第1小海域에 割當한다. 段階1로 간다.

段階 1 : $ND(x_{11}=1, x_{22}=1, x_{23}=1)$, MAX {0.0375, 0.105, 0.1125} =0.1125 K=3이다.

段階 2 : MIN{0.45, 0.25} =0.25 $l=2$이므로 x_{23}에 하나 더 割當하고 段階2로 간다.

段階 1 : $ND(x_{11}=1, x_{22}=1, x_{23}=2)$, MAX {0.0375, 0.105, 0.028125} =0.105 K=2이다.

段階 2 : MIN{0.4, 0.35} =0.35 $l=2$ x_{22}에 하나 더 割當한다. 段階1로 간다.

段階 1 : $ND(x_{11}=1, x_{22}=2, x_{23}=2)$, MAX {0.0375, 0.03675, 0.028125} =0.0375 K=1이다.

段階 2 : MIN{0.15, 0.4} =0.15 $l=1$ x_{11}에 하나 더 割當한다. 段階1로 간다.

段階 1 : $ND(x_{11}=2, x_{22}=2, x_{23}=2)$, MAX {0.005625, 0.03675, 0.028125} =0.03675, K=2

段階 2 : MIN{0.4, 0.35} =0.35 $l=2$이므로 x_{22}에 하나 더 割當한다. 段階1로 간다.

段階 1 : $ND(x_{11}=2, x_{22}=3, x_{23}=2)$ MAX {0.005625, 0.01286, 0.028125} =0.028125 K=3

段階 2 : i 중에서 2=E 1=I이므로 $MIN\{q_{13}\}$ =0.45 $l=1$ x_{13}에 하나 더 割當한다. 段階1로 간다.

段階 1 : $ND(x_{11}=2, x_{13}=1, x_{22}=3, x_{23}=2)$, MAX{0.005625, 0.01286, 0.012656} =0.01286 K=2

段階 2 : i중에서 2=E 1=I이므로 $MIN\{q_{12}\}$ =0.4 $l=1$이다. x_{12}에 하나 더 割當한다. 段階1로 간다.

表 1-2 類型別 함정을 槪略的 最小化 方法으로 各小海域에 割當한 結果 $(W_j \prod_{i=1} (q_{ik})^{x_{ij}})$

總 數	x_{11}	x_{21}	x_{12}	x_{22}	x_{13}	x_{23}
0	0.25	0.25	0.3	0.3	0.45	0.45
1						0.1125
2				0.105		
3	0.0375					
4						0.028125
5				0.03675		
6	0.005625					
7				0.01286		
8					0.012656	
9			0.005144			
10					0.005695	
計	2	0	1	3	2	2

段階1 : ND $(x_{11}=2, x_{12}=1, x_{13}=1, x_{22}=3, x_{23}=2)$, MAX{0.005625, 0.005144, 0.012656} =0.012656, K=3

段階2 : i 중에서 2=E 1=I이므로 MIN $\{q_{13}\}$ =0.45 $l=1$이다. 따라서 x_{13}에 하나 더 割當한다. 段階1로 간다.

段階1 : ND $(x_{11}=2, x_{12}=1, x_{13}=1, x_{22}=3, x_{23}=2)$, MAX{0.005625, 0.005144, 0.005695} =0.005695, K=3

段階2 : 모든 i는 E에 속한다. 따라서 割當은 終了된다. 割當結果는 $x_{11}=2$, $x_{12}=1$, $x_{13}=2$, $x_{22}=3$, $x_{23}=2$이며 이때 ND=0.005625 +0.005144+0.005695=0.016464이다.

위와 같은 節次를 表로 하여 나타내면 <表 1-2>과 같다. 이 表에 의하면 類型1은 第1小海域에 2隻, 第2小海域에 1隻 그리고 第3小海域에 3隻을 <表 1-2> 類型別 함정을 槪略的 最小化 方法으로 各小海域에 割當한 結果 $(W_j \prod q_{ij})$ 割當하고 類型2는 第1小海域에는 割當하지 않고 第2小海域에는 3隻 그리고 第3小海域에는 2隻을 割當한다.

4. 結 論

우리가 北傀와 접하고 있는 休戰線은 鐵柵으로 울타리가 쳐져 있으며 또한 前方 警戒兵의 監視下에 있으므로 北傀가 地上으로 隱密

이 浸透하기는 상당히 어렵다. 그러나 우리나라는 三面이 바다로 둘러쌓여 있고 또한 이들 바다가 바로 北傀의 沿海와 連結되어 있으므로 北傀는 海上을 통한 浸透方法을 많이 사용하여 왔었다. 더구나 海上은 광활하여 조그만 浸透船을 發見하는데 어려우며 따라서 레이다 航空機 等 科學的 探知手段을 사용하여 探知하게 된다. 그러나 레이다도 探知距離가 制限되어 있고 識別이 어려운 等 여러가지 制約이 뒤따르므로 함정을 통한 哨戒任務를 遂行한다던지 特定 海域을 探索케 한다.

이러한 海上 探索에는 두가지 種類를 들 수 있다. 하나는 特定 情報가 없이 正時에 北傀가 浸透한 可能性이 많은 海域을 함정으로 하여금 哨戒航海케 하는 것이고 다른 하나는 北傀 浸透에 관한 特定情報가 있을 때 可用한 함정을 해당 海域에 投入하여 探索케 하는 것이다.

北傀가 間諜船을 浸透시켰다는 情報를 接受하고 作戰海域을 數個의 小海域으로 나누어 探索하고자 한다면 可用함정을 各 小海域에 어떻게 割當하면 間諜船 發見을 極大化할 수 있는가 하는 問題를 本 硏究는 討議하였다. 割當方法 하나는 總可用함정數 範圍內에서 주어진 類型別 함정數에는 制限이 없이 割當하는 最適方案을 염출하였으며 다른 하나는 總可用함정數가 주어지고 또한 總可用함정의 範圍내에서 類型別 함정數도 制限되어 있을 경우에 이들 함정을 作戰海域에 適切하게 割當하는 方法을 導出하여 보았다. 두 경우에 모두 非線型計劃法을 樹立하여 解를 구할 수 있지만 前者의 경우에는 動的計劃法으로 最適解를 구하는 方法을 討議하였으며 後者의 경우에는 小海域別로 探知하지 못할 確率을 比較하여 이를 가장 크게 減小시키는 方向으로 함정類型을 優先的으로 割當하여 最適에 가까운 解를 구하는 方法을 討議하였다.

그러나 本 硏究를 보다 現實化하려면 北傀間諜船의 活動事例 및 海岸接近方法 等을 綿密히 分析하여 海上特性別로 間諜船이 隱居하거나 逃走할 可能性을 分析해 둘 必要가 있다. 이러한 資料는 當時 狀況과 곁들여서 考慮하므로써 보다 낳은 存在確率을 推定할 수 있다. 또한 함정과 海上特性과 關聯되는 間諜船 探知確率도 함정이 保有하고 있는 探知裝備, 함정의 機動性, 監視幅 等을 考慮하여 推定할 수 있다. 本 硏究書는 이러한 間諜船의 豫想存在確率과 함정의 探知確率은 指揮官의 決心 또는 指針事項으로 하였으나 앞으로는 더욱 根據있는 資料를 통하여 標準資料를 염출할 必要性이 있음을 밝혀 둔다. 이러한 資料가 보다 科學的 接近方法으로 推定된다면 本 硏究書가 提示한 함정割當方法은 보다 좋은 結果를 가져 올 것임이 틀림이 없다.

參考文獻

1. 國防大學院, 軍事運營分析 "理論과 應用" 1985. pp. 298-318.
2. 國家安全企劃部, 國際테러事件情報資料, 1985.
3. 中央情報部, 北韓對南工作史, 第一卷, 第二卷, 1973.
4. 陸軍本部, 對浸透作戰 實務參考, 1979. p. 28.
5. 陸軍本部, 間諜浸透事件便覽 I 集, Ⅲ級祕密, 1985.
6. 陸軍本部, 間諜浸透事件便覽, Ⅱ集, 對外秘, 1986.
7. 金忠英 "北傀共匪 또는 테러活動을 早期에 掃蕩하기 위하여 效果的으로 對浸透作戰을 遂行하는 方案研究," 政策研究報告書 87-6, 通卷1, 第114號, 國防大學院, 保安問題研究所, 1987. 12.
8. den Broeder, Tr. G. G., R. E. Ellison, and L. Emerling "On Optimun Target Assignments", Operation Research, Vol. 7, 1959. pp. 332-326.
9. DARCOM, Engineering Design Handbook, Army Weapon Systems Analysis, part two, 1979. pp. 32-1－32-20.