

비용과 일정의 결합확률 분포를 적용한 위험비용추정에 관한 연구

A Study on Cost Risk Estimation applying Joint Cost-Schedule Probability Distribution Model

김 동 규*
Dong-Kyu Kim

강 성 진*
Sung-Jin Kang

한 규 식*
Gyu-Sik Han

Abstract

The risk analysis plays an important role in weapon system acquisition project due to uncertainties in the acquisition process. But in domestic, studies on risk analysis are insufficient and risk cost is not included in acquisition budget in policy. Therefore, in this study, we suggest a method that measures risk or success probability of project using the stochastic model. In particular, in order to calculate the success probability, we apply the joint probability distribution model of cost and schedule that are critical factors influencing the project risk. And also we verify the applicability of this model in Korean defence industry environment through case studies.

Keywords : Joint Cost-Schedule Probability Distribution(비용과 일정의 결합확률분포), Cost Risk(위험 비용), Success Probability(성공확률), Risk Analysis(위험분석)

1. 서 론

국방부는 2000년대 초부터 국방전력발전업무규정 등을 개정 및 보완하여 무기체계 획득의 투명성과 효율성을 높이고자 비용분석을 제도화하였다. 특히 국방부, 방위사업청 및 각 군에서는 비용분석을 전담하는 부서를 설립하여 제반 사업에 대한 비용분석을 사업관리부서에서 주체가 되어 실시하도록 하였다.

국방기획관리 측면에서 비용분석은 기획단계에서 소

요제기시 비용대 효과분석을 통해 ROC를 제기하고, 계획단계에서는 국방중기계획에 반영하기 위하여 비용대 효과분석, 수명주기 비용분석을 통해 가용한 자원을 할당한다. 예산 및 집행단계에서는 요구 예산의 타당성, 회계연도 집행가능성, 사업집행간 예상되는 문제점들에 대해서 중점적으로 분석하고 계획단계에서 실시한 비용분석 결과가 어떻게 반영되고 보완되었는지를 검토하게 되어 있다¹⁾. 이러한 국방기획관리의 특성상 초기에 추정된 비용은 전 순기에서 기준비용으로 작용함에 따라 요구도나 사업의 특성이 바뀌지 않는 이상 그 의미가 매우 크다고 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 비용추정은 소요기획, 계획 및 예산단계에서 짧게는 5~10년 후의 연구개발 및 양산

† 2011년 6월 9일 접수~2011년 9월 16일 게재승인

* 국방대학교(Korea National Defense University)

책임저자 : 김동규(kdk1216@hanmail.net)

비용을, 길게는 10~20년 후의 운영유지비용을 추정하는 것으로 여러 가지 측면에서 위험성과 불확실성을 가지고 있다. 특히 획득 초기단계에서의 비용추정은 무기체계에 대한 상세 정보를 획득하기 힘들고, 불확실성 요인이 많아 점추정치(Point Estimation)에 대한 위험은 매우 높다고 할 수 있다.

따라서 비용분석가들은 추정된 비용에 포함된 불확실성 및 위험 요인과 더불어 이에 기반한 정량화된 값을 제시함으로써 의사결정자가 여러 가능성을 인지하고 비용을 승인할 수 있도록 하는 것이 무엇보다 중요하다.

지금까지 국내에서 비용위험에 대한 연구는 일부 이루어져 왔으나 그 결과를 바탕으로 정책적인 반응을 하기에는 제한되었다. 선진국에서와 같이 비용과 일정을 동시에 고려한 위험비용추정 연구는 시작되지 못하고 있었다. 따라서 본 연구에서는 무기체계 연구개발 사업에서의 주요 위험요소인 비용과 일정에 대해 결합확률분포를 적용하여 성공확률을 도출하고, 비용, 일정, 성공확률에 대한 다양한 대안을 의사결정자가 쉽게 이해할 수 있도록 조건부 확률을 적용하는 방법을 제안하였다.

2. 비용추정 위험분석의 필요성²⁾

어떤 사업이든 초기 단계에서의 비용추정은 여러 가지 측면에서 위험성과 불확실성을 가지고 있다. 비용추정치는 상당히 제한된 비용과 기술 정보를 가지고 먼 미래의 비용을 추정한 값이다. 급변하는 산업환경 변화나 기술 변화 등을 고려할 때 현재 비용추정에서 사용되는 비용자료는 10년 뒤에 가면 쓸모없는 자료가 되어 있을 수 있으며, 비용분석 당시 제조과정에서 적용된 학습효과는 실제 양산단계에 들어갔을 때 과대평가되거나 과소평가될 수 있다.

이렇듯 비용추정에 있어서 위험분석은 다음과 같은 이유에서 반드시 수행되어야 한다.

첫째, 비용추정치 하나만으로 건전한 의사결정을 하는데 한계가 있다. 즉, 무기체계 획득 초기단계에서 비용추정치는 비용, 일정, 기술 등 변화 요인을 많이 내재하고 있어 점추정치만으로는 추정비용의 신뢰성을 보장할 수 없기 때문이다.

둘째, 비용추정 위험분석은 가용한 대안들간에 절충 분석을 가능하게 한다³⁾. 무기체계 획득 초기단계에서

는 비용 뿐만 아니라 일정, 기술 등에서도 위험성을 가지고 있다. 즉, 각각의 위험요인을 상대적으로 평가함으로써 하나의 대안내에서 이들을 상호 절충하거나 다양한 대안들의 변화의 폭(위험의 정도)을 분석함으로써 보다 성공가능성이 높은 대안을 선택할 수 있게 한다.

셋째, 위험분석을 통해 효율적인 사업관리가 가능하다. 발생 가능한 위험을 사전에 식별하고 이를 완화하거나 회피하는 등의 방법을 사용할 수 있으나 발생한 위험에 대해서는 적절한 위험비용을 통해 이를 극복해야 한다. 이를 위해서는 사업 초기 단계에서 위험비용을 미리 반영함으로써 적시적절하게 위험에 대처함으로써 비용의 상승을 억제할 수 있다.

넷째, 추가예산 확보를 위한 논리를 제공한다. 적정 수준의 획득예산을 승인 받기 위해서는 요구되는 예산이 비용추정 위험분석을 통해 어느 정도 성공 가능성을 가지고 있는지를 증명할 필요가 있다.

이러한 필요성을 조기 인식한 미국은 무기체계 개발과정에서 비용 상승의 원인을 최초 계획 당시부터 내재되어 있는 불확실성에 원인이 있다고 보고, 불확실성에 대한 비용증가계수(CGF : Cost Growth Factor)를 개발하여 적용하는 등 이 분야에 대한 폭넓은 연구를 수행하고 있다^{4,5)}.

그러나 국내에서는 위험비용에 대해 정책적, 제도적 기반이 전무하며 위험비용에 대한 연구도 매우 제한적이다.

3. 비용추정 위험분석 방법론

비용추정 위험분석의 방법은 정성적인 방법과 정량적인 방법이 있다.

정성적인 방법은 비용증가가 예상되는 범위를 대략 2~3개 구간 별로 정하거나 언어적인 표현으로 “불확실하게”, “가장 불확실하게” 등과 같이 나타내는 방법이다. 이 방법에 의한 비용증가범위에 대한 대처방안은 수치적으로 불투명하고 주관적이기 때문에 의사결정자 입장에서 직접 적용하기에는 곤란하다²⁾.

정량적인 방법은 결정적(Deterministic) 방법과 확률적(Stochastic) 방법으로 나눌 수 있다. 결정적 방법은 과거 유사사업 추정시 사용된 비용자료나 입력자료를 변화시킴으로서 얻어진 특정 추정치를 사용하는 방법으로 유사장비 비교법, 비용증가계수 적용법, 민감도

분석 방법이 있다. 확률적 방법은 사업의 최종 추정비용을 확률변수로 정의하고 불확실성을 정량화하는 방법이다. 이는 최종 비용추정치에 대한 모든 불확실성 정보를 가지고 있는 확률분포함수를 정의함으로써 위험비용을 확률에 기반하여 정의하는 방법으로 오차확산법, 전문가 판단법, 추정방법 오차법, 모멘트법, 몬테카를로 시뮬레이션 방법이 있다^[6].

본 연구에서는 위험에 영향을 미치는 변수로 비용과 일정을 선정하고 두 확률변수간의 이변량 확률 분포 함수를 기반으로 누적 확률을 계산함으로써 비용과 일정을 동시에 고려한 성공확률 모델을 제시하는 확률적 위험분석방법을 적용하였다. 이와 더불어 결합 분포에 결정적인 영향을 미치는 상관관계에 대해 민감도를 분석하는 결정적 방법을 동시에 사용하였다.

4. 비용과 일정을 고려한 결합확률분포 모델

본 장에서는 비용과 일정 각각의 확률 분포가 어떤 분포를 따르는지 알아보고, 이 둘의 결합 이변량 확률 분포 모델에 대해 정의한다. 또한 각각의 주변 확률 분포(Marginal Distribution)를 활용하여 비용 또는 일정이 특정한 값으로 주어졌을 때 조건부 확률 분포에 대해 서술한다.

가. 비용과 일정의 확률 분포

비용과 일정의 확률분포는 비용과 일정이 변화함에 따라 성공확률이 어떻게 변할 것인가를 확률 분포 함수로 표현하는 것이다. 이러한 확률분포는 과거 무기체계 연구개발 자료를 통해 쉽게 도출될 수 있다.

그러나 국내에서는 무기체계 연구개발 경험이 적고, 통합된 자료관리가 미흡하여 국내 특성에 부합하는 분포를 도출하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 미국의 연구 자료를 바탕으로 무기체계 연구개발에 대한 비용과 일정의 분포를 우선적으로 정의하였다.

Fig. 1은 미국의 무기체계 획득 비용자료를 기반으로 몬테카를로 시뮬레이션을 구현한 자료이다^[7]. 자료에서 볼 수 있듯이 비용에 따른 성공확률은 정규분포와 유사한 형태를 보이고 있으나 평균을 중심으로 대칭을 이루는 정규분포와 달리 평균값이 중간값 보다 작게 나타나는 변형된 정규분포의 형태를 나타내고 있다. 이런 특징을 가진 분포는 로그정규(LogNormal) 분포에서 찾아볼 수 있다. 일정에 관한 분포 역시 비

용과 유사한 로그정규 분포를 보임을 미국의 연구사례를 통해 알 수 있었다.

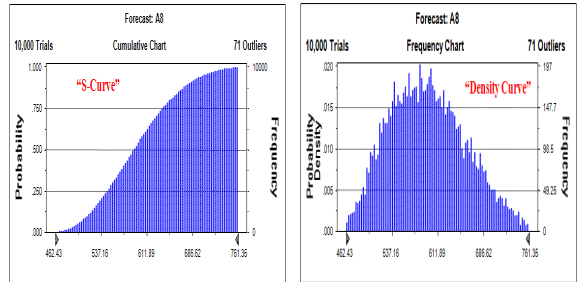


Fig. 1. 비용에 관한 누적분포함수/확률밀도함수

본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 비용과 일정에 대한 분포를 각각 로그정규 분포로 적용하는 방법과 더불어 이를 확장하여 비용과 일정에 대해 가능성이 높은 정규분포를 추가 연구하였다. 즉, 비용과 일정이 정규-정규분포, 정규-로그정규분포, 로그정규-로그정규분포를 따르는 3가지 경우를 제시하도록 한다.

나. 결합 이변량 정규분포 모델^[8]

첫 번째 모델은 결합 이변량 정규분포 모델(Joint Bivariate Normal Distribution Model)이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 비용과 일정의 분포가 각각 정규분포를 따르고 비용과 일정이 상관관계를 가질 경우 이들의 결합 확률 모델을 결합 이변량 정규분포 모델이라 한다.

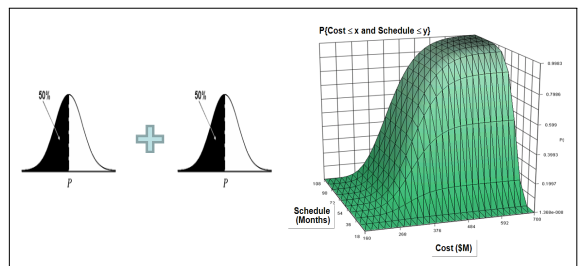


Fig. 2. 결합 이변량 정규분포 모델

이변량 정규 분포의 확률 밀도 함수는 식 (1)과 같으며,

$$f_{X_1, X_2}(X_1, X_2) = \left\{ \frac{1}{(2\pi)\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho_{1,2}^2}} e^{-\frac{1}{2}w} \right\} \quad (1)$$

이때 w 는 식 (2)와 같다.

$$w = \frac{1}{1 - \rho_{1,2}^2} \left\{ \left(\frac{x_1 - \mu_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho_{1,2} \left(\frac{x_1 - \mu_1}{\sigma_1} \right) \left(\frac{x_2 - \mu_2}{\sigma_2} \right) + \left(\frac{x_2 - \mu_2}{\sigma_2} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

두 연속 확률 변수 X_1 과 X_2 가 이변량 정규 분포를 따르면, 확률값 $P(a_1 \leq X_1 \leq b_1 \text{ and } a_2 \leq X_2 \leq b_2)$ 는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다^[9].

$$\int_{a_2}^{b_2} \int_{a_1}^{b_1} f_{X_1, X_2}(X_1, X_2) dx_1 dx_2 \quad (3)$$

또한 연속확률변수 X_1 과 X_2 가 이변량 정규분포를 따르고, $X_2 = x_2$ 가 주어졌을 때 X_1 의 조건부 확률 밀도 함수는 식 (4)와 같고, 정규분포를 따른다.

$$X_1|x_2 \sim N\left(\mu_1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \rho_{1,2}(x_2 - \mu_2), \sigma_1^2(1 - \rho_{1,2}^2)\right) \quad (4)$$

다. 결합 이변량 정규-로그정규분포 모델⁽⁸⁾

두 번째 모델은 결합 이변량 정규-로그정규 분포 모델(Joint Bivariate Normal-LogNormal Distribution Model)로 Fig. 3에서 보는 바와 같이 비용 또는 일정이 정규 분포를 따르고, 일정 또는 비용이 로그정규 분포를 따를 때 이 둘의 결합 확률 모델을 결합 이변량 정규-로그정규 분포 모델이라 한다.

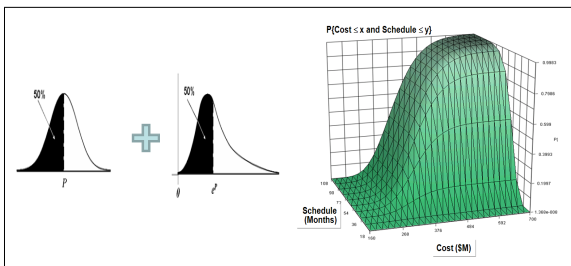


Fig. 3. 결합 이변량 정규-로그정규분포 모델

이변량 정규-로그정규 분포의 확률 밀도 함수는 식 (5)와 같으며,

$$f_{X_1, X_2}(X_1, X_2) = \left\{ \frac{1}{(2\pi)\sigma_1\sigma_2\sqrt{1 - \rho_{1,2}^2}} e^{-\frac{1}{2}w} \right\} \quad (5)$$

이때 w 는 식 (6)과 같다.

$$w = \frac{1}{1 - \rho_{1,2}^2} \left\{ \left(\frac{x_1 - \mu_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho_{1,2} \left(\frac{x_1 - \mu_1}{\sigma_1} \right) \left(\frac{\ln x_2 - \mu_2}{\sigma_2} \right) + \left(\frac{\ln x_2 - \mu_2}{\sigma_2} \right)^2 \right\} \quad (6)$$

두 변수의 상관관계는 $\rho_{1,2}$ 는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho_{1,2} = \rho_{X_1, X_2} \frac{(e^{\sigma_2^2} - 1)^{1/2}}{\sigma_2} \quad (7)$$

연속 확률 변수 X_1 과 X_2 가 이변량 정규-로그정규 분포를 따르면, 확률값 $P(a_1 \leq X_1 \leq b_1 \text{ and } a_2 \leq X_2 \leq b_2)$ 는 식 (3)과 같이 표현된다.

또한 연속확률 변수 X_1 과 X_2 가 이변량 정규-로그정규 분포를 따른다면, $X_2 = x_2$ 가 주어졌을 때 X_1 의 조건부 확률 밀도 함수는 식 (8)과 같고, 정규분포를 따른다.

$$X_1|x_2 \sim N\left(\mu_1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \rho_{1,2}(\ln x_2 - \mu_2), \sigma_1^2(1 - \rho_{1,2}^2)\right) \quad (8)$$

반면 $X_1 = x_1$ 으로 주어졌을 때 X_2 의 조건부 확률 밀도 함수는 식 (9)와 같고, 로그정규 분포를 따른다.

$$X_2|x_1 \sim \text{LogN}\left(\mu_2 + \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \rho_{1,2}(x_1 - \mu_1), \sigma_2^2(1 - \rho_{1,2}^2)\right) \quad (9)$$

라. 결합 이변량 로그정규분포 모델⁽⁸⁾

세 번째 모델은 결합 이변량 로그정규 분포 모델(Joint Bivariate LogNormal Distribution Model)로 Fig. 4에서 보는 바와 같이 비용과 일정의 분포가 모두 로그정규 분포를 따를 경우 이 둘의 결합 확률 모델을 결합 이변량 로그정규 분포 모델이라 한다.

이변량 로그정규 분포의 확률 밀도 함수는 식 (10)과 같으며,

$$f_{X_1, X_2}(X_1, X_2) = \left\{ \frac{1}{(2\pi)\sigma_1\sigma_2\sqrt{1 - \rho_{1,2}^2}} e^{-\frac{1}{2}w} \right\} \quad (10)$$

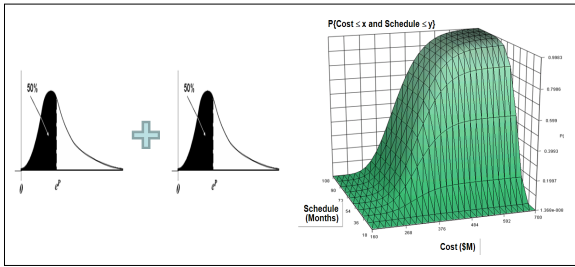


Fig. 4. 결합 이변량 로그정규분포 모델

이때 w 는 식 (11)과 같다.

$$w = \frac{1}{1 - \rho_{1,2}^2} \left\{ \left(\frac{\ln x_1 - \mu_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho_{1,2} \left(\frac{\ln x_1 - \mu_1}{\sigma_1} \right) \left(\frac{\ln x_2 - \mu_2}{\sigma_2} \right) + \left(\frac{\ln x_2 - \mu_2}{\sigma_2} \right)^2 \right\} \quad (11)$$

두 변수의 상관관계는 $\rho_{1,2}$ 는 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$\rho_{1,2} = \frac{1}{\sigma_1 \sigma_2} \ln \left[1 + \rho_{X_1, X_2} \sqrt{e^{\sigma_1^2} - 1} \sqrt{e^{\sigma_2^2} - 1} \right] \quad (12)$$

연속확률변수 X_1 과 X_2 가 이변량 로그정규 분포를 따르면, 확률값 $P(a_1 \leq X_1 \leq b_1 \text{ and } a_2 \leq X_2 \leq b_2)$ 는 식 (3)과 같이 표현된다.

두 연속확률 변수 X_1 과 X_2 가 이변량 로그정규 분포를 따르고, $X_2 = x_2$ 가 주어졌을 때 X_1 의 조건부 확률 밀도 함수는 식 (13)과 같고, 로그정규 분포를 따른다.

$$X_1 | x_2 \sim \text{LogN} \left(\mu_1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \rho_{1,2} (\ln x_2 - \mu_2), \sigma_1^2 (1 - \rho_{1,2}^2) \right) \quad (13)$$

5. 위험분석을 위한 적용 및 민감도 분석

비용과 일정에 대한 결합 이변량 분포들은 비용과 일정의 분포에 대해 각각의 평균과 분산, 그리고 이들간의 상관관계만 알고 있다면 앞서 제시한 다양한 수식을 통해 성공확률, 조건부 확률 등을 구할 수 있다.

본 장에서는 비용과 일정의 평균과 분산을 임의 생

성한 가상의 데이터를 활용하여 성공확률과 조건부 성공확률을 도출한다. 또한 상관관계는 결합 이변량 분포에서 매우 중요한 파라미터로 상관관계의 변화가 성공확률에 어떻게 영향을 미치는지 분석하기 위하여 민감도 분석을 실시하였다.

결합 이변량 확률분포를 계산하기 위한 도구로 MATLAB R2007B를 사용하였다.

가. 임의자료 생성 및 성공확률 계산

위험분석에 적용하기 위해 비용과 일정에 대한 각각의 평균, 분산 그리고 이들의 상관관계를 Table 1과 같이 임의 생성하였다.

Table 1. 민감도 분석을 위한 임의의 모수 선정

X_i	평균	분산	표준 편차
비용	100억원	625	25
일정	48개월	36	6
상관관계	0.50		

임의 생성된 데이터는 비용과 일정이 형성하는 분포에 따라 식 (1), 식 (5), 식 (10)을 활용하여 식 (3)과 같은 범위의 성공확률을 계산할 수 있다. 예를 들어, 비용이 120억원 이하이고 일정이 50개월 이하일 경우 3가지 모델에 대한 성공확률을 계산하면 Table 2와 같다.

Table 2. 비용-일정의 결합 분포별 성공확률

분포 (비용-일정)	성공확률
정규-정규	0.5566
정규-로그	0.5730
로그-로그	0.5822

이는 분포의 특성상 로그정규분포는 평균이 좌측으로 편향된 정규분포를 형성하므로 정규-정규분포보다 정규-로그정규분포가, 정규-로그정규분포보다 로그정규-로그정규분포가 더 높은 성공확률을 가짐을 알 수 있다.

나. 조건부 성공확률 계산

의사결정자들은 다양한 비용과 일정의 조건하에서 사업이 성공할 확률이 어떻게 변화하는지 확인하고자 한다. 즉, 전력화시기가 확고하여 일정이 고정된 상황에서 비용의 투입정도에 따른 성공확률을 확인하고자 할 수도 있으며, 예산의 제약으로 비용이 고정될 경우 성공확률을 높이기 위해 적절한 연구개발 기간은 얼마인지 확인하고자 할 경우도 있다. 이는 의사결정자들에게 다양한 상황에서 다양한 대안들을 제시함으로써 가장 합리적인 대안을 선택할 수 있게 한다.

이를 위해 우리는 조건부 확률분포를 활용할 수 있으며, 조건부 확률에 대한 기본적인 수식은 식 (14)와 같다.

$$P(\text{일정} < x_1 \mid \text{비용} = x_2) \text{ or } P(\text{비용} < x_2 \mid \text{일정} = x_1) \quad (14)$$

확률분포별 조건부 확률은 식 (4), 식 (8), 식 (9) 및 식 (13)을 활용하여 계산할 수 있다.

Fig. 5는 비용을 각각 80, 100, 120억원으로 고정할 경우의 조건부 확률분포로 분포의 종류에 상관없이 고정된 비용이 80억원에서 120억원으로 증가함에 따라 그래프는 오른쪽으로 움직이는 것을 알 수 있으며, 36개월과 60개월 사이의 일정에서 성공확률이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 만약 예산의 제약으로 인해 비용이 80억원 또는 100억원, 120억원을 초과하지 못하는 상황이 발생할 경우, 일정을 조절해서 목표한 성공확률을 달성할 수 있다. 예를 들어 결합 이변량 로그정규 분포 모델을 적용했을 때 성공확률을 95%로 정의한다면 비용이 80억원일 때는 54.2개월, 100억원일 때는 57.3개월, 120억원일 때는 60.1개월 이상의 사업 기간을 보장해야 한다.

Fig. 6은 일정을 각각 55, 60, 65개월로 고정했을 경우의 조건부 확률분포로 비용고정의 경우와 유사하게 분포의 종류에 상관없이 고정된 일정이 55개월에서 65개월로 증가함에 따라 그래프는 오른쪽으로 움직이는 현상을 볼 수 있고, 비용이 89억원에서 140억원 사이에서 성공확률이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 만약, 전력화시기의 엄격한 제한으로 일정이 55개월, 60개월 또는 65개월을 초과하지 못할 경우, 비용 조정을 통해 목표한 성공확률을 달성할 수 있다. 예를 들어 결합 이변량 로그정규 분포 모델을 적용했을 때

성공확률을 95%로 정의한다면 일정이 55개월일 때는 159억원, 60개월일 때는 174억원, 65개월일 때는 188억원 이상의 사업 예산을 보장해야 한다.

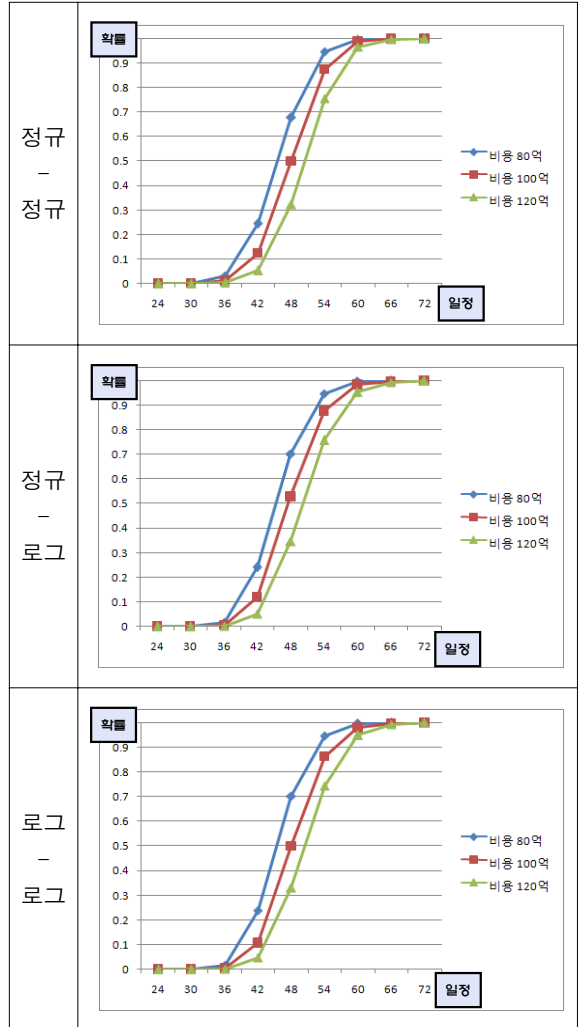


Fig. 5. 비용고정시 분포별 일정과 성공확률의 변화

이처럼 결합확률 분포모델을 적용하게 되면 비용과 일정을 동시에 고려한 성공확률을 도출할 수 있을 뿐만 아니라 조건부 확률분포를 사용하여 예산 및 전력화시기 등의 제약으로 한 요인을 고정된 상태에서 다른 요인의 변화를 분석하여 위험을 최소화하는 방안을 도출할 수 있다. 이는 사업의 진행여부나 사업 예산 및 기간의 확정을 위한 핵심 근거자료로 활용될 수 있다.

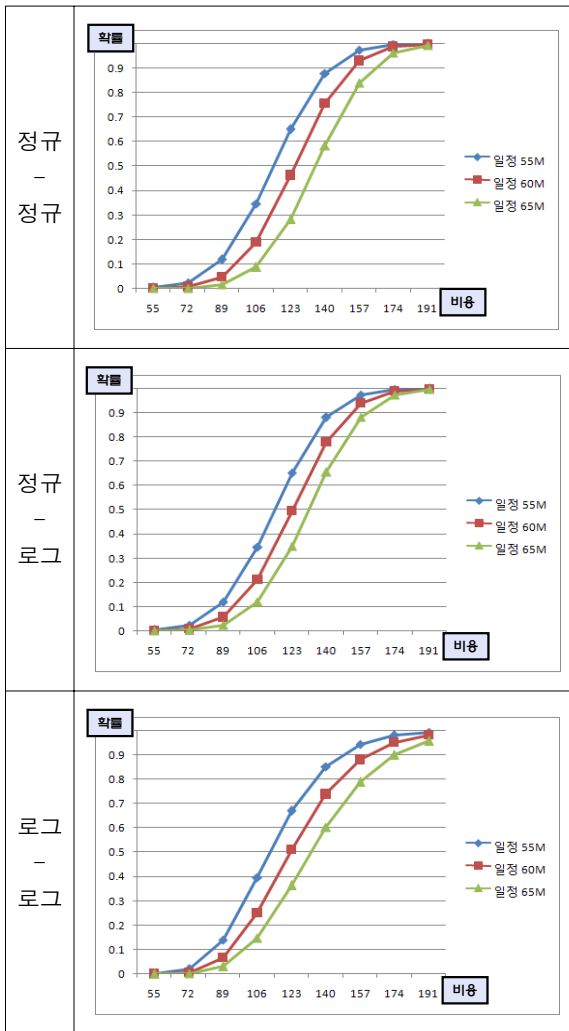


Fig. 6. 일정고정시 분포별 비용과 성공확률의 변화

다. 민감도 분석

결합 이변량 확률 분포모델의 파라미터중 비용과 일정의 상관관계는 성공확률에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상관관계를 6가지 등급, 즉 상관관계 계수가 0.99(매우 강한 상관), 0.80(강한 상관), 0.5(보통 상관), 0.30(약한 상관), 0.10(매우 약한 상관), 0(상관관계 없음)으로 나누어 성공확률의 변화를 알아 본다.

Fig. 7은 임의 생성된 자료에 비용과 일정이 로그-로그정규분포를 형성하는 결합확률 분포모델에 대해 비용과 일정을 각각 고정된 상태에서 상관관계 계수와 성공확률의 변화를 분석한 그래프이다.

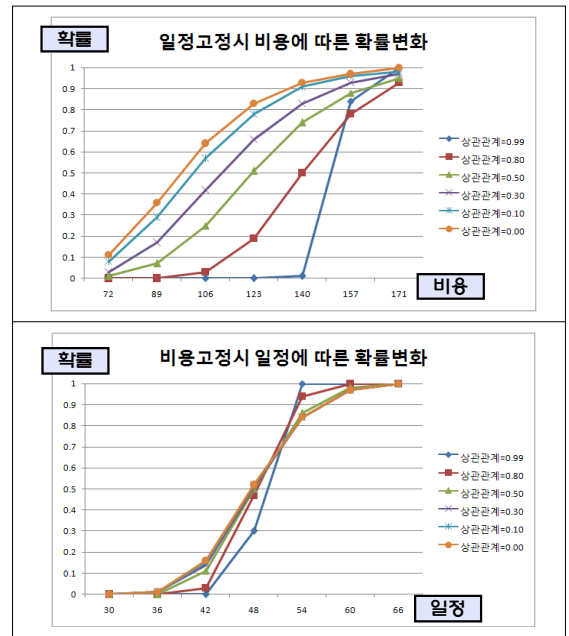


Fig. 7. 상관관계 변화에 따른 성공확률의 민감도 변화

Fig. 7에서 보는 바와 같이 일정은 상관관계의 변화에 따라 성공확률의 변화가 적는데 반해 비용은 성공확률의 변화가 크다. 특히 비용은 상관관계가 작을수록 확률의 분포가 완만하게 나타남을 확인할 수 있다. 이러한 원인은 비용과 일정의 분산에서 찾을 수 있다. 비용은 상대적으로 분산이 큰 반면 일정은 분산이 작다. 즉 분산이 작은 경우 상관관계는 성공확률에 큰 영향을 미치지 않으나, 분산이 큰 경우 상관관계에 큰 영향을 받는다고 할 수 있다. 따라서 비용이나 일정의 분산을 줄이거나, 또는 경험 자료를 통해 이들의 정확한 상관관계를 도출함으로써 위험분석의 정확도를 향상시킬 수 있을 것이다.

6. 사례연구

본 장에서는 무기체계 연구개발에 대한 비용분석 실제 사례를 제안된 결합확률 분포모델에 적용하여 국내 적용가능성을 평가하였다.

적용된 사례는 주로 최근에 연구된 비용분석 사업으로 한국형 공격헬기 및 차기 보병 장갑차 연구개발 사업이며, 이들은 모두 PRICE 모델에 의한 비용추정을 실시하였다.

가. 한국형 공격헬기 연구개발 사업 적용

한국형 공격헬기 사업 분석평가는 국방대학교와 산업연구원에 의해 수행되었으며, 다양한 획득대안별 작전 요구성능 분석, 비용분석 및 경제성 분석 등에 대한 연구를 포함하고 있다^[10].

본 연구에서는 PRICE 모델에 의한 비용추정과 더불어 전문가들의 설문을 통해 WBS별 주요 입력 파라미터의 최소값 및 최대값을 조사하고, PRICE 모델내 위험비용분석 기능을 활용하여 위험비용을 분석하였다.

Fig. 8은 연구에서 제시하고 있는 시스템 수준에서의 위험 비용분포로 앞서 언급한 로그정규분포와 유사한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다. 주요 파라미터로 평균이 6,739.4억원, 분산이 45,612.62억원, 표준편차가 213.57억원으로 제시되고 있다.

결합확률 분포모델을 적용하기 위해 요구되는 일정의 분포에 관한 연구는 없었으나, 연구 당시 운용중인 공격헬기의 노후화로 조기 전력화를 요구함에 따라 엄격한 전력화시기 제약사항을 반영한 로그정규분포를 적용하는 것이 타당한 것으로 판단하였다. 따라서 연구개발 일정은 평균을 7년(84개월)으로, 분산은 36개월, 표준편차를 6개월로 하는 로그정규 분포로 가정하였으며, 비용과 일정의 상관관계는 보통의 상관관계인 0.5로 가정하였다.

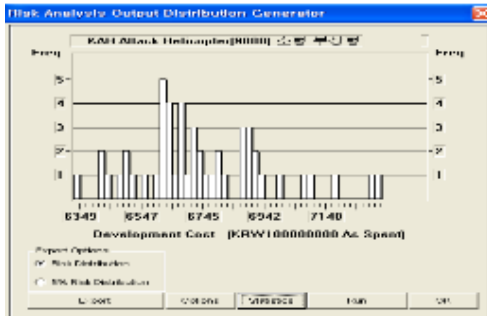


Fig. 8. 한국형 공격헬기 비용 분포

이렇게 정의된 모델을 통해 비용추정값이 7,400억원 보다 작고 계획된 전력화시기보다 6개월 연장된 90개월 이내에 사업이 성공적으로 종료될 확률을 계산한 결과, 84%의 성공 가능성을 보이고 있었다. 또한 전력화시기를 엄격히 통제된 본 사업의 특성을 고려하여 일정을 90개월을 초과하지 않는 조건하에서 성공확률을 95% 이상 달성하기 위한 비용을 분석한 결과, 평균 추정치보다 약 400억원이 많은 7,160억원 이상임

을 도출할 수 있었다.

이러한 결과는 필요시 의사결정자 및 예산담당자에게 전력화시기 충족과 성공가능성을 높이기 위한 예산 추가 투입의 근거로 제공될 수 있을 것이다.

나. 차기 보병 장갑차 연구개발 사업 적용

차기 보병 장갑차 연구개발 사업에 대한 비용자료는 2009년에 실시한 비용분석 전산모델의 정확도 향상방안 연구 자료를 활용하였다^[11]. 특히, 본 연구에서는 유사장비의 PRICE 모델 비용분석 결과를 활용하여 주요 입력 파라미터의 적정 입력범위를 연구함에 따라 차기 보병 장갑차에 적용 가능한 입력 파라미터의 최소값과 최대값을 적용하여 비용분포를 도출할 수 있었다. 도출된 비용분포는 앞의 경우와 달리 Fig. 9와 같이 정규 분포에 가까운 것을 알 수 있었으며, 주요 파라미터로 평균이 899.7억원, 분산이 169.73억원, 표준편차가 13.03억원으로 도출되었다.

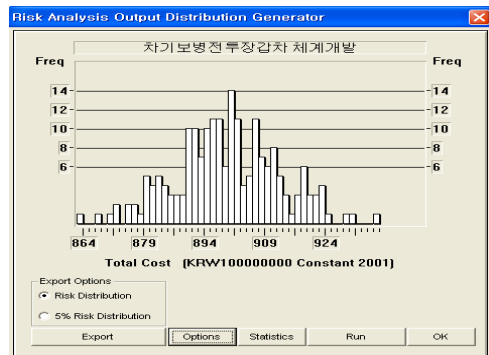


Fig. 9. 차기 보병 장갑차 비용 분포

일정은 소요제기기관의 전력화시기를 고려하여 평균을 6년(72개월)으로, 분산은 25개월, 표준편차를 5개월로 가정하였으며, 계획된 기간보다 초기에 종료하도록 추진되는 사업기간의 특성을 고려하여 앞서와 동일하게 일정분포를 로그정규 분포로 가정하였다. 비용과 일정의 상관관계 역시 보통의 상관관계인 0.5로 가정하였다.

이렇게 정의된 모델을 통해 비용추정치인 950억원 보다 작고, 계획된 전력화 기간보다 5개월 연장된 77개월 이내에 사업이 성공적으로 종료될 확률을 계산해 본 결과, 84%의 성공 가능성을 보였다. 또한 예산의 제약으로 인해 비용이 950억원으로 고정되었을 때 성공확률이 95% 이상이 되기 위해 요구되는 일정은

최소한 90.7개월 보다 길어야 함을 도출할 수 있었다.

이러한 결과 역시 의사결정자, 예산담당자, 소요군이 예산과 전력화 시기의 절충을 통해 예산의 적절한 편성과 더불어 전력화 시기 충족 및 성공가능성을 높이기 위한 근거로 활용될 수 있을 것이다.

7. 결론 및 향후 연구방향

지금까지 비용과 일정에 대한 결합확률 분포를 이용하여 성공확률을 계산하고, 조건부 확률을 활용하여 다양한 조건하에서 비용과 일정의 선택 가능한 다양한 대안을 도출하는 방법을 제안하였다.

그러나 본 연구에는 다음과 같은 몇가지 한계점을 가지고 있다.

첫째 비용과 일정의 분포를 국내 무기체계 획득환경에 기반한 데이터를 통해 검증하지 못하고 국외 연구 자료를 활용하였다는 점이다.

둘째, 비용과 일정의 상관관계에 대한 정의가 가정 사항에 기반하고 있다는 사실이다. 물론 이들이 양(+)의 상관관계를 형성하고 있다는 사실은 상식적으로 이해할 수 있으나, 민감도 분석에서도 알 수 있듯이 분산이 큰 경우 상관관계 계수는 성공확률에 큰 영향을 미치게 되어 정확한 성공확률을 계산하는데 한계를 가질 수 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 비용추정 위험분석 측면에서 몇가지 의미를 가진다.

첫째, 국내에서 연구가 미흡한 위험분석분야에서 실제 사업에 적용이 가능한 위험분석 방법을 처음으로 제안하였다. 대부분의 사업분석평가에 대한 연구는 위험분석을 포함하고 있으나 비용과 일정에 관한 위험분석은 실질적으로 이루지지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 비용과 일정에 관한 위험분석방법을 국내에서 처음으로 제안했다는 데 큰 의미가 있다.

둘째, 정책적으로 고려되고 있지 않는 위험비용을 편성하는데 있어 이론적 근거를 제공할 수 있다. 향후 위험비용의 편성이 정책적, 제도적으로 구현된다면 적절한 예산 편성의 이론적 근거로 활용될 수 있을 것이다.

셋째, 주요 의사결정자, 예산편성담당자, 소요군 등 획득관련 주요 담당자들에게 비용과 일정에 관련된 대안을 합리적이고 현실적인 수준에서 결정할 수 있도록 일정, 비용 및 성공가능성에 관련된 다양한 대안

을 제시할 수 있다. 이는 비용과 일정, 성공가능성에 대해 절충을 가능하게 하여 이들의 합리적인 통합에 기여할 수 있다.

넷째, 현재 연구가 진행되고 있는 한국형 비용분석 전산모델의 위험비용분석 논리로 적용될 수 있다.

이상과 같이 본 연구는 위험분석 분야에서 비용과 일정, 성공가능성에 대해 국내에서는 처음으로 적용 가능한 방법론을 제시하였으며 그 의미 및 활용도는 높을 것으로 생각된다.

향후 연구 분야로는 연구의 한계점을 극복하기 위해 비용과 일정에 관한 다양한 데이터를 수집하여 이들의 분포 및 상관관계에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 위험 요소중 핵심이 되는 기술위험 자체에 대한 연구와 더불어 이를 비용과 일정에 통합하는 것에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

References

- [1] 국방전력발전업무규정(국방부 훈령 제1306호), 국방부, 2011. 2. 8.
- [2] 강성진, “무기체계 비용추정 위험분석 방안”, 2009 안보연구시리즈 제10집 5호, 2009. 12.
- [3] Book, Stephen A., “Cost Risk as a Discriminator in Trade Studies”, Joint SCEA/ISPA International Conference New Orleans, LA, June, 2007.
- [4] Dregner, J. A. et al., “An Analysis of Weapon System Cost Growth”, RAND, 1993.
- [5] Smoker, R. and Smith, S., “Approach to Use of Selected Acquisition Reports for Measurement of TRLs and Associated System Cost Growth”, 2008.
- [6] 강성진, “비용추정론”, 두남, 2010.
- [7] Stephen A. Book, “Quantifying the Relationship between Schedule and Cost”, 2009 NASA Cost Symposium, 2009.
- [8] Garvey, P. R. and Taub, A. E., “A Joint Probability Model for Cost and Schedule Uncertainties”, The Journal of Cost Analysis, Spring 1997.
- [9] 윤병창, 배현웅, “통계학 이론”, 북스힐, 2005.
- [10] 산업연구원, 국방대학교, “한국형 공격헬기 사업 분석평가”, 방위사업청, 2010.
- [11] 국방대학교, “비용분석 전산모델의 정확도 향상방안 연구”, 방위사업청, 2009.