

Global Report

극심한 기상사태 및 기후변화에 대비하기 위한 적응조치의 비용 및 편익 통합 - 지침서

1. -요약문-
2. 제1장 개요
3. 제2장 비용-편익 분석검토
4. 제3장 기후고려
5. 제4장 공통비용
6. 제5장 공공편익
7. 제6장 비용-편익 분석수행
8. 제7장 연구 수준 1 기후 회복력 비용-편익 분석
9. 제8장 연구 수준 2 기후 회복력 비용-편익 분석
10. -결론-

-요약문-

주 교통부(DOT)는 향후 몇 년 동안 어려운 과제에 직면해 있습니다. ASCE가 D와 C+ 사이에서 점수를 매긴 노후화된 인프라를 수리하고 교체할 방법을 찾아야 합니다. 보유 자산들이 극심한 기상현상과 기후변화에 적응하고 신속하게 복구할 수 있도록 하여야 하며, 동결되거나 감소되는 예산으로 이러한 작업을 수행해야 합니다. 요컨대, 주 DOT는 부족한 자원을 최적화하는 방법을 찾아야 합니다.

변화하는 기후와 극심한 날씨의 증가에 직면하여 비용효율성을 해결하는 도구는 DOT가 제한된 자금을 투자하는 방법에 대해 정보에 입각한 결정을 내리는데 도움이 될 수 있습니다. 비용편익분석(CBA)은 DOT가 각 대안에 대해 동등한 금액을 사용하여 프로젝트 또는 정책의 이점과 비용을 정량화하여 기후 변동성 및 극한기후에 대한 적응을 구체화하는지 여부와 방법을 평가하는데 도움이 되는 하나의 도구입니다. 프로젝트 20-101에 대한 연구에 따르면 DOT가 인프라 결정을 내릴 때 변화하는 기후와 극심한 날씨를 고려하고 있지만, 일반적으로 기후 탄력성을 해결하기 위해 공식적인 도구 또는 CBA를 사용하지 않습니다.

운송전문가들이 투자 의사 결정과정의 일부로 일반적으로 CBA를 수행하지 않는 이유에 대해 질문을 받으면 많은 사람들이 CBA가 일상적으로 수행하기에는 너무 많은 시간과 비용이 소요된다는 인식을 밝힙니다. CBA는 특정 비용임계값을 초과하는 프로젝트 또는 이를 필요로 하는 보조금 신청에 대해서만 수행됩니다.

DOT에서는 CBA 및 기타 의사결정도구가 일상적으로 유용하려면 다음과 같은 도구가 필요하다고 지적합니다.

- 기존 자료의 이용과 최대한 가능한 범위까지 활용
- 기존 방법 및 정책을 보완
- 가장 중요한 것으로, 수익률은 순 현재 가치로 도출
- 사용이 간편한 것

많은 기본구조와 도구가 기후기반 프로젝트 수준의 CBA를 수행하는데 필요한 요소를 제공하지만 단일 기본구조나 도구는 운송전문가가 원하는 기준을 충족하지 않습니다.

이 지침서는 DOT가 식별한 격차를 메우기 위해 개발되었습니다. 다른 기후 및 극한기후적응대안을 고려할 때 CBA를 투자 의사 결정도구로 더 쉽게 고려할 수 있도록 운송실무자에게 통합된 자료를 제공하기 위한 것입니다. 1 ~ 6장은 투자 의사 결정과정의 일부로 CBA를 사용하는 CBA 및 기후변화에 대한 정보를 제공합니다.

- 1 장에서는 이 지침서가 개발된 이유와 방법을 요약하고 각 후속 장에서 논의되는 개념을 설명하기 위해 지침서 전체에서 사용되는 가상의 시나리오를 소개합니다.
 - 2 장에서는 프로젝트 수준 및 3중 수익 CBA와 같은 다양한 유형인 CBA에 대한 개요를 제공합니다. 순 현재 가치 및 이익-비용 비율과 같은 측정기준; 그리고 보조금 및 대출과 같은 자금출처가 CBA에 미치는 영향.
 - 3 장은 기후변화 고려사항에 대한 개요를 제공합니다. 기후 시나리오와 시간구성의 선택은 어떤 적응 대안이 비용 효율적인지에 영향을 미칠 것입니다.
- 이 장에서는 비정상성을 설명하고 기후적응을 고려할지 여부를 평가하는 방법에 대한 지침을 제공합니다.
- 4 장과 5 장에서는 CBA를 수행하는데 사용되는 일반적인 비용과 이점에 대해 논의하고 3중 수익

CBA에 통합된 환경, 사회 및 안전 고려사항에 대한 정보도 포함합니다.

- 6 장은 CBA를 완료하기 위한 대안선택 및 분석시간 구성에 대한 정보를 실무자에게 제공하여 적절한 시간 구성과 대안이 운송계획 절차에 통합될 수 있도록 합니다.

이 프로젝트를 위해 수행된 연구의 정점은 실무자가 짧고 간단한 CBA를 수행하여 기후 및 극한기후 적응전략이 비용 효율적인지 평가할 수 있는 접근방식의 개발입니다. 두 가지 수준의 분석을 포함하는 이 접근방식은 FHWA의 수리공학 회보 17, "하천 환경에서 고속도로 : 극한상황, 위험 및 회복력"에 설명된 방법과 일치하도록 개발되었습니다. 7 장에 설명된 연구수준 1 분석은 적응조치를 통합하는 것이 비용 효율적인지 평가하기 위한 대략적인 실험을 제공합니다.

8 장에 설명된 연구수준 2 분석은 연구수준 1 분석을 기반으로 하여 미래기후조건 하에서 비용 및 혜택의 혜택비용비율과 순 현재가치를 산출합니다. 분석수준은 이미 CBA를 완료한 사례연구에 적용됩니다. 비교는 사례연구 CBA 간의 결과와 단순화된 접근방식의 결과가 일관적이라는 것을 보여줍니다. 이는 단순화된 접근방식이 기후 및 극한기후적응을 자본개선 프로젝트에 통합할지 여부를 결정하는 운송 전문가에게 유용한 선별도구가 될 수 있음을 시사 합니다. 도표계산용 소프트웨어 도구는 연구 레벨 1 및 2 분석을 위해 Excel에서 생성되었습니다. 이 도구는 이 지침서 사용자가 다운로드할 수 있습니다. 액세스하려면 TRB 웹 사이트에서 "NCHRP 연구보고서 938"을 검색하십시오. 각 통합문서에는 두 가지 다른 할인율로 계산된 지침서의 예제와 사용자가 자신의 프로젝트 자료를 입력할 수 있는 빈 탭이 포함되어 있습니다.

TRB웹사이트에는 NCHRP웹 전용문서 271 (<http://www.trb.org/main/blurbs/180536.aspx> 에서 확인 가능)로 게시된 NCHRP 프로젝트 20-101에 대한 계약업체의 최종보고서도 있습니다.

점점 더 빈번한 기상이상 현상은 노후되고 세금으로 건설된 교통 시설물에 잠재적으로 심각하고 비용이 많이 드는 영향을 줍니다. 이러한 극심한 사건에 직면하여 운송전문가는 제한된 재정자원을 투자하는 방법에 대해 현명한 결정을 내리는데 도움이 되는 도구와 정책이 필요합니다. CBA는 기후 회복력 투자를 위한 사례를 강화하는데 도움이 될 수 있는 도구 중 하나입니다. 그 이유로서 특히 기반시설은 수명 주기 후반부에 최대 편익을 실현할 수 있기 때문입니다. CBA에는 프로젝트 또는 정책과 관련된 모든 혜택으로 수익을 창출할 수 없는 것과 같은 몇 가지 제한 사항이 있습니다. 그러나 이 기법은 실무자가 프로젝트 및 적응접근방식을 선별한 다음 프로젝트에 통합할 때 고려할 사항을 식별하는데 도움이 되는 유용한 도구로서 운송계획과 관련된 도구들 중의 하나입니다.

제1장 개요

극심한 기상현상과 변화하는 기후로 인해 교통기관과 여행하는 대중의 비용이 증가하고 있습니다. 세계 기상협회 (World Meteorological Association)는 세계가 1970 년대에 비해 날씨 관련 재해에 거의 5 배나 더 취약하다고 보고합니다. 미국에서 극심한 기상현상의 빈도와 심각도의 이러한 변화는 이미 여행 지연(10 ~ 24 %)과 충돌위험(미끄러운 포장도로 또는 악천후시 24% 증가)을 증가 시켰습니다. 악천후 현상은 교통속도와 도로용량을 감소시켜 접근을 방해합니다. 모든 도로정체의 15%는 악천후로 인한 것이고 25%는 사고로 인한 것이며, 미국은 주요 도시지역에서만 연간 94억 5천만 달러 이상의 비용이 발생합니다. 날씨 관련 지연으로 인해 매년 화물비용 증가액수가 34억 달러에 달합니다. 2055 년까지 추락, 사망, 부상 및 재산피해 측면에서 악천후로 인한 사회적 비용은 모두 2조 3,074억 달러로 추정 됩니다 (Guevara, 2013).

최근 몇 년 동안 주 DOT는 인력 및 장비의 조직과 가용성이 물리적 인프라 시스템의 성능과 단기예산 및 시스템복원 우선순위만큼 기관에 중요하다는 것을 이해하기 시작했습니다.

예를 들어, 1,000년에 걸친 2010년 테네시 홍수는 41개 주지역의 피해를 처리하기 위해 주 DOT 유지 보수 시간으로 83,000시간이 필요했습니다. 초기 홍수 2주 후에 발달된 최대 25피트 깊이의 싱크 홀이 포함된 피해로 인해 주(州)간 고속도로가 폐쇄 되었습니다.(Transportation Research Circular E-C152, 2011). 폭풍피해와 홍수의 증가는 열팽창 도로상판 좌굴(heat buckling)과 관련된 도로수리 또는 극심한 폭풍과 홍수로 인한 도로, 도로 기반, 교량 및 암거 등 대중에게 더 많은 위험을 알리는데 드는 비용 등을 소모하여 DOT 운영 예산에 중대한 악영향을 미칩니다.

주정부가 극심한 기상사태의 빈도증가가 시스템에 미치는 영향을 경험하기 시작함에 따라 많은 주 DOT는 시스템에 대한 기후변화의 영향과 가능한 개선의 비용효율성을 평가할 때 이러한 요소를 포함하여 중요도, 여행자지연, 화물에 대한 경제적 영향, 비상관리 요구사항 및 안전과 같은 요소를 평가하기 시작했습니다. 예를 들어, 워싱턴 주 DOT는 4일간의 폐쇄를 시행한 사례를 조사하고 이로 인한 주 고속도로 손상으로 1,800만 달러를 추정했으며, 화물 관련 경제적 영향으로 경제적 생산손실 4,700만 달러, 주세수입 손실 2백만 달러, 개인소득 손실 1400만 달러로 추정했습니다. (Ivanov et al., 2008).

비용-편익 분석 (CBA)은 이익-비용분석 (BCA)이라고도 하며 기후변화적응 또는 극한날씨를 운송자산 또는 시스템 설계로 포함하는지 여부와 방법을 평가하는데 사용할 수 있는 하나의 도구입니다.

제2장 비용-편익 분석검토

개요

과학 연구에 따르면 기상상황은 극심한 날씨를 악화시키기 시작하고 있습니다. 더 높은 온도는 대기의 더 많은 증발과 습기, 더 강한 폭풍, 가뭄 및 폭염을 의미합니다. 이를 염두에 두고 폭우증가, 더위상승, 저수지에 강우수위 급증을 살펴보면 DOT는

- 지역에 공통적인 극심한 사건의 발생률과 규모증가;
- 비 계절적이거나 비정상적인 유형의 극심한 날씨 위험;
- 차량에 대한 영향 (예 : 트럭 타이어, 비행기의 비행능력) 및 운송시스템 (예 : 도로 폐쇄 및 홍수취약성)
- 시민과 여행자에게 미치는 영향과 교통시스템과 관련된 필요성 (예 : 접근, 대피)
- 시설물 설계 시 반영되었을 수도 있는 기상영역 범위를 나타내는 매개 인자(Meyer et al., 2014)를 벗어난 기상 영역의 점진적 이동으로 인하여 잠재적으로 다음 사항들을 포함하여 자산의 수명을 단축합니다.
 - 더 높은 최대 온도 (포장 접합재, 레일 및 운송 작업에 영향)
 - 지역에 따라 습하거나 건조한 기후;
 - 예상되는 계절 강수유형의 변화;
 - 해수면 상승

복원력을 위한 효과적인 계획은 일부 지역에서 "100년 빈도 발생사건"이 5년, 10년 및 15년 간격에 가깝게 발생하여 전국의 DOT에 영향을 미치고 있음을 인식하고 있습니다. 2013년 콜로라도의 홍수와 같이 지난 10년 동안 발생한 더 많은 재앙적인 사건은 2015년 사우스캐롤라이나 (홍즈, 2015) 또는 텍사

스에서 반복적으로 발생한 허리케인 및 홍수와 같은 1,000년 빈도의 사건 (민촌, 2013), 500년 빈도의 사건에 가깝습니다.

비용 효율성을 다루는 도구와 구성은 DOT가 기후변화와 극심한 날씨 발생률 증가에 직면하여 제한된 자금을 투자하는 방법에 대해 정보에 입각한 결정을 내리는데 도움이 될 수 있습니다. 기후적응을 위한 비용편익분석(CBA)은 의사소통 및 의사결정을 위한 엄격한 기반을 제공하여 제한된 공공자금관리 및 전반적인 교통시스템 회복력을 개선하는데 도움이 됩니다. 이론적으로는 모든 그룹을 동등하게 대우하는 할인율과 함께 보다 포괄적인 범위의 영향을 포함할 수 있으므로 CBA는 정부 내의 다양한 단계에서 의사결정에 대한 가치를 높일 것입니다. CBA는 회복력 투자사례를 강화하는데 도움이 될 수 있습니다. 특히 최대 이점은 일반적으로 인프라 수명주기 후반에 발생하기 때문입니다 (Coley, 2012).

어떤 경우에는 CBA가 필요의 정도와 적응을 통해 합리적인 비용에 대한 한계를 설명하고 입법부, 협의회 및 기타 의사결정자에게 기후변화로 인한 비용과 보다 저렴하거나 가장 저렴한 것에 대한 피드백을 제공하는데 도움이 될 수도 있습니다.

재해 및 복구에 대한 연구에 따르면 예방이 여러 번 가치 있는 투자라는 사실이 밝혀졌습니다.

기후변화 적응 및 CBA에 대한 수년간의 TRB 워크숍은 미래예산을 절감하고 가능한 비용의 규모를 줄이는 것이 중점사항 이라고 결론을 내렸으며, 예방 및 완화를 향한 연구와 작업을 확장해야 할 필요성을 지적했습니다.

계획과 회복력은 극한 날씨가 예전만큼 특별하지 않다는 것을 인식하는 것을 수반하며, DOT는 이 “새로운 표준”을 계획과 가치 있는 결정에 구체화해야 합니다.

운송기관은 동료기관과 함께 장기계획을 개발하고 프로젝트 대안 중에서 효율적으로 선택하여 신속하게 준비, 대응 및 복구할 수 있는 효과적인 CBA 방법론이 필요합니다.

다음 장에서는 CBA의 정의와 다양한 유형의 CBA, CBA가 전통적으로 사용되는 방식 및 고려해야 할 몇 가지 경제적 요인에 대한 정보를 제공합니다.

제3장 기후고려

모델과 시나리오

기후과학은 지난 수십 년 동안 동적요인 간에 발생하는 복잡한 상호작용을 모델링하는 능력에서 상당한 발전을 이루었습니다. 일반 순환모델 (GCM)이라고 하는 글로벌 모델은 대기, 지구 및 해양 간의 상호작용을 높은 수준에서 설명하는데 도움이 됩니다. 온실가스 (GHG)배출, 특히 CO₂가 모델에 영향을 미치기 때문에 각 GCM의 중요한 부분입니다. 지역조건을 반영하기 위해 축소된 시나리오는 미래의 다른 지점에서 특정 지역의 미래조건을 예측하기 위해 GCM에 입력됩니다. 시나리오는 세계기후연구프로그램의 CMIP (Coupled Model Intercomparison Project: 연관모델 상호비교 프로젝트) (원문 page21 참조)에 의해 개발되었습니다.

제안 설계에서 변화하는 기후 고려

지난 세기의 대부분의 엔지니어링 설계관행은 과거가 미래를 정확하게 대표한다는 가정을 바탕으로 현장 수문학 및 수리학과 같은 기후 현상에 대한 설계였습니다. 기후과학자들은 이 가정을 기후영향 설계 특성에서 변하지 않는 평균, 분산 등으로 정의된 정상성이라고 합니다. 과거와 미래가 비슷하다면 이 가정은 합리적이지만 지난 50년 동안에도 많은 미국지역에서 프로젝트 설계에 중요한 변화를 보았습니다. 즉, 정상성은 더 이상 가정될 수 없습니다. 예를 들어, 1958년부터 2012년까지 북동부는 매우 극심한

강수사건 (그림 10)에서 내리는 강수량의 71% 증가를 경험했으며, 여기서 "매우 심한 강수사건"은 "모든 날 중 가장 극심한 강수 1%"로 정의됩니다." (USGCRP, 2014). 또한 RCP는 북동부의 일일 극심한 강수사건의 빈도가 평상시와 같은 경로(극히 높음) 및 극히 낮은 시나리오 (그림 11)에서 계속 증가할 것으로 예상합니다. 극심한 강수사건은 현재 "20년에 한번 발생하는 일일 양"으로 정의 됩니다 (USGCRP, 2014). 기후모델 및 비정상성에 관한 추가 정보는 부록 C에 포함되어 있습니다.(원문참조) 그러나 설계매뉴얼 및 연방자금지원지침과 같이 프로젝트를 제한하는 많은 자료는 정상성을 가정합니다. 결과적으로 이러한 자료는 설계 강우에서 관찰된 변경사항과 기후모델을 기반으로 한 예상 변경사항을 모두 통합하는데 더디게 이뤄졌고, 기관 엔지니어는 탄력적인 엔지니어링 설계노력에 대한 지침과 지원이 제한적이었습니다. 더욱이, 예를 들어 기후과학자들이 정의한 매우 다양하고 극심한 강수현상은 엔지니어링 설계 매개변수와 잘 관련되지 않아 비정상 상태에서의 미래조건에 대한 설계를 어렵게 만듭니다.

FHWA는 특히 걸프해안 연구와 기후 회복력 시험연구를 통해 비정상성과 교통인프라에 대한 관련 잠재적 영향을 평가하기위한 연구를 수행했습니다. 이러한 연구를 통해 FHWA는 다양한 기후 스트레스 요인에 대한 다양한 자산 유형의 민감도를 식별할 수 있었습니다. 일부 도로망 관련 자산 및 스트레스 요인에 대한 통합요약이 표5에 요약되어 있습니다. 전체 표는 <https://www.fhwa.dot>에서 확인할 수 있습니다. 기후변화에 대한 특정 운송자산특성의 취약성에 대한 추가정보는 표 6에 요약되어 있습니다.(원문참조) 이러한 연구와 자료는 예상되는 미래기후조건을 설명하기위한 설계지침의 개발을 알리는데 사용될 수 있습니다.

제4장 공통비용

재정적 비용

총 프로젝트비용

총 프로젝트비용 또는 수명주기비용(필요한 재산취득; 프로젝트 건설; 주기적인 수리 또는 교체 비용을 포함하여 프로젝트 수명 내내 운영관리비용; 프로젝트수명 종료 시 폐기 또는 해체 비용)은 건설 전 계획 및 설계를 위한 프로젝트 비용입니다. 운영관리비용은 프로젝트가 기존비용과 비교하여 운영관리비용에 영향을 미치지 않거나 증가, 감소하는지 여부에 따라 양수, 음수 또는 0일 수 있습니다.

FHWA의 수명주기비용 분석입문서 (<https://www.fhwa.dot.gov/asset/lcca/010621.pdf>)는 프로젝트의 수명주기 비용계산에 대한 자세한 정보를 제공합니다. 모든 수명주기 비용은 NPV로 할인되어야 합니다. 따라서 운영관리와 같은 미래에 발생할 활동은 2장에서 설명한 NPV(순수 현재 가치)기법을 사용하여 할인되어야 합니다. 건설비용은 일반적으로 건설 중간지점을 사용하여 할인되므로 건설프로젝트가 자금부터 1년 후 2년 동안 지속될 경우 2년(첫째 년도 시작 일에 2년의 절반을 더한 날짜)만큼 할인되어야 합니다. 비용 워크시트는 부록 D에 포함되어 있습니다.(원문참조) 이러한 비용에 대한 일반적인 데이터 소스는 다음과 같습니다.

- **과거 비용자료.** 이전에 완료된 유사한 프로젝트의 자료는 기관의 기록에 포함되었을 가능성이 높으며 고려중인 현재 프로젝트에 대한 추정의 기초가 되는 비용정보의 좋은 자료원이 될 수 있습니다.

일부 기관은 유용한 정보를 제공할 수 있는 프로젝트 비용 데이터베이스를 유지합니다. (예를 들어, Utah주의 시스템은 이러한 정보와 다음에 기술되는 여러 자료 원을 유동적으로 사용할 수 있도록 함으로써 프로젝트 설계비용을 50 % 절감했습니다)

- **게시된 단가.** Engineering News-Record 및 민간건설(비용)회사는 다양한 산업부문, 자산 및 시설유

형, 지리적 위치에 대한 현재 비용에 대한 정보를 게시하고 유지합니다.

- **계약자 입찰.** 공공프로젝트의 최근 입찰은 후원기관에서 게시하거나 요청할 수 있으며, 특히 암거설치와 같은 프로젝트의 경우 프로젝트비용을 추정하기 위한 근거를 제공 할 수 있습니다.
- **부동산평가.** 온라인 재산세기록 및 공개적으로 액세스 할 수 있는 부동산 웹 사이트 (예 : Zillow 또는 Redfin)에는 세율 및 부동산 현장의 가치에 관한 정보가 포함되어 있습니다.
- **유지보수직원.** 기관의 유지보수직원은 일반적으로 운송시스템 자산의 운영관리와 관련된 비용 및 빈도에 대한 신뢰할 수 있는 출처입니다. 이런 직원은 작업주문 추적자료를 사용하여 작업주문 요청의 상태를 추적할 수도 있습니다. 이러한 추적자료는 또한 작업을 완료하는데 필요한 절차뿐만 아니라 특정 자산의 운영 및 유지와 관련된 비용에 대한 정보를 제공할 수 있습니다.

건설구현 중 지연

방정식4. 건설 중 우회비용

우회비용=(달러/자동차/거리)x(영향을 받는 차량 수)x(우회가 적용되는 기간)x(추가거리/차량)

방정식5. 건설 중 지연비용

지연비용=(달러/승객/시간)x(지연시간/1일)x(승객의 수)x(지연이 발생한 날자 수)

잔존가치(감가상각비용)

방정식6. 남은 내용 수명이 있는 자산의 잔존 가치 계산.

잔존가치=남은 내용 수명/총 내용수명x 자본비용

환경 및 사회적 비용

운송 프로젝트의 건설은 단기 및 장기적인 환경 및 사회적 영향을 미칠 수 있습니다. 프로젝트 건설행위와 관련된 잠재적인 단기영향은 일반적으로 건설비용에 포함됩니다. 예를 들어, 대기질 모니터링이 필요한 프로젝트는 건설비용에 모니터링 비용을 포함할 가능성이 높습니다. 그러나 습지나 서식지의 손실, 나무의 손실 또는 교통이나 운영으로 인한 주변소음증가와 같은 일부 다른 영향은 장기적 일 수 있습니다. 이러한 값 중 일부를 결정하는 것은 어려울 수 있습니다. 일반적으로 환경비용은 영향유형 및 지리적 위치에 따라 크게 다를 수 있으므로 환경 경제학자가 결정합니다. 프로젝트가 프로젝트 지역의 소음을 증가시킬 것으로 예상되고 방음벽이 소음증가를 완화하기 위해 건설되면 방음벽의 비용이 전체 프로젝트 비용에 포함됩니다. 소음 자체의 현저한 증가는 손해로 간주되며 부정적인 요소로 간주 됩니다 (5장 참조).

제5장 공공편익

피할 손실

위험완화 및 회복력 프로젝트의 경우 일반적으로 방정식 7과 같이 편익이 피해와 손실을 피할 수 있습니다.

방정식 7. 프로젝트 이점 결정

편익 = Σ (전 프로젝트 사건 피해와 손실) - Σ (후 프로젝트 사건 피해와 손실)

피할 수 있는 손상 및 손실은 프로젝트가 수행되지 않은 경우 위험 또는 사고의 결과로 발생하는 물리

적 손상 및 서비스손실입니다. 예를 들어, 100년 빈도 홍수사건으로 인해 1백만 달러의 피해가 발생하는 경우, 잔여 피해 없이 100년 빈도 홍수사건으로부터 보호할 회복력 프로젝트는 1백만 달러 가치의 손실을 피할 수 있었으며 이는 프로젝트 혜택으로 간주됩니다.

프로젝트 이점은 미래 기간 동안 발생하지만 대부분의 프로젝트 비용은 현재와 선불로 발생합니다. 이러한 이유로 비용보다 이익을 추정하기가 더 어렵습니다. 또한 회피와 함께 제공되는 많은 이점을 정량화하기가 어렵습니다. Zillow의 분석은 현재 (정상적인 사업) 경로의 비용에 대한 하나의 지표를 제공하므로 이를 방지하여 얻을 수 있는 절감효과를 나타냅니다. 그러나 Zillow 분석은 주거용 부동산에만 적용되며 주거용 거리, 간선도로, 지방 및 주 고속도로, 이를 연결하는 주간 고속도로 또는 학교, 공원, 도서관, 정부건물 등과 같은 기타 공공자원에는 적용되지 않습니다. (지역고용의 대부분을 제공하는 민간 부문사업은 말할 것도 없습니다.)

국가기후평가 (USGCRP, 2014)는 또한 현재 기후 변화의 결과가 북극지방의 18°F 기온 상승, 해수면 10년당 1피트 상승, 광범위한 건조화 및 미국 내륙에서 8°F에서 10°F까지 온난화됨에 따라서 Joe Romm (2017))이 Scientific American과 과학 저널 Nature에서 명명한 소위 “Dust -Bowlification”(그림 14) (NASA, 2015)처럼 적응한계를 넘어설 수 있는 경로를 추구하고 있다고 지적합니다.

이것들은 평균치입니다; 매년 발생하는 극한 기온은 이미 더 높고 앞으로도 훨씬 더 높아져 현재의 경로를 계속 이어갈 것입니다. 이 경우 전 세계 해수면이 8피트 상승하여 미국과 전 세계의 모든 주요 해안 도시가 100년 말까지는 침수 될 수 있습니다. (기후 변화에 관한 주정부 간 평의회는 금세기에 현재 경로에서 2미터의 해수면 상승 [SLR]이 발생할 수 있다고 추정했습니다. NASA 과학자들과 다른 사람들은 2100년까지 3미터 이상의 SLR이 가능하다고 말했습니다.) 바다는 그 후 10년에 1피트 이상이 상승하게 되어 적응을 거의 불가능하게 만듭니다.

기후, 식량 시스템, 안보 및 매장의 경제적 변화 정도에 적응할 수 있도록 하는 방법의 적용 불가능 및 실현불가능성은 우리들이 최선의, 가장 위험이 낮고, 가장 비용 효율적인 방법으로 신기술로의 빠른 전환을 추구하도록 만듭니다. 그러나 이러한 기술은 새롭고 완전히 입증되지 않았기 때문에 구현의 이점을 정량화하는 것이 어려울 수 있습니다. 또한 아직 개발 중인 일부 기술은 미래의 어느 시점에서 사용할 수 있습니다; 이러한 기술은 오늘날 수행되는 CBA에서 설명 할 수 없습니다. CBA는 당시 사용 가능한 최상의 정보를 기반으로 완료한 다음 새로 사용할 수 있는 정보를 기반으로 향후 적절하게 다시 계산할 수 있습니다.

대부분의 기후적응은 미래의 자연재해로 인한 피해를 줄이는 목적으로 통합됩니다. 그러나 일부 프로젝트는 정상적인 운영 하에서 기존조건을 개선하려고 할 수도 있으므로 해당 프로젝트는 직접적인 이점을 가지고 있습니다. 피할 수 있는 손실과 직접적인 혜택은 모두 CBA에서 편익으로 간주됩니다. 그러나 편익을 이중으로 계산하지 않도록 주의해야 합니다. 이중 계산은 이체지불과 동일한 경제적 영향을 두 번 계산할 때 가장 자주 발생합니다. 이체지불금을 이중으로 계산하는 예는 통행료 징수비용이 변경되지 않더라도 통행료가 감소하고 분석에 더 낮은 차량 운영비용이 포함되는 경우입니다. 통행료는 운송 기관과 사용자간의 이체지불이므로 CBA에 포함되지 않습니다. 동일한 경제적 영향을 두 번 계산하는 예는 방음차단벽의 구축입니다. 방음벽건설 비용이 프로젝트 비용에 포함되면 방음벽이 없는 프로젝트에서 발생하는 소음의 불이익 (또는 부정적인 이익)은 CBA에 포함되지 않습니다.

제6장 비용-편익 분석수행

적절한 분석수준

연구에 따르면 악천후로 인한 피해를 예상하거나 경험하는 것이 회복력 투자결정의 핵심 조정인자(Key Driver)일 수 있습니다. 그러나 미국에 있는 대다수의 DOT는 CBA 수행여부와 시기를 결정하는 공식적인 기준이 없습니다. CBA를 완료하기위한 정책을 구현하는데 있어 실질적이고 인지된 장벽은 다음과 같습니다.

- 평가정보 부족;
- 특히 악천후와 관련된 행동 및 비용과 관련된 기준자산 자료의 부족;
- 계획을 위한 기후예측사용에 대한 접근 및 신뢰;
- 장기적인 이점을 계산하기 어려움;
- 자산별 기준으로 CBA를 수행하는데 관련된 시간 또는 비용에 대한 우려;
- 적응대안에 대한 정보에 제한된 접근 또는 대안을 고려하지 않기로 결정한 경우;
- 지도부의 지원 부족;
- 계획 절차에서 프로젝트 범위 및 예산에 적응을 통합할 필요
- 적응옵션을 구현하기위한 자금 조달 메커니즘 부족.

일부 조직은 CBA를 수행할 시기와 정도를 고려하고 이러한 결정을 실무자를 위한 지침에 통합하고 있습니다. CBA를 수행하는 것이 항상 의미가 있는 것은 아닙니다. 구현비용이 저렴한 적응조치는 CBA분석 효과를 보장할 가능성이 낮지만 복잡하고 값 비싼 프로젝트는 세부 CBA의 혜택을 받을 가능성이 높습니다. 마찬가지로, 빠르고 비공식적이든 더 정교하든 상관없이 다양한 경로의 영향에 대한 장기적인 계획 및 탐색은 CBA의 이점을 누릴 수 있습니다. DOT는 지속적이고 점점 심각해지는 홍수와 특정지역의 지속가능성으로 인한 교통시스템 변경의 재정적 영향을 확인할 수 있습니다.

개념 계획

이 팀의 연구결과에 따르면 DOT는 CBA를 수행하는 것이 계획 활동 중에 가장 유용하다고 생각합니다. 이 단계에서 수행되는 CBA를 통해 운송실무자는 프로젝트를 평가하고 더 상세히 추구하여 가장 유리할 것 같은 프로그램들을 높은 수준에서 측정토록 올바른 프로그램과 프로젝트를 평가할 수 있게 합니다. 이 단계에서 CBA를 통해 기관은 우선순위를 개발하고 목표를 달성하기 위해 자본예산과 자원을 할당하는 방법을 결정할 수 있습니다.

자세한 연구

프로젝트의 설계 단계에서 CBA를 완료하여 긍정적인 ROI를 얻을 수 있는 설계대안 또는 설계요소를 결정할 수도 있습니다.

제7장 연구 수준 1 기후 회복력 비용-편익 분석

분석수준의 개요

역사적으로 많은 DOT는 크거나 복잡한 프로젝트에만 CBA를 사용했습니다. 그러나 자산관리계획에 대한 강조가 증가함에 따라 운송실무자들은 CBA가 설계 및 계획에 유용할 것이라는 점을 점점 더 인식하고 있습니다. 그들은 또한 CBA가 FHWA ER 프로젝트에 대한 개선 결정에 적용될 수 있지만 CBA는 일반적으로 번거롭고 비용이 많이 드는 것으로 간주되며 운송실무자들은 소규모자본 프로젝트에 대한 결정에 대해 분석을 수행하기를 회피합니다. 그러나 날씨와 기후패턴의 변화는 소규모이벤트를 위해 설계된 자산에 영향을 미치고 있습니다. 더 빈번히 비가 내리고 해수면이 증가하면 성가신 홍수사고가 증가

하여 교통자산이 더 자주 침수됩니다. 교통실무자는 적응전략을 고려할 것인지 평가할 수 있는 짧고 간단한 방법이 필요하며, 그렇다면 어떤 수준의 투자가 비용 효율적일 수 있는지 평가해야 합니다.

7장과 8장은 적응전략이 비용 효율적인지 평가하기 위해 초기 스크리닝을 수행하기 위한 접근방식을 설명하고, 구현된 경우 적응여부에 관계없이 예상되는 피해수준을 설명합니다. 이 방법론에서 고려되는 기후변화 영향의 초점은 배수로, 교량 및 우수제어시설을 포함한 운송시설의 설계홍수배출증가에 있습니다. 일반적인 가정은 현재 상태에 대한 물방출과 그 빈도(즉, 반복 기간)간의 관계가 역사적으로 고정된 위험에 근거한 반면 미래 값은 기후변화로 인해 발생하는 비정상성에 따라 달라질 수 있다는 것입니다. 이어지는 논의는 하천범람에 초점을 맞추지만 유속이나 수면높이와는 무관하므로 하천 또는 해안분석에도 동일하게 적용할 수 있습니다.

배수 작업 및 홍수제어 프로젝트를 포함하여 운송시설에 일반적으로 사용되는 설계기준은 연간초과확률과 그 역수인 반복 기간을 기반으로 합니다. 표 13에는 대부분의 운송기관에서 사용하는 설계기준이 요약되어 있습니다. 각 설계수준에 대한 연간초과확률 또는 반복기간 값은 해당수준에서 허용 가능한 위험수준을 나타냅니다.

현재 조건과 비교하여 기후변화 시나리오에서 설계배출 및 홍수수준이 증가할 수 있지만 시설이 반드시 더 큰 회수기간을 가진 사건에 대해 완화할 필요는 없습니다. 이는 단순히 동일한 반복기간(동일한 고장 확률)이 더 높은 배출량과 홍수높이를 특징으로 한다는 것을 의미합니다. 특정 홍수배출과 관련된 잠재적인 피해는 미래에 변하지 않을 것이지만 동일한 배출이 더 자주 발생하면 (즉, 빈도기간이 더 짧아질 경우) 전체 위험수준이 증가 합니다 (그림 20). 시스템이 증가된 배출량을 수용할 수 있도록 보장하면 기후변화의 영향에 대해 회복적이지만 기후변화 영향에 적응하려는 시도는 경제적으로 합당한 접근방식과 균형을 이루어야 합니다. 경우에 따라 절대 최악의 시나리오에 대한 설계는 Box 3에서 논의한 것처럼 비용 효율적이지 않을 수 있습니다.

제8장 연구수준 2 기후 회복력 비용-편익 분석

연구수준 2 분석에 대한 개요

연구수준 2 분석은 연구수준 1분석을 기반으로 합니다. 연구수준 2 분석은 기후변화가 없는 기존조건을 사용하여 기후변화가 있는 미래조건에 대한 새로운 반복기간, 즉 피해가 발생하지 않는 기후변화 조건에서 최대 반복기간 T_f 를 계산합니다. 그런 다음 연구수준 2 분석은 위험완화 또는 회복력조치가 있는 경우와 없는 경우 미래의 손상을 계산합니다. 이를 위한 방법론, 자료 원 및 분석도구는 부록 J, 부록 K 및 부록 L에 있습니다.

예제를 통한 해석 절차단계

데이터 입력 및 데이터 소스 선택

수준2 분석을 위한 데이터 입력 및 자료는 수준1 분석에 사용된 것과 동일하며, 적응옵션에 대한 예상 미래흐름 또는 설계능력과 적응 후 미래사건에 대한 예상피해가 포함됩니다.

수준 1 분석완료

7장에서 사용된 것과 동일한 수치 예제가 연구수준 2 분석을 설명하는데 사용됩니다. 연구수준 2 분석은 수준 1 분석과 동일한 자료 및 계산을 사용하여 시작됩니다. 이 수준 2 분석을 위한 워크시트는 부록 H에 포함되어 있습니다. 표29는 7장의 연구 수준 1 분석사례의 결과를 요약합니다.

7장의 그림23은 현재 조건에서 물 방출과 관련된 손상이 기후조정조건에서 동일한 물 방출에 대한 손상을 초과 할 수 있으므로 세 점만 사용하여 개발된 곡선의 정확도가 제한되어 있음을 분명히 보여줍니다.

해수면 상승으로 수준 2 분석연구

7장에서 논의된 동일한 Galveston 시나리오가 SLR에 대한 연구수준 2 분석을 완료하기위한 기초로 사용되었습니다.

현재 50년, 100년 및 500년의 조수높이 사이에 기록된 홍수높이와 SLR을 사용한 상응하는 예상 재현 기간이 있는 추가지점이 회복력 / 적응 없이 미래조건에 대한 분석에 부가되었습니다.

그 결과 비용 효율적인 적응 프로젝트에 대한 수정된 추정 금액은 \$173,500이었습니다. 마지막으로, 현재 500년 수준의 사건을 보호하는 적응프로젝트 실행과 관련된 피해를 가정하여 미래의 해수면이 현재의 500년 사건을 초과할 때까지 피해는 \$0에 머물렀고 이후 최대 피해가 발생한 것으로 가정했습니다. 결과는 표 38에 요약되어 있습니다.(원문참조)

그 결과 제안된 프로젝트의 초기비용은 \$250,000이고 연간 운영관리비용은 \$5,000이며 BCR은 0.72입니다. 따라서 비용 효율적이지 않습니다.

- 결론 -

과학 연구에 따르면 기후가 극심한 날씨를 악화시키기 시작했습니다. 더 높은 온도는 대기의 더 많은 증발과 습기, 더 강한 폭풍, 가뭄 및 폭염을 의미합니다.

DOT는 아래사항들에 대해 대비하고 있습니다.

- 지역에 공통적인 극심한 사건의 발생률과 규모 증가;
- 극심한 날씨 위험성의 비 계절적이거나 비정상적인 유형;
- 다음을 포함하여 인프라가 설계된 매개변수를 벗어난 기후대 (Meyer et al., 2014)의 점진적인 이동
 - 더 높은 최대온도;
 - 지리적 위치에 따른 습하거나 건조함;
 - 예상되는 겨울 강수유형의 변화;
 - 해수면 상승

이러한 기후변화는 DOT 자산의 수명을 단축시킬 수 있습니다.

DOT는 점점 더 빈번한 기상현상이 인프라에 잠재적으로 심각하고 비용이 많이 드는 영향을 미치는 일련의 연결된 문제라고 파악하고 있습니다. 더욱이 우리나라 교통 인프라의 상당 부분이 수명이 다하고 있습니다. 어떤 경우에는 경쟁 우선순위와 제한된 예산으로 인해 예방유지보수 프로그램의 자금이 부족합니다. 극심한 기상현상 외에도 인구 및 개발의 증가로 인해 인프라 노후화가 심화되고 있습니다.

회복력을 위한 효과적인 계획은 5년, 10년 및 15년 기간에 걸쳐 발생하는 여러 "100년 빈도사건"이 전국의 DOT에 영향을 미친다는 것을 인식하고 있습니다. 더욱이 지난 10년 동안 더 많은 재앙적인 사건이 발생했는데 예를 들어 2013 년 콜로라도의 홍수는 1,000년 빈도의 강우사건 (민츠, 2013)에 의해 야기된 것으로 추정되고 2015년 사우스캐롤라이나의 허리케인 및 홍수사건은 500년 빈도 사건 등이 있습니다. (Holmes, 2015).

기후변화와 극심한 날씨의 발생증가에 직면하여 특히 비용효율성을 다루는 도구 및 정책은 DOT가 제한된 자금을 투자하는 방법에 대해 현명한 결정을 내리는데 도움이 될 수 있습니다. 특히, 기후적응을 위한 CBA는 의사결정을 위한 엄격한 토대를 제공하고 제한된 공공자금관리 및 운송시스템 회복력을 개선

합니다. CBA는 회복력 투자사례를 강화하는데 도움이 될 수 있습니다. 특히 최대 이점은 일반적으로 인프라 수명주기 후반에 발생하기 때문입니다 (Coley, 2012). 기후 회복력이란 극단이 반드시 특별할 필요는 없으며, 효과적인 CBA 방법론은 프로젝트 대안 중에서 효율적으로 선택하여 운송기관이 신속하게 준비, 대응 및 복구할 수 있도록 지원하는데 필요합니다.

그러나 CBA는 모든 것을 치료할 수는 없습니다. 운송프로젝트의 자금조달에 대한 평가를 시행할 때 CBA에는 다음과 같은 몇 가지 고려해야 할 제한 사항이 있습니다. 프로젝트와 관련된 비용 및 이점을 평가해야하는 필요성은 모든 CBA에 내재되어 있습니다. 그러나 분석을 위해 자료를 전산화하는 개인은 실수로 특정비용이나 이점을 생략할 수 있습니다. 잠재적으로 중요한 제한사항 중 하나는 프로젝트와 관련된 모든 비용과 이점을 정량화하는 능력입니다. 예를 들어 프로젝트는 주변환경의 미관을 개선하는 것과 같은 사회적 이점을 가질 수 있지만 이러한 시각적 개선의 가치를 평가하기는 어렵습니다.

기후 변화와 관련하여 향후 수십 년 동안 어떤 조건이 될 것 인지와 관련된 불확실성이 있으며, 이러한 불확실성과 관련하여 미래 혜택의 현재 가치를 결정하는데 사용할 적절한 할인율에 대한 논쟁이 있습니다. 마지막으로 분석에 사용된 자료는 프로젝트예산으로 전환될 수 없습니다. 계획절차 초기에 스크리닝 도구로 수행되는 CBA는 개념설계와 해당 절차단계에서 사용 가능한 최상의 정보를 사용하여 계산된 비용 및 이점을 기반으로 합니다. 초기 예산계획에는 유용할 수 있지만 최종 프로젝트예산의 기초로는 사용할 수 없습니다.

CBA에는 한계가 있지만 DOT의 계획 도구들 중 유용한 도구입니다. DOT가 프로젝트 및 적응접근법을 선별하여 추가 고려사항을 식별하는데 도움이 될 수 있습니다. DOT가 기후변화와 극심한 날씨로 인해 증가할 수 있는 스트레스를 인지하고 계획함에 따라 CBA는 프로젝트에 통합하기 위해 고려할 적응 조치를 식별하는데 도움이 될 수 있습니다.

<원문제목> Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change-Guidebook

<원문출처> National Academy of Sciences(TRANSPORTATION RESEARCH BOARD)