

호주 교통사업 평가 및 계획 가이드라인

ATAP 지침 중 T7

K-Risk 발간편집 위원회



T7 Risk and uncertainty assessment

August 2021



한 눈에 보기

1. 도입
 2. 출처 및 식별
 3. 광범위한 평가 기능
 4. 정성적 리스크 평가
 5. 민감도 테스트
 6. 확률 기반 평가
 7. 시나리오 분석
 8. 리스크 관리 전략
 - 8.1 리스크 완화
 - 8.2 실제 옵션
 - 부록 A - 확률적 비용 편익 분석
- 참고 자료

2022년
(봄, 여름, 가을, 겨울)

2023년(가을)

2023년(겨울(예정))

※ 본 기사는 좌측 문헌의 단순 번역기사로서 K-Risk의 견해를 반영하는 것은 아니다.

※ 상기 이미지를 클릭하면 원문 다운로드가 가능합니다.

5. 민감도 테스트

민감도 테스트는 정량적 리스크 및 불확실성 평가의 한 유형이다. 이는 주어진 변수의 변화에 대한 결과의 민감도를 테스트하기 위해 평가에서 정량적 변수를 선택적으로 변경하는 것이다. 이를 통해 분석가는 다음을 수행할 수 있다.

- 평가에는 항상 어느 정도의 불확실성이 있고 궁극적으로 리스크가 있다는 점을 인정한다.
- 평가 결과에 영향을 미치는 주요 변수를 이해한다.

민감도 테스트에 대한 표준 예제는 여행 수요의 예상 증가율을 변경하는 과업이다. 예상되는(가장 가능성이 높은) 성장률은 연간 2.1%로 간주될 수 있지만 이에 대해서는 어느 정도 불확실성이 존재한다. 민감도 테스트는 일반적으로 낮은 성장률과 높은 성장률로 평가를 실행하는 것으로 구성되며, 그 값은 가장 가능성이 높은 값 주변의 가능한 변동에 대한 최상의 정보에 따라 달라진다. 예를 들어, 민감도 테스트는 연간 1.7%의 낮은 값과 연간 2.5%의 높은 값을 실행할 수 있다.

민감도 분석은 사용하기 쉽고 제한된 정보가 필요하며 결과를 빠르게 얻을 수 있다는 장점이 있다. 따라서 특히 규모가 작고 덜 복잡한 평가의 경우 정량적 리스크 평가가 매력적일 수 있다.

민감도 분석을 적용할 변수와 해당 값을 선택하는 데 보편적으로 적용할 규칙은 없다. 자주 권장되는 표준 접근 방식은 비용 +/- 20%, 혜택 +/- 20% 등 표준 테스트 세트를 실행하는 것이다. 이는 간단한 시작점을 제공할 수 있지만 이러한 테스트는 너무 일반적이어서 그 가치가 제한될 수 있다.

따라서 가능한 한 민감도 분석을 수행 중인 특정 평가에 맞게 조정하거나 목표로 삼는 것이 좋다. 일반적으로 테스트는 가장 리스크한 것으로 간주되는 입력 변수, 즉 영향력이 크면서도 가장 불확실한 입력 변수에 초점을 맞춰야 한다(Austroads 2012, IA 2018). 보다 집중된 민감도 테스트를 통해 평가 및 해석되는 주요 '리스크' 변수에 대한 이러한 중요한 심문은 대부분의 평가의 품질을 향상시킬 것이다.

ATAP 프레임워크에서는 민감도 테스트를 다음과 같이 사용할 수 있다.

- **수요 모델링** - 수요 모델링 및 예측은 운송 계획 및 평가의 핵심 부분이다. 따라서 민감도 테스트가 중요하다. ATAP 파트 T1 여행 수요 모델링 섹션 6.4에서는 수요 모델 출력 및 예측의 견고성을 테스트하기 위해 수행해야 하는 일련의 테스트에 대해 논의한다.
- **문제 평가** - 민감도 테스트는 문제 평가(ATAP 파트 F3 참조)가 다음과 같은 주요 변수의 변화에 얼마나 민감한지 평가한다.
 - 인구 및 여행 증가율
 - 정책 설정 변경
- **비용-편익 분석(CBA)** - 민감도 테스트는 엄격한 CBA의 표준 파트이다. 실무자는 CBA 적용에 대한 자세한 내용을 보려면 ATAP 파트 T2 섹션 11.1 및 IA(2018) 섹션 D4.2~D4.4를 참조하라.

6. 확률 기반 평가

보다 발전된 유형의 정량적 리스크 평가는 확률 기반 평가이다. 관심 변수의 값을 나타내려면 확률 분포를 사용해야 한다.

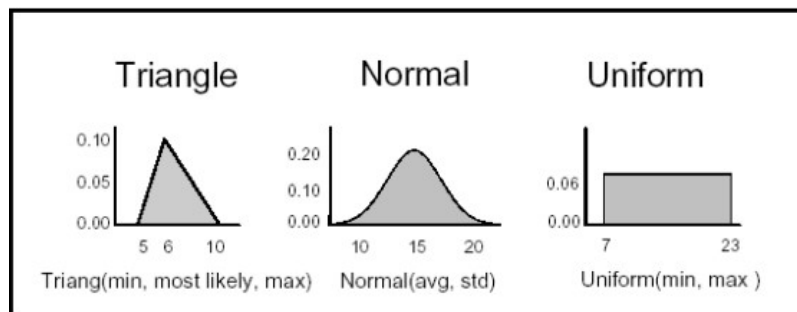
확률분포를 변수에 할당하는 것은 어려운 단계이며, 분포의 형태나 모양을 정의하기 위해서는 숙련된 전문가의 주관적인 판단이 중요하다.

비용-편익 분석(CBA)에서의 사용과 관련하여 ATAP 파트 T2 11장은 확률 기반 CBA의 단계를 간략하게 설명한다. 본 챕터에서는 관련 세부 정보를 제공한다.

6.1 확률 분포

- 확률밀도함수(PDF)** : 연속 불확실 변수의 확률분포는 확률밀도함수(PDF)로 표현될 수 있다. 다양한 확률분포함수를 리스크 평가에 적용할 수 있다. 분포 함수의 선택과 그 모양을 결정하는 주요 매개 변수는 경험을 바탕으로 결정된다. 일반적인 분포함수의 예로는 아래 그림 1에 표시된 것처럼 삼각(triangular) 분포와 정규(normal) 분포가 있다. 가로축은 가능한 값의 범위를 나타내고 세로축은 특정 값 발생에 대한 상대 빈도 가중치를 나타낸다. 어떤 경우든 PDF 아래의 총 면적은 1.0이다. 그림 2에 표시된 편향된 분포는 또 다른 예이다.

그림 1 확률 분포의 예

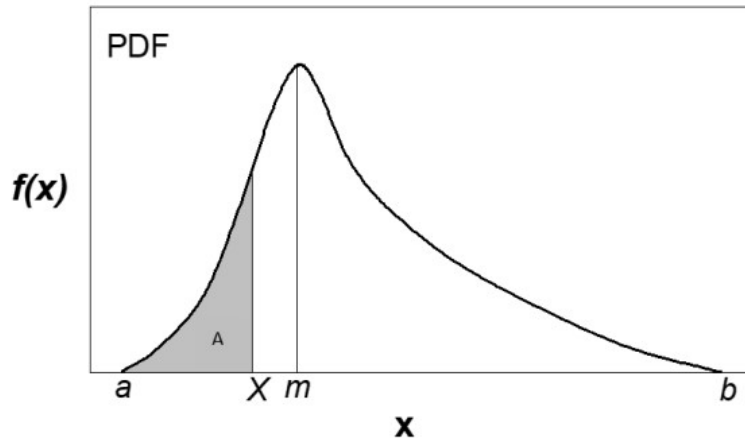


출처: Austroads(2012, FHWA 1998 인용)

정규 분포 PDF는 대칭적인 종형 곡선 모양을 가지며, 불확실한 수량의 가장 가능성 있는 값(또는 모드)을 나타내는 중앙 피크를 가지며 피크의 양쪽에 상한 및 하한 극단으로 뻗어 있는 확률이 낮은 '꼬리(tails)'가 있다.

불확실한 일반 변수 x 에 대한 PDF는 일반적으로 $f(x)$ 로 표시된다. 아래 그림 2는 최소값 a , 최대값 b , 모드가 m 인 경우의 지시 분포를 보여준다. 이 경우 분포가 비대칭이 된다. PDF 곡선 아래의 영역은 불확실한 수량 x 의 값이 a 에서 b 범위에 있을 확률을 측정한다. 예를 들어, 음영 처리된 영역 A 는 x 가 a 에서 X 까지의 범위에 있을 확률을 보여준다(Austroads 2002).

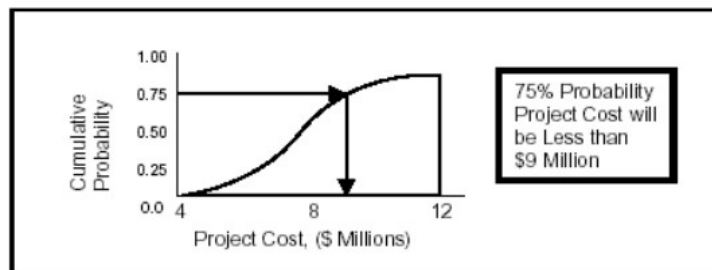
그림 2 확률밀도함수(PDF)



출처: Austroads(2012, Hardaker et al, 1997 인용)

- 누적 분포 함수(CDF): 확률을 표현하는 또 다른 방법은 누적 분포 함수(CDF)를 사용하는 것이다. 그림 3은 CDF를 보여준다. CDF는 y축을 따르는 x축 값의 누적 확률이다. 그림 3의 CDF는 프로젝트 비용이 900만 달러 미만일 확률이 75%임을 보여준다.

그림 3 누적 분포 함수

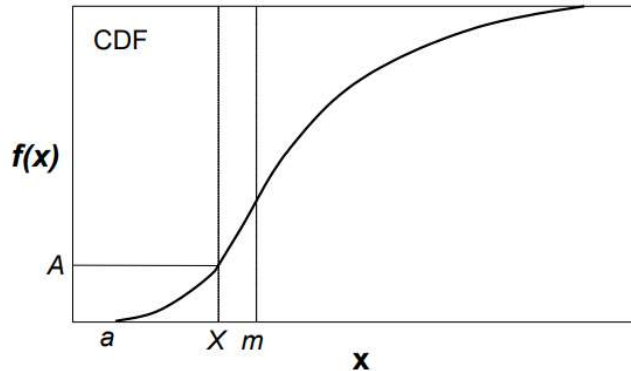


출처: Austroads(2012, FHWA 1998 인용)

그림 4는 그림 2의 PDF에 해당하는 CDF이다. PDF와 관련 CDF 간의 관계에 대해 참고할 몇 가지 사항은 다음과 같다.

- CDF 변곡점은 PDF의 모드에 해당한다.
- 그림 2에 표시된 음영 영역 A는 x가 a에서 X까지의 범위에 있을 확률이다. 확률 A는 그림 4에서 Y축의 A점으로 표시된다.

그림 4. PDF에 대응하는 누적 분포 함수(CDF)



출처: Austroads(2012, Hardaker et al 1997 인용)

삼각분포

특정 분포 함수를 알 수 없는 상황에서 단순화를 위해 삼각형 분포를 선택할 수 있다. 삼각분포함수는 분포의 세 가지 고유한 값(최소값, 최대값 및 가장 가능성이 높은 값)만 사용하여 완전히 지정할 수 있다는 장점이 있다. 최소값과 최대값은 생각할 수 있는 가장 낮은 값과 가장 높은 값이다. 불확실한 변수의 최소값, 최대값 및 가장 가능성이 높은 값은 명백한 자료(예: 과거 정보)를 통해 객관적으로 설정하거나 전문가 의견을 통해 주관적으로 설정할 수 있다.

6.2 샘플링 및 시뮬레이션 기술

현대 통계 샘플링 및 시뮬레이션 기술(예: Monte Carlo 샘플링 및 시뮬레이션)은 확률분포를 분석하는 데 유용하다(Belli et al., 2001). 이러한 기술은 여러 입력 변수에 대한 확률분포를 사용하여 출력 변수의 확률분포를 결정할 수 있다. @Risk와 같은 소프트웨어 프로그램을 사용하여 적용할 수 있다.

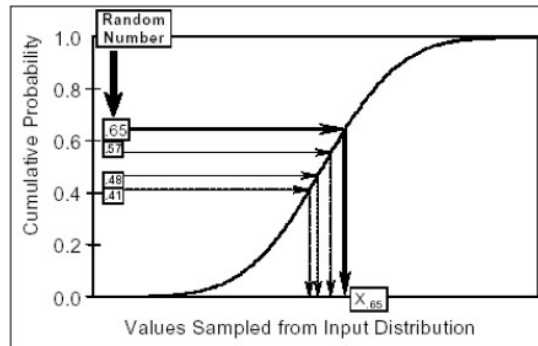
그 사용의 좋은 예는 현재 몬테카를로 시뮬레이션에서 프로젝트 비용 예측에 널리 사용되는 방법이다. 프로젝트 비용에 영향을 미치는 모든 입력 변수가 먼저 식별된다. 그런 다음 각 입력 변수에 대해 확률분포가 지정된다. 그런 다음 시뮬레이션 프로세스는 프로젝트 비용에 대한 결과 출력 확률 분포를 생성한다. 자세한 내용은 ATAP Part 01 비용 추정을 참조하라.

몬테카를로 시뮬레이션에서 시뮬레이션 소프트웨어는 지정된 조건에서 동일한 이벤트가 수백 또는 수천 번 구현된 것처럼 작동된다. 입력 변수의 값이 불확실하기 때문에 시뮬레이션한 출력 결과는 매번 다르다. 이를 통해 다양한 입력 변수에 대한 확률 분포를 동시에 평가할 수 있으며 결과적으로 출력 변수의 확률 분포가 생성된다.

6.2.1 샘플링

아래 그림 5에서 볼 수 있듯이 몬테카를로 기법은 균일분포를 사용하여 난수를 생성한다. 이는 y축의 모든 값이 선택될 확률이 동일하다는 것을 의미한다. 또한 분포 곡선의 가파른 부분에 해당하는 x-값이 곡선의 평평한 부분에 있는 x 값보다 샘플링될 가능성이 더 높다는 것을 의미하기도 한다. 반복 횟수가 적으면 샘플링된 값이 중간 범위 확률 결과를 중심으로 클러스터링되므로 낮은 확률 결과가 충분히 샘플링되지 않는다. 몬테카를로와 같은 기술에서는 특정 확률 결과 주위에 샘플링된 값이 클러스터링되는 것을 방지하기 위해 반복이 많이 필요하다.

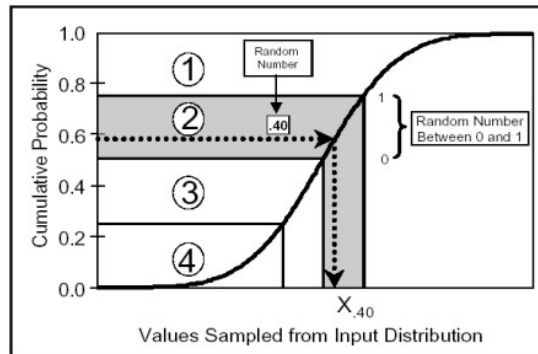
그림 5 몬테카를로 샘플링



출처: Austroads(2012, FHWA 1998 인용)

반면에 라틴 하이퍼큐브(Latin Hypercube)와 같은 계층화된 샘플링 기술은 더 적은 반복이지만 보다 대표적인 샘플링 기법이다(FHWA, 1998). 이는 아래 그림 6과 같이 누적 확률 척도를 동일한 간격으로 나누고 각 간격 분포에서 무작위로 표본을 추출함으로써 달성된다. 또한 몬테카를로 샘플링보다 훨씬 빠르게 수렴이 이루어진다.

그림 6 라틴 하이퍼큐브 샘플링



출처: Austroads(2012, FHWA 1998 인용)

6.2.2 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 입력 변수 결합

입력 변수가 확률 분포로 설명되면 다음 단계는 @Risk와 같은 컴퓨터 소프트웨어 패키지를 사용하여 입력 분포를 사용하여 결과에 대한 확률 설명을 하는 것이다. 소프트웨어 프로그램에서 사용할 수 있는 사용자 정의 분포 기능을 사용하여 입력 변수의 확률 분포를 스프레드시트 모델에 직접 통합할 수 있다. 일반적으로 수천 번의 시뮬레이션 실행을 기반으로 각 입력 분포에서 샘플을 추출하여 별도의 '가상' 시나리오를 계산할 수 있다.

6.2.3 평가 결과

시뮬레이션은 각 출력 변수에 대한 확률 분포를 만들어낸다. 주어진 출력 변수에 대해 결과 확률 분포는 가능한 결과의 범위와 발생 확률을 설명한다. 예를 들어 비용 편익 분석(CBA)의 출력 분포를 생각해 보자.

분포는 다음에 대하여 생성된다.

- 결정 변수: CBA에서는 순현재가치(NPV)와 이익-비용 비율(BCR)에 대한 확률 분포가 생성된다.
- 구성요소 변수: CBA에서 구성요소 변수에는 프로젝트 비용과 프로젝트 이익 또는 이익과 비용을 나타내는 변수의 특정 하위 집합이 포함된다. 구성요소 변수에 대한 확률 분포를 갖는 것은 무엇이 의사결정 변수 결과에 영향을 미치는지 이해하는 데 도움이 된다.
- 아래 그림 7은 CBA 시뮬레이션의 BCR 출력을 보여준다. 이는 BCR 확률 분포(히스토그램 형식)를 보여주며 발생할 수 있는 BCR 값의 가능한 범위와 각 결과가 발생할 것으로 예상되는 확률을 보여준다. 이는 BCR이 약 3일 가능성이 가장 높다는 것을 보여준다. 그러나 가능성은 낮지만 BCR이 8까지 높거나 심지어 음수일 수도 있다. 목표 BCR은 1.0보다 커야 한다. 경제적으로 정당한 계획을 세우기 위해서이다. 그림 7은 경제적으로 정당한 프로젝트에 할당할 수 있는 신뢰 수준에 대한 의사 결정자를 제공한다.

6.2.4 심층 평가

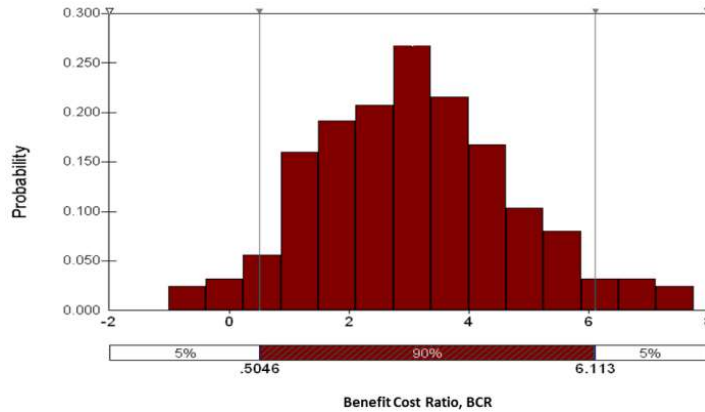
그런 다음 분석가는 다음 각 항목에 대한 확률 분포를 살펴봄으로써 더 깊은 이해를 얻게 된다.

- 이동 시간 절감, 운영 비용 절감, 총돌 비용 절감 및 환경적 이점과 같은 각 혜택 구성 요소
- 자본 투자 비용 및 반복 비용
- 입력 변수(예: 이동 시간 절약 단위 값, 단위 총돌 비용)

이러한 유형은 분석가가 BCR 결과에 가장 큰 영향을 미치는 변수를 이해하는 데 도움이 된다. 이러한 지식은 더 나은 품질의 데이터가 필요한 입력 변수와 옵션을 가장 잘 다듬는 방법에 대한 통찰력을 제공한다.

@Risk와 같은 소프트웨어 프로그램은 분석가가 결과에 가장 큰 영향을 미치는 리스크 변수를 결정하는 데 도움이 되는 '토네이도 차트'와 같은 다른 출력물을 생성한다.

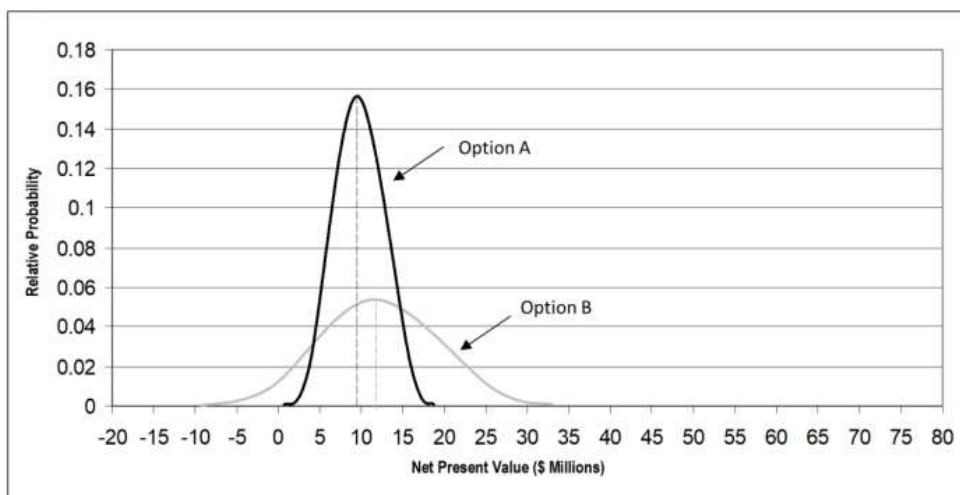
그림 7 컴퓨터 시뮬레이션 출력 확률 분포 예



출처: Austroads 2012

CBA의 또 다른 평가 유형은 대안 프로젝트 옵션을 비교하는 것이다. 아래 그림 8은 다양한 프로젝트 옵션에 대한 시뮬레이션 분석 결과가 어떻게 의사결정에 도움이 될 수 있는지를 CBA에 적용한 예를 통해 보여준다. 이는 목표 범위 내 두 가지 대안 옵션 A와 B의 NPV 결과이다. 옵션 B는 옵션 A보다 평균 NPV가 더 높다. 그러나 옵션 A의 NPV는 옵션 B보다 잠재적 값 범위가 더 좁고 옵션 B와 달리 음의 NPV 값을 가질 리스크가 크지 않다. 의사결정자가 기꺼이 리스크를 감수한다면, NPV가 약간 더 높고 상승 결과 가능성이 있는 옵션 B가 선호된다. 의사결정자가 리스크를 감수할 생각이 없다면, NPV가 약간 낮지만 하락 범위가 더 낮은 옵션 A가 선호될 것이다(Austroads,2012).

그림 8 확률적 결과 분포



출처: Austroads(2012, FHWA 2003 인용)