

국방 R&D 프로젝트의 일정-비용분석모델의 연구

A study on a Schedule-Cost Analysis Model for Defense R&D Project Planning

황 흥 석* 류 정 철* 정 덕 길**

Hwang Heung-Suk Lu Jeong-Cheol Jung Deok-Gil

* 동의대학교, 산업공학과 **전산통계학과

부산광역시 부산진구 가야동 산24

ABSTRACT

R&D project management is a process of decisions concerned with the achievement of goals of objectives. Especially, defense R&D project planning is the key in the successful management of defense development. The defense project managers are constantly having to perform "what if ?" exercise, such as what if the project is extended out for an additional months? What would be the additional cost? In this research, we developed a schedule-cost analysis model based upon Critical Path Method(CPM) and Venture Evaluation and Review Technique(VERT) for schedule-cost trade analysis defense R&D projects. In the first step, a deterministic model is developed as a heuristic which determines the schedule extension and reduction cost as a function desired schedule. In the second step, a stochastic network simulation model is developed to analyse the project risk(success and failure). The expected time and cost can be determined for desired schedule under the assumptions of stochastic arc data(time and cost) with a various precedence relationships. This model provides the defense R&D managers with an estimated and expected cost for curtailing or extending a project a given amount of time. The effectiveness and efficiency of the proposed methods, a heuristic and stochastic networks simulations, have been demonstrated through examples.

1. 서 론

최근의 급속한 국방과학 기술의 발전과 더불어 국방 연구개발의 비용과 개발기간 등 연구자원이 급격히 증가되고 있는 추세이다[1]. 비용증가와 더불어 개발기간의 지연은 국방 문제에 지대한 영향을 미치고 있다. 반면 이러한 대형 연구개발 사업은 대부분 연구개발 예산과 기간을 최적화(Optimizing)하도록 요구되고 있다. 결국은 이러한 연구기간과 비용의 최적화를 위한 방법이 프로젝트 연구에 못지 않게 중요시 되고 있다. 이러한 문제는 기존의 많은 문헌들에서 보면 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 특히 Moder와 Philips[2]는 다음과 같은 3가지의 문

제점을 제시 하였다.

- 1) 연구개발 목표달성을 위하여 무제한의 연구자원의 활용
- 2) 제한된 연구자원의 배분
- 3) 장기적인 연구자원의 계획

이중 제한된 연구자원의 배분문제는 실제로 연구자원의 가용성과 연구활동의 선후관계 뿐만 아니라 연구과제의 소요시간과 비용 등의 문제를 포함한다. 따라서 본 연구는 연구기간의 증감에 따른 비용 예측을 위한 방법의 연구이다. 그러므로 다음과 같이 2단계의 Model을 제안하였다. 먼저 확정적인 모델로서 CPM의 기본이론을 근거로 하여 정상적인 사업계획(기간/비용)의 기간변동에 따른 비용을 예측하며, 다음 단계로 확률적인 네트워크 시뮬레이션을 통하여 기대 연구기간 및 기대 연구비용 산정과 연구과제의 위험분석(성공/실패확률)을 제시하였다.

2. 프로젝트 일정-비용분석 모델

2.1 모델개요

기존의 CPM모델 및 이에 관련된 문헌들에 의하면 정상일정(Normal Schedule)에 따라 프로젝트가 추진될 경우 최적의 사업기간과 비용으로 수행될 수 있음을 전제로 하고 있다. 그러나 실제 연구개발 프로젝트의 경우 사업의 우선순위, 특정기술의 문제, 연구인력, 연구비 및 연구장비 등의 문제로 항상 정확하게 계획하고 일정(최적일정(Opimum Schedule) 또는 정상일정(Normal Schedule))대로 추진되는 것만은 아니다. 특히 국방 연구개발 과제의 경우 항상 제한된 예산, 기술상의 문제점, 연구장비 및 설비 등의 문제로 계획일정이 단축되는 경우 보다 연장되는 경우가 많다. 이 경우 사업비용은 어떻게 될 것인가? 이 경우 어느 정도 확실한 결과를 얻을 것인가?(위험성은?)하는 문제를 다루었다. Wiest와 Levy[3]는 이러한 문제를 그림 1에서와 같이 연구개발 과제의 일정변화에 따른 활동(Activity)비용의 변화를 표시하였다. 본 연구에서는 먼저 기존의 CPM 모델을 이용 하여 주공경(Critical Path)을 결정하고, 비용구배(Cost Slope)를 산정하여 최소의 비용 증가가 되도록 각 활동의 계획기간(Time)을 단축 또는 연장해 가는 방법을 사용하였으며, 다음 그림 2와 같이 각 활동시간 및 비용이 확정적인 경우와 확률적인 경우로 구분하여 연구하였으며 항상 연구개발 사업에서 문제시 되는 불확실성(성공/실패 확률)을 산정하는 과정을 제시하였다.

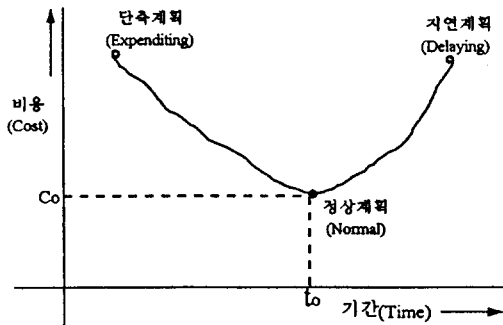


그림 1. 연구개발 사업활동의 비용-시간 관계도

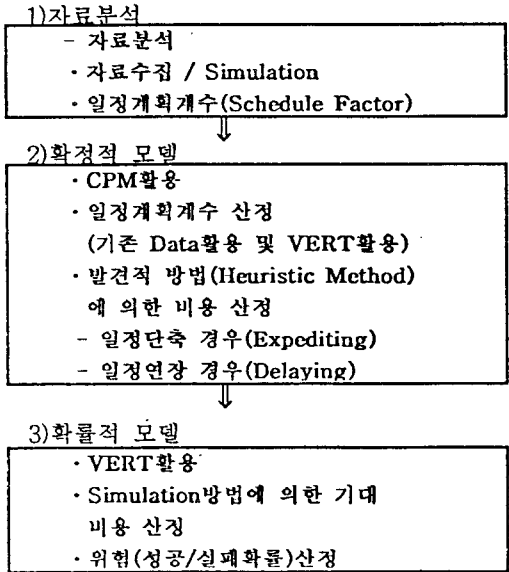


그림 2. 모델 개요

2.2 확정적 방법

연구개발의 일정계획의 변화에 따른 비용의 산출을 위하여 먼저 각 활동의 정상적인 소요시간(Normal Time) 및 비용(Normal Cost)자료로부터 일정단축 및 연장 대안에 따른 비용을 발견적인 방법(Heuristic Method)에 의하여 산출하는 과정을 다음과 같이 보였다.

단계1 : 요구되는 일정연장 기간 또는 일정단축 기간에 따른 일정변경계수(Schedule Cost Factor)의 산출

일정연장 기간, 일정연장 비용계수 : DT, CDF
 일정단축 기간, 일정단축 비용계수 : ET, CEF
 여기서 CDF 및 CEF의 산출 방법은 가용 자료가 충분할 경우 사업기간 및 R&D비용에 관한 기존의 자료로부터 예측한 비용 중 최소비용에 대한 각 사업 기간별 비용의 비율로서 산출한다. 또한, GMDH(Group Method Data Handling)방법 및 주관적 확률(Subjective Probability)기법 등의 방법으로도 가능하다.

단계2 : 먼저 CPM모델로부터 주공정을 산출하고 주공정상의 각 활동에서 계획변경(사업기간의 단축 및 연장)에 대한 비용의 증감이 없는 활동을 지정하여 다음 값을 산출한다.
 - 정상사업기간 : $TNT = \sum AT(i,j)$

$AT(i,j)$: 주공정상의 활동의 정상소요기간
 - 사업일정연장시의 총사업기간 : $TDT = TNT + DT$
 - 사업일정단축시의 총사업기간 : $TET = TNT - ET$

단계3 : 사업일정 변경기간 계수산정
 - 주공정상의 일정연장 기간계수
 $TDF = 1 + (DT / (TNT - \sum CAT(i,j)))$
 $\sum CAT(i,j)$: 주공정상의 고정시간 활동의 소요기간
 - 주공정상의 일정단축 기간계수
 $TET = 1 + (ET / TNT - \sum CAT(i,j))$

단계4 : 주공정상의 활동, $AT(i,j)$ 의 일정변화 기간산출(고정일정 기간 활동제외)
 $DAT(i,j) = TDF \times TAT(i,j)$
 $EAT(i,j) = TEF \times TAT(i,j)$
 $DAT(i,j)$: 주공정상의 활동에 대한 일정연장기간
 $EAT(i,j)$: 주공정상의 활동에 대한 일정단축기간
 $TAT(i,j)$: 주공정상의 활동에 대한 정상시간

단계5 : 일정연장시의 비용산출
 - 일정연장시의 총비용 : $TDC = CDF \times TNC$
 $TEC = CEF$
 TNC : 정상계획시 총비용
 TEC : 일정단축시의 총비용
 TDC : 일정연장시의 총비용
 CEF : 일정단축 비용계수
 - 각 활동별 일정연장비용 산정
 1) 주공정상의 고정비용 활동의 일정변경비용
 일정연장시, $DCAC(i,j) = CDF \times NCAC(i,j)$
 일정단축시, $ECAC(i,j) = CEF \times NCAC(i,j)$

$NCAC(i,j)$: 주공정상의 고정비용활동의 일정연장비용
 2) 비주공정 고정비용 활동의 일정변경비용
 일정연장시, $DNCAC(i,j) = CDF \times NCANC(i,j)$
 일정단축시, $ENCAC(i,j) = CEF \times NCANC(i,j)$
 3) 주공정상의 활동의 일정변경비용
 일정연장시, $DAC(i,j) = CDF \times NAC(i,j)$
 일정단축시, $EAC(i,j) = CEF \times NAC(i,j)$
 $NAC(i,j)$: 주공정상의 활동의 정상비용
 4) 비주공정상의 활동의 일정변경비용
 일정연장시, $DNAC(i,j) = CDF \times NCAC(i,j)$
 일정단축시, $ENAC(i,j) = CEF \times NCAC(i,j)$
 $NCAC(i,j)$: 비주공정 활동의 정상비용

2.3 확률적 시뮬레이션 방법

지금까지의 확정적인 방법에서는 각 활동의 소요시간 및 비용과 각 Node간의 전후관계를 확정적인 값으로 주어졌으나, 대부분의 연구개발 프로젝트의 경우 각 활동의 소요시간과 비용은 많은 불확실성을 가지고 있어 확률분포 함수로 주는 것이 타당할 것이며, 각 활동간의 선후관계도 확정적인 관계보다는 다양한 관계를 고려해야 한다[4]. 즉 선행활

등이 여러개 있을 경우(예:시제품은 1개보다 다수의 시제품을 제작) 이들 중 전부 또는 일부가 완료될 경우 다음 활동이 시작될 수 있는 조건을 부여할 수 있다.

이러한 확률적인 요인들을 요약하면 아래와 같다.

- 각 활동의 소요시간 및 비용
- 각 활동의 선수관계의 조건
- 성공 및 실패할 확률(불확실성)
- 비용 및 사업기간의 Trade-off 분석

이러한 확률적인 요인을 고려한 분석을 위하여 VERT[5]을 활용 하였으며, Node및 활동의 연관관계를 다양한 조건으로(INITIAL, AND, PAND, OR, TERM, ALL, MC, FLTI) 고려하여 불확실한 연구개발 과제의 성공/실패할 확률을 계산할 수 있도록 하였다. 그리고 다음 항에서 예제를 통하여 운용예를 보였다.

3. 적용사례

3.1 발견적 방법

위의 발견적 방법에 의한 연구개발 과제의 일정계획 변경에 따른 프로젝트의 비용 산정을 위한 대화 형식의 전산프로그램이 개발되었으며, 아래와 같이 국방 연구개발 과제에 적용한 결과를 보였다. 본 자료는 문제의 성격상 가상적인 자료를 사용하여 위의 단계적인 비용 산정 과정에 따라 산정하였다. ××무기 체계의 예를 들면 연구개발을 위하여 계획이 수립되어 과제의 Network이 그림 3과 같이 주어졌으며 관련자료는 표 1에서와 같이 주어졌다.

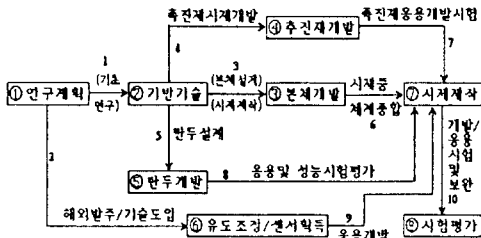


그림 3. ××시스템 연구개발과제 Network(예)

표 1. 적용연구과제 자료

활동 번호	활동 내용	정규시간 (Month)	정규비용 (단위: 백만원)	선행 활동	비고
1	①→②, 기초연구	36	1,500	-	
2	①→⑥, 유도조정/센서 기술발주 및 도입	26	2,400	-	고정
3	②→③, 본체의 시제품 설계	28	3,500	1	
4	②→④, 추진제 개발	31	1,800	1	
5	②→⑤, 탄두설계	24	2,000	1	
6	③→⑦, 시제품 체계 종합	18	1,900	3	
7	④→⑦, 추진제 응용 개발/시험	28	2,000	4	
8	⑤→⑦, 탄두의 응용 개발 및 시험	27	1,900	5	
9	⑥→⑦, 유도조정/센서 응용개발 및 시험	32	1,800	2	
10	⑦→⑧, 개발 및 응용 시험 및 보완	23	2,500	6,7,8, 9	

연구개발 과제의 특성상 각 중간제품(예:시제품등)의 개발숫자와 전후활동의 연관관계 및 각 활동의 시간 및 비용 자료의 확률적 요소들은 다음 확률적 네트워크 시뮬레이션 방법에서 다루기로 하고 본 항에서는 정규시간 및 총비용과 일정계획의 단축 및 연장시의 비용의 변화를 산정하는데 중점을 두었다. 먼저 CPM모델을 이용한 시간분석 결과는 표 2와 같다.

표 2. CPM 분석결과

CPM TIME ESTIMATES AND CALCULATIONS

ACTIVITY	TIME	EARLIEST START	LATEST START	SLACK			
1	2	36.0	0	36.0	0		
1	6	26.0	0	26.0	37.0	63.0	37.0
2	3	28.0	36.0	64.0	49.0	77.0	13.0
2	5	31.0	36.0	67.0	36.0	67.0	0
2	5	24.0	36.0	60.0	44.0	68.0	8.0
3	7	18.0	64.0	82.0	77.0	95.0	13.0
4	7	28.0	67.0	95.0	67.0	95.0	0
5	7	27.0	60.0	87.0	68.0	95.0	8.0
6	7	32.0	26.0	58.0	63.0	93.0	37.0
7	8	23.0	95.0	118.0	95.0	118.0	0

CRITICAL PATH ACTIVITIES

- 1-2
- 2-4
- 4-7
- 7-8

EXPECTED PROJECT DURATION -118.00

본 연구개발 사업의 정규소요 시간은 118개월이고 이 경우의 소요비용은 213억원이다. 이러한 일정계획을 10개월 연장할 경우 표 3과 같이 총 소요비용은 31.95억원이 증가된 244.95억원이 된다.

표 3. 10개월 연장시의 일정분석 결과

RESULTS FORSTRETCHOUT ANALYSIS WITH A DURATION OF 2 MONTHS

ACTIVITY NUMBER	NORMAL TIME	STRETCHOUT TIME	NORMAL COST	STRETCHOUT COST
1.	36.00	39.05	1500.00	1725.00
2	26.00	26.00	2400.00	2400.00
3	28.00	33.11	3500.00	4138.51
4.	31.00	33.63	1800.00	2070.00
5	24.00	28.38	2000.00	2364.86
6	13.00	30.37	2000.00	2300.00
7.	28.00	21.28	1900.00	2246.62
8	27.00	31.93	1900.00	2300.00
9	32.00	37.84	1800.00	2246.62
10.	23.00	24.95	2500.00	2875.00

TOTAL *21300.00 *24495.00

THE 10 MONTHSTRETCHOUTCOST ASSOCIATED WITH THIS NETWORK WOULD BE 52195.00

이를 다시 계획일정을 일정기간단축 또는 연장할 경우의 비용들을 비교하여 보면 표 4 및 그림 4와 같다.

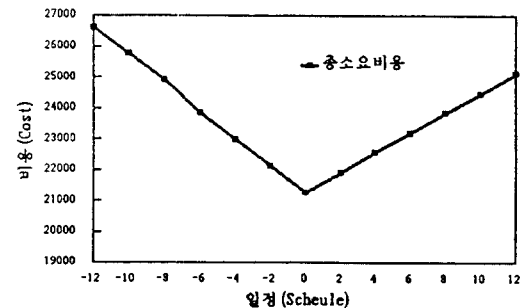


그림 4. 일정계획 변경에 따른 사업비용 비교

표 4. 일정계획 연장/단축에 따른 비용 ××연구 개발과제 (활동:10개)

일정 변경	사업기간 (Month)	사업비용 (100만원)	증감비용 (100만원)	비 고
+12	130	25,134	+3,834	
+10	128	24,495	+3,195	
+8	126	23,856	+2,556	
+6	124	23,217	+1,917	
+4	122	22,578	+1,728	
+2	120	21,939	+639	
일정계획 (Normal Schedule)	118	21,300	0	활동 2는 고정 비용 활동임
-2	116	22,152	+852	
-4	114	23,004	+1,704	
-6	110	23,856	+2,556	
-8	108	24,921	+3,621	
-10	106	25,773	+4,473	
-12	104	26,625	+5,325	

3.2 위험분석

앞의 예제를 VERT를 이용한 확률적 시뮬레이션(Stochastic Network Simulation)방법을 이용하여 그림 3의 활동 1-2(기초연구)를 4개분야. 추진체(Propuls), 탄두(WHEAD), 본체(MBODY), 및 유도장치(GUIDE)등 4가지 분야의 기초연구를 수행하고 그림 3의 활동 2-3(본체설계)도 3개의 본체(PTAOK, PTBOK, PTCOK)를 개발하도록 하였으며 활동 3-4(시제품제작)도 3개의 시제품을 제작하여 이중 1개 이상의 성공적인 시제가 개발되면 다음 단계의 시험평가를 하도록 하였다. 이를 VERT[5] Network을 작성하면 그림 5과 같다

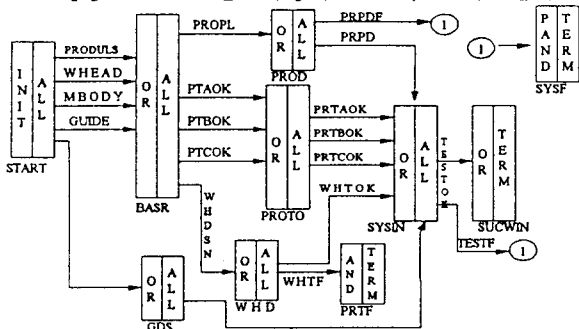


그림 5. VERT Network(예제)

VERT Network Simulation Model의 수행결과 계획된 기간내에 소요비용으로 프로젝트를 수행할 경우의 위험(성공/실패)분석 결과는 그림 6에서와 같이 요약하였다.

표 4의 계획일정(Normal Schedule) 118개월에서 21,300의 비용이 소요되는 경우 약 73%(27%실패)의 성공확률을 기대할 수 있다.

4. 결론

본 모델의 적용을 위하여 약 50여개의 예제를 분석하였으며, 이를 위하여 개발된 전산프로그램의 보완과 기초자료의 획득이 보다 더 용이할

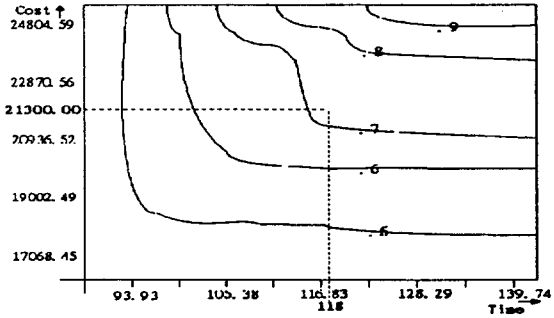


그림 6. 위험분석결과

경우 국방 연구개발 과제의 분석에 매우 유용하게 활용될 수 있으리라 생각된다. 특히 유도무기 과제의 경우 사업 관리자는 많은 Sub-System들의 결과를 체계종합(System Integration)하여야 하고, 각종 시험장, 개발시제의 설계 조립 및 관련핵심기술 획득 등의 어려움과 항상 연구요원 및 예산이 부족한 상태에서 프로젝트가 수행되므로 대부분의 경우 계획일정의 지연이 생기게 된다. 이러한 어려움에서도 일정단축의 계획을 강하게 요구 받는 환경에서 사업이 추진되므로 본 모델이 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 이러한 특이한 국방 연구개발 과제의 일정계획 분석을 위하여 확정적 및 확률적인 분석 방법을 제안 하였으며 이를 위한 전산프로그램을 개발하여 사용하였다. 본 연구의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

- 국방 연구개발 사업의 일정계획 분석,
- 일정의 단축 및 연장된 경우의 총사업 비용의 산정,
- 각 활동의 소요기간 및 비용이 확률변수로 주어질 경우의 시스템의 소요기간 및 비용예측,
- 비용 및 사업기간에 따른 프로젝트의 위험분석(성공/실패 확률분석)가능.

참고 문헌

- Gansler, J.S., "Defense Program Instability : Causes, Costs, and Cures", Defense Management Journal, 1986.
- Joseph J. Moder, Cecil R. Philips, *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*, pp. 365~370, 1983.
- Wiest, J.D., and Levy, F.K., *A Management Guide to PERT/CPM*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1969.
- Heung-Suk Hwang, " A Risk Analysis Model using VERT for R&D Project Management" Korean OR and MS, Vol. 20, No. 1, pp. 85~99., 1995.
- Moeller, G.L., " Operations Planning with VERT", Opns., Res., Vol. 29, No. 4, pp. 676~697, 1981.