

WSDOT의 신뢰도 기반 프로젝트 예산 수립(Draft)

확률 리스크 기반 접근 방식

K-Risk 발간편집 위원회

K-Risk

※ 본 문서는 현재 미국 WSDOT의 CREM 커뮤니티에서 검토중인 Draft 초안 문서로서 내외부 공식 설계 기준 등에 활용하기에는 아직 부적합함을 주의하여 주시기 바라며 궁금한 사항은 K-Risk 사무국으로 문의하여 주시기 바랍니다.

목적

CREM 실무 커뮤니티의 비용 리스크 예측 관리에서 나온 본 문서는 확률적 리스크기반견적(RBE) 범위를 기반으로한 컨틴전시(우발상황예비비)를 계산하기 위한 권장 방법을 기술하고 있다. 이러한 유형의 비용 견적 방법은 프로젝트가 특정 금액으로 완료될 수 있다는 신뢰도를 반영하는 다양한 값을 생성한다.

수년 동안 많은 훌륭한 분들이 총 프로젝트 비용의 합계 분포를 백분위수 형태로 사용해 왔다. 확률 변수가 독립적인 경우 그 합계의 백분위수는 백분위수 합계를 사용할 때보다 범위가 더 좁게 나타난다. 또한, 우리 업계의 경우 자금 조달은 일반적으로 세 가지 프로젝트 단계로 이루어진다. 예비엔지니어링(pe)은 일반적으로 설계라고도 한다. 용지보상 및 건설, 또한 설계와 용지보상에 비용이 지출되지만 건설은 향후 2년으로 연기되는 경우도 많다. 따라서 프로그램 관리는 단계별로 예산을 편성할 수 있어야 하며, 리스크 예비비도 단계별로 구성되어야 한다. 이 문서에서는 백분위수 합계 접근 방식을 선호하는 방법으로 제시한다.

이력 및 문제 식별

확률적 RBE 방법을 사용하는 경우 몬테카를로 모델링을 통해 프로젝트 비용 및 일정 조달 가능성의 분포가 생성된다. 일반적으로 백분위수에서 기본비용 추정값을 뺀 값 또는 백분위수에서 백분위수 값을 뺀 값을 사용하여 컨틴전시를 결정한다. 예를 들어 60~40번째 백분위수이다. 이 계산은 예비엔지니어링, 용지보상, 건설을 포함한 총 프로젝트 비용 견적치에 주로 사용된다. 이 실무방법은 PoS(Percentile of Sum)로 알려진 정량적 리스크모델 프레임워크를 활용한다.

PoS 접근 방식은 총 프로젝트 비용분포 곡선에 신뢰 수준을 적용하여 예산을 결정한다. 예를 들어, 70번째 백분위수에서의 총 프로젝트 비용 TPC(Total Project Cost) P70은 다음과 같이 정의된다.

$$TPC_{P70} = \text{총 프로젝트 비용 분포의 } P_{70}$$

시간이 지남에 따라 실무자, 발주처 프로그램 관리 및 프로젝트 담당자는 이 접근 방식 사용에 몇 가지 문제점을 확인했다. 첫째, 이 접근 방식은 단계별 프로젝트 조달 및 개발 프로세스와 일치하지 않는다. 둘째, 단계별 변경 사항을 알 수 없다. 셋째, 리스크의 가시성과 단계별 리스크 예비비 사용을 허용하지 않는다.

현금 흐름을 최적화하는 다른 방법으로는 백분위수의 합계, SoP 방법을 사용하여 각 비용 단계에 신뢰 수준을 적용하고 합산하여 예산을 결정하는 방법이 있다 (예: 예를 들어),

$$TPC_{P70} = \text{Sum}(PE_{P70} + RW_{P70} + CN_{P70})$$

SoP(Sum of Percentiles) 방식은 PoS 방식과 달리 조직이 정의한 예산 신뢰 수준에 따라 각 단계에서 일관된 자금 조달을 보장한다. SoP 방식은 총 프로젝트 비용 산출 분포의 표준 편차를 증가시키므로 PoS 방식에 비해 예산이 약간 더 커진다. 모델과 백분위수 기반 신뢰 수준이 확정되면 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 산출 분포를 개발할 수 있다. 신뢰도 기반 예산의 개념은 기존의 컨틴전시 추정 방법에 비해 프로젝트 비용 책정 및 일정에 대한 보다 완전하고 현실적인 접근 방식을 제공한다. 이 권장 사례(RP)에서는 확률적 비용 및 일정 추정치를 개발하기 위해 정량적 리스크 평가(QRA)를 사용하는 방법에 대해 논의한다. 이후 특정 백분위수 결과는 이후 리스크 정보에 기반한 프로젝트 예산 및 일정을 개발하는 데 사용된다.-(즉, 신뢰도 기반 예산).

특히 단계별 프로젝트의 경우 주요 고려 사항 중 하나는 성공적인 프로젝트 자금 조달 및 실행을 위한 적절한 예산 백분위수를 결정하는 것이다. 가상 프로젝트 사례 연구는 이해하기 쉬운 형식으로 프로젝트 단계별 변수를 설명하는 신뢰도 기반 예산의 원칙을 보여준다. 목표는 QRA와 신뢰도 기반 예산을 사용하여 프로젝트 관리자에게 더 나은 프로젝트 관리를 위한 가이드를 제공하는 것이다.

기본비용 및 일정 수립

리스크 정량 분석은 리스크 식별, 평가 및 관리를 위한 벤치마크 역할을 하는 비용과 일정에 대한 기본비용 추정 개발로 시작된다. 조직 내의 공정한 견적자 또는 독립적인 제3자에 의해 검증되어야 하는 이 기본 견적은 리스크가 없는 경우 프로젝트 완료를 위한 예상 비용 및 일정을 나타낸다. 여기에는 프로젝트 설계 개발 비율, 세금, 가정 문서, 예상 인도 방법, 견적 방법, 목적 및 예상 정확성을 문서화하여 필요한 컨틴전시를 예측하는 데 도움이 되는 견적 기준 문서가 함께 제공되어야 한다.

기본비용, 일정 가정 및 방법론에 대한 자세한 검토가 수행되어야 한다. 기본비용과 일정은 현실적이어야 하며 계획대로 프로젝트의 알려지고 예상되는 범위를 반영해야 한다. 알려졌으나 아직 추정되지 않은 항목에 대한 미확정 참작금(Allowances)이 포함되어야 한다. "가능한 리스크"를 설명하기 위한 명시적 또는 숨겨진 컨틴전시는 제거하고 리스크 등록부에 포함되도록 문서화해야 한다. 기존 비용산정 지침을 갖춘 발주자는 이 작업을 더 쉽게 찾을 수 있다. 컨틴전시가 제거되고 견적이 검토되면 QRA에 대한 기본비용이 준비된다.

기본 추정치는 누락된 품목, 단가 업데이트 등을 설명하기 위해 QRA 중에 업데이트가 필요할 수 있다. 견적자는 프로젝트 범위, 일정 및 비용의 단계별 변경 사항을 추적하는 것이다. 기본 가정사항(구식 및 현재)과 새로운 가정사항, 결정을 내린 사람, 변경에 대한 타당성 등을 포함한다. 타당성 검토에는 변경이 필요한 요구사항, 이해관계자 요구사항 또는 식별된 추가 요구사항이 명시되어야 한다. 이는 프로그램 전달, 트렌드 분석, 프로젝트 제공 프로세스를 개선하는 데 도움이 될 수 있다.

프로젝트 단계 구성

대규모 프로젝트는 일반적으로 더 작은 세그먼트로 나뉘며, 각 세그먼트에는 고유한 비용 단계가 있어 예비엔지니어링, 용지보상 및 건설과 같은 전용 자금 구성요소가 관리되고 시간이 지남에 따라 지출된다. QRA 프로세스 중에 이러한 구조화된 비용 단계에 비용 및 일정 기본 불확실성과 리스크가 할당된다.

비용 인플레이션은 일반적으로 각 비용 단계 또는 활동의 중간 지점을 기준으로 계산한다. 인플레이션을 고려하기 위해 QRA 프로세스에는 적절한 세부 수준의 비용 및 일정 통합 리스크 모델이 포함되어 있어 리스크 이벤트로 인한 지출 시점에 대한 일정 지연의 영향을 고려한 지출 연도(YOE) 비용을 계산하는 데 사용된다.

프로젝트 세그먼트는 일반적으로 별도의 지리적 영역에 해당하며 시간이 겹치거나 몇 년 단위로 분리될 수 있다. 각 단계는 신중하게 정의하고 명확하게 식별해야 한다. 표준 단계(예: PE(예비엔지니어링), RW(용지보상), CN(건설)) 외에도 필요한 경우 환경 허가, 유틸리티, 시공 엔지니어링/검사 등 추가로 중요한 비용과 일정 단계가 포함될 수 있다. 경우에 따라 프로젝트 단계(예: PE)가 여러 세부 활동으로 세분화될 수 있다.

여러 세그먼트와 해당 구성 요소 비용 단계가 있는 프로젝트는 QRA 분석 전에 구조화해야 한다. 일반적으로 리스크 분석을 간소화하기 위해 가능한 한 세그먼트와 단계를 통합해야 한다. 그러나 이는 프로젝트 팀과 신중하게 검토해야 한다. 예를 들어 시공 및 시공 엔지니어링 검사는 병행하여 하나의 통합 단계로 결합될 수 있다.

단계 정의 시 고려해야 할 사항에는 다음이 포함될 수 있지만 이에 국한되지는 않는다.

- 인플레이션율의 차이
- 지출 시기의 차이
- 계약 패키징
- 선행-후행 일정 관계
- 중요한 비용 및 일정 리스크 할당
- 비용/일정 보고 요건(예: 비용 내역, 마일스톤 완료 날짜)

리스크 평가

ISO(국제 표준화 기구) 31000(2018)에 따른 리스크 평가는 다음 3단계로 구성된다: 리스크 식별, 리스크 분석 및 리스크 평가. 프로젝트 리스크는 일반적으로 프로젝트와 관련된 모든 주요 기술 분야를 대표하는 주제별 전문가(SME)가 참석하는 회의를 통해 식별하고 정량화한다. 중요한 리스크는 기본비용 추정치와 관련하여 프로젝트 비용 또는 일정에 미치는 잠재적 영향과 이러한 영향이 발생할 가능성 측면에서 정량화된다. 리스크는 개별 프로젝트 세그먼트, 단계 또는 활동에 매핑된다. 식별된 리스크는 리스크 등록부에 수집되어 문서화된다. 기본비용 및 일정의 변동은 견적자가 정확한 수량, 단가, 기간을 예측할 수 없는 태생적 한계를 고려해야 한다. 그리고 기간은 QRA 프로세스를 통해 결정된다.

시장 상황은 가격에 영향을 미치는 수요와 공급 역학을 의미한다. 입찰 환경 및 거시 경제 상황과 관련하여 계획대로 진행되는 시나리오, 계획보다 나쁜 시나리오 등 관련된 잠재적 시나리오를 포함하여 미래 시장 조건과 관련된 불확실성을 리스크 분석에 반영해야 한다. 시장 상황 불확실성은 일반적으로 각 프로젝트 비용 단계별로 파악되지만 경쟁 시장의 힘의 영향을 덜 받는 단계에서는 보통 적용되지 않는다. 시장 상황 모델에 대한 입력은 적절한 SME와의 논의를 통해 개발되어야 한다. 시장 상황 시나리오의 리스크 등록부에 기록되거나 기본 변동성 논의와 함께 포착될 수 있다. 리스크, 시장 상황 시나리오 및 기본 불확실성 간의 상관관계 및 종속성을 파악하고 적절하게 포착한다.

몬테카를로 시뮬레이션

몬테카를로 시뮬레이션에서는 리스크 등록부에서 추출한 샘플을 여러 번의 반복(일반적으로 5,000~10,000회)을 통해 기본 불확실성 모델의 샘플과 병합하여 비용 및 일정 결과의 전체 출력 분포를 결정한다. 시뮬레이션 결과는 잠재적인 비용과 일정의 범위를 제공하여 특정 결과를 달성할 확률을 평가하고 특정 리스크 및 불확실성의 영향을 평가하는 데 도움이 된다. 일반적인 결과물로는 비용 및 일정에 대한 예측 곡선, 백분위수 표, 토네이도 다이어그램 등이 있다. 비용 및 일정 범위는 비용 또는 일정 목표를 달성할 가능성을 히스토그램 또는 누적 확률 곡선으로 표현한 그래픽 표현인 예측 차트에 표시되는 경우가 많다. 비용 추정에서 이 분포는 예산 신뢰도 수준과 함께 프로젝트의 신뢰도 기반 예산을 선택하는 데 사용된다.

예산 백분위수 설정

시뮬레이션 출력 분포는 프로젝트 예산을 특정 백분위수 수준으로 설정하는 데 도움이 된다. 예를 들어, 예산을 70번째 백분위수로 설정하면 실제 프로젝트가 해당 값과 같거나 더 적은 비용으로 제공될 확률이 70%이며, 리스크 대응 조치를 취하지 않으면 예산이 초과될 확률이 30%이다.

신뢰도 수준의 선택은 발주 기관의 리스크 성향과 확률적 컨틴전시에 대한 정의에 따라 달라진다. 일반적으로 확률적 컨틴전시는 예산 수준과 기본비용 추정치 사이의 차이로 정의된다. 경우에 따라 이로 인해 컨틴전시 값이 매우 낮아질 수 있다. 이는 낙관적 편향을 방지하고, 기본 추정치에서 보수성을 제거하고, 기회 리스크를 과도하게 나타내지 않음으로써 이 문제를 줄일 수 있다.

컨틴전시를 결정하는 다른 방법으로는 두 개의 백분위수 값을 사용하는 방법이 있다. 예를 들어, 프로젝트 비용 값인 P60과 P40의 차이이다; 60번째 백분위수 값으로 예산을 책정하고 40번째 백분위수 값으로 관리한다; 이 값의 차이가 리스크 예비비이다. 예산 신뢰 수준이 설정되면 함께 백분위수(PoS) 또는 백분위수 합계(SoP) 방법을 사용하여 정량적 리스크 모델 프레임워크에 통합할 수 있다.

합계 백분위수(PoS)

PoS 방식은 총 프로젝트 비용 분포 곡선에 신뢰도 수준을 적용하여 예산을 결정한다. 예를 들어, 70 번째 백분위수에서의 총 프로젝트 비용 TPC P70은 다음과 같이 정의된다:

$$\text{TPC(PoS)}_{P70} = \text{총 프로젝트 비용 분포의 } P_{70}$$

백분위수 합계(SoP)

또는 SoP 방법을 사용하면 각 비용 단계에서 신뢰 수준을 적용하고 합산하여 예산을 결정한다. 예를 들어,

$$\text{TPC(SoP)}_{P70} = \text{합계}(PE_{P70} + RW_{P70} + CN_{P70})$$

SoP 방식은 PoS 방식과 달리 조직이 정의한 예산 신뢰 수준에 따라 각 단계에서 일관된 자금 지원을 보장한다. SoP 방식은 총 프로젝트 비용 산출 분포의 표준 편차를 증가시키므로 PoS 방식에 비해 예산이 약간 더 커진다. 모델과 백분위수 기반 신뢰도 수준이 확정되면 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 산출 분포를 개발할 수 있다.

예산 수준 결정하기

발주 기관은 일반적으로 특정 신뢰 수준에서 예산 수준을 설정한다. PoS 접근 방식을 사용하면 총 프로젝트 비용의 지출 배분 연도에서 직접 도출된다. SoP 접근법의 경우 예산은 예산 신뢰도 백분위수에서 각 단계의 값을 합산하여 결정된다. PoS 방식과 SoP 방식의 차이점을 더 잘 이해하려면 아래 제공된 예를 참조하라.

예시

시뮬레이션 결과는 YOE 달러로 표시되며, 두 가지 방법을 살펴본다: 백분위수 합계(SoP)와 합계 백분위수(PoS). 각 기법은 예산, 신뢰도 수준 및 컨틴전시에 영향을 미친다. SoP 열은 프로젝트 각 단계에 대한 백분위수의 합계를 나타내며, PoS 열은 각 백분위수에서 시뮬레이션된 총 프로젝트 비용 분포 곡선을 보여준다. 마지막 열은 SoP 방식과 PoS 방식 간의 백분위수 차이를 나타낸다. 아래 표에는 70 번째 백분위수(P70) 결과가 강조 표시되어 있다.

4. 미국 WSDOT의 신뢰도 기반 예산 책정 기법

Percentile	Seg 1	Seg 1	Seg 1	Seg 2	Seg 2	Seg 2	SoP	PoS	(SoP - PoS)
	PE Seg 1	RW Seg 1	CN Seg 1	PE Seg 2	RW Seg 2	CN Seg 2			Base
Base	2.8	19.3	85.3	5.7	38.7	170.8	322.6	322.6	0.0%
Min	2.4	16.2	80.8	4.8	32.3	161.4	297.9	317.2	-6.0%
Max	3.6	23.8	119.0	7.2	47.7	237.8	439.0	424.3	4.5%
Mean	3.0	20.0	99.9	6.0	40.0	200.2	369.1	369.1	0.0%
0%	2.4	16.2	80.8	4.8	32.3	161.4	297.9	317.2	-6.0%
10%	2.7	18.0	89.9	5.4	36.0	180.1	332.0	346.4	-4.5%
20%	2.8	18.6	93.0	5.6	37.2	186.5	343.7	353.9	-3.2%
30%	2.9	19.1	95.5	5.7	38.2	191.4	352.9	359.5	-2.1%
40%	2.9	19.6	97.8	5.9	39.1	195.9	361.1	364.5	-1.1%
50%	3.0	20.0	99.9	6.0	40.0	200.1	368.9	369.1	-0.1%
60%	3.1	20.4	102.0	6.1	40.8	204.5	376.9	373.9	1.0%
70%	3.1	20.9	104.3	6.3	41.7	209.0	385.2	378.6	2.0%
80%	3.2	21.4	106.8	6.4	42.7	214.0	394.6	384.3	3.2%
90%	3.3	22.0	110.1	6.6	44.0	220.4	406.4	391.2	4.7%
100%	3.6	23.8	119.0	7.2	47.7	237.8	439.0	424.3	4.5%
Contingency	0.3	1.5	18.9	0.6	3.0	38.2	62.6	56.0	2.0%
Contingency %	10.7	7.9	22.2	10.7	7.9	22.4	19.4	17.4	

기존의 PoS 접근 방식과 P70 신뢰 수준을 적용하면 프로젝트 예산은 3억 7,860만 달러가 된다. 그러나 SoP 접근 방식에서는 모든 단계의 P70을 합산하면 3억 8,520만 달러로 더 높은 예산 수준이 산출된다.

PoS 금액 3억 7,860만 달러를 SoP 열에 맞추고 백분위수를 보간하면 약 62%의 신뢰 수준에 해당한다. 이는 PoS 펀딩 방식을 사용하면 추정치 내 각 단계의 신뢰도 수준이 전체 예산 신뢰도 수준보다 낮아진다는 것을 의미한다.

반대로, PoS 열에서 SoP 예산 금액인 3억 8,520만 달러를 찾고 백분위수를 채우면 SoP 방법을 사용하여 전체 P70에 도달하려면 각 단계에 더 높은 신뢰 수준인 81%가 필요하다는 것을 나타낸다.

일반적으로 컨틴전시는 예산 신뢰도와 기본비용의 차이로 정의된다. 표에서 볼 수 있듯이 SoP 방식은 5,600만 달러가 필요한 PoS 방식에 비해 더 높은 수준(6,260만 달러)의 컨틴전시가 필요하다. 백분율로 보면 SoP는 19.4%의 컨틴전시 비용이 필요한 반면, PoS는 17.4%의 컨틴전시 비용이 필요하다.

이 분석에 따르면 SoP 방식은 PoS 방식에 비해 약간 더 많은 예산이 필요하다. SoP의 장점은 조직이 정의한 예산 신뢰도 수준에서 단계별 자금 조달에 대한 일관된 신뢰도 수준을 유지할 수 있다는 점이다.

그러나 PoS 방식은 SoP 방식에 비해 각 단계의 신뢰도 수준이 낮고 잠재적으로 일관되지 않을 수 있다. 그러나 이 방법은 프로젝트 단계 간 상관관계와 종속성이 적절히 파악되었다는 가정 하에 프로젝트 단계별 독립적인 리스크의 상쇄 효과를 고려하며, 덜 보수적인 자금 요구사항을 산출한다.

또한 SoP 방식은 전체 프로젝트에 대한 총체적인 컨틴전시를 제공하는 PoS 방식과 달리 각 단계 수준에서 컨틴전시를 결정할 수 있다. 식별된 리스크 유발 상황에 대한 이러한 단계별 결정은 리스크 자금 할당, 모니터링 및 보고의 일관성을 제공하고 리스크 분석, 변경 관리, 향후 프로젝트 인도 문제 완화, 주제별 전문가 검토, 분석, 합의에 대한 보다 가치 있는 통찰력을 제공한다.

신뢰도 기반 추정치의 이점으로는 기대치를 더 잘 이해하고, 자금 현금 흐름을 관리하고, 불확실성을 수용하고, 리스크를 식별 및 관리하여 프로젝트 납기를 개선하는 것 등이 있다. 다음 단계는 프로그램 수준에서 보다 글로벌하게 상황을 바라보는 단계이다.