

# 교통 분야의 기후변화 적응

한국과학기술정보연구원  
전문연구위원 황유정  
(yoojeong3@reseat.re.kr)

## 1. 서론

- 학자들 사이에는 기후변화로 국민 총생산량의 5~20%가 감소할 수 있다는 비관적인 주장과 그 예상 피해가 과장되었다는 상반된 주장이 있다. 이 분석은 교통 분야에 예상되는 피해에 관한 연구와 적응정책을 반영한다.
- 교통 분야는 국가간 경제수준의 격차, 자연환경 조건과 교통체계의 상이성 등으로 연구의 어려움이 있다. 또한 도로, 철도, 수로 교통체계에 따른 기후변화에 대한 민감성이 다르고, 화물과 여객 수송으로 분류해 분석할 수 있고, 교통수요와 공급에서 분석할 수 있다.
- 기본적인 교통수요에서 화물 운송은 계절적 주기와 연관이 있고(농산물), 여객 수송은 휴가철이나 방학과 같은 시기와 관련이 있다. 교통 기반시설은 고온, 저온, 강풍과 같은 극한 날씨 현상에 따라 영향 받는다. 특히 강풍은 항공 철도의 운행에 차질을 준다. 여객수송은 기상으로 승객의 행동반응 변화가 오며 화물수송보다 민감하다. 교통의 수요공급의 변화로 생산과 소비의 입지변화가 일어나고 운송비용의 변화가 발생할 때 화물과 여객수송의 변화가 수반된다.

## 2. 온도상승과 해수면 변동

- 지구온도 상승 예측은 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 제시하는 기후변화모델을 전제로 한다. 이에 따르면 내륙 지역 온도가 해안보다 더 상승하며, 대륙지역이 해양보다 더 상승한다. 북반구에서 극지방으로 갈수록 크게 상승한다. 강수, 온도, 바람의 조건은 해양과 거리, 지형의 복잡성이 작용하는데 강수량은 극지방에

근접할수록 증가할 것으로 예측한다.

- 연구에서 기온과 해수면 상승의 결과는 확실하다. 강수유형 변화와 풍속의 증가는 연구결과가 불확실하다. 홍수 가능성은 상이한 입지에 따라 해수면 변동 정도가 다르므로 해안침식과 대륙의 예상 피해정도가 다르다.

### 3. 해수면 상승, 폭풍, 홍수 등의 기상이변

- 해안홍수를 예측하기 위해 해수면 변동의 영향을 지리정보 고도모델로 분석했다. 해안홍수가 가장 심할 것으로 예상되는 지역으로 북미대륙의 대서양 연안, 멕시코만으로 교통 기반시설이 침수될 것으로 예측한다. 미국 동부지역의 교통 기반시설은 해발 2~6m 높이에 있으며 1미터 해수면 상승에 평균 3미터 높이까지 홍수영향을 받을 것으로 예측한다.
- 미국 동부해안의 교통구조 영향은 보호시설(방어벽) 없이 2100년에 59cm 해수면 상승으로 도로, 철도가 주기적으로 침수될 것이다. 워싱턴 DC가 상당히 위험하여 피해가 예상되고 메릴랜드, 버지니아 북 캐롤라이나도 문제가 심각하여 적응조치(adaption measures)가 필요하다. 멕시코만 지역은 61cm의 해수면 상승으로 64%의 항구시설이 위협을 받는다. Nicholls 등(2008)은 2070년에 해수면이 50cm 상승한다면 큰 항구 137개가 홍수로 여객과 화물수송에 많은 영향을 줄 것이라고 주장한다.
- 중동과 북아프리카 지역 국가는 해수면 상승으로 영향을 심하게 받을 수 있고 라틴 아메리카와 캐리비안, 사하라 남부 아프리카, 아시아 남부지역은 비교적 영향이 적을 것이라고 한다.

### 4. 교통관련 비용과 재해

- 미국에서 해수면이 30cm 상승하면 2100년에 80% 정도의 수송 지체와 여행 취소가 나타날 것이다. 고도가 낮은 도시인 뉴올리언스, 탬파, 신시내티 등은 더욱 심하겠고 내륙도 강수로 인한 홍수 빈발로 여행과 철도의 피해, 출퇴근 통행 지연, 화물열차 지연과 교량의 파괴를 예상

할 수 있다.

- 네덜란드의 연구는 교통관련 홍수 한 번으로 4억 천4백만 유로의 비용이 발생할 것이다. 이는 여행, 수송 지체와 취소 등으로 발생할 비용이며 적응전략으로 홍수방어벽(flood defense)의 설치와 보강을 권한다.
- 결론적으로 지역별 해수면 상승 정도는 다르더라도 상당한 교통재해가 전 지구적으로 해안에서 발생한다는 것은 확실하다. 시설 피해, 여행지 노선변경 등의 비용이 발생할 것으로 보며 미국 동부해안에 대하여 많이 연구했으나 서부해안과 유럽에 대한 연구는 적다. 특히 개발도상국에서 홍수 방어시설 보강과 인프라 구축에 대한 연구가 없거나 적어서 많은 피해를 예상한다.

## 5. 예상되는 지구적 운송 유형

- 여객수송 영향: 스키관광 여객수송은 북유럽, 고위도 지역으로 수송수요가 증가하며 스위스는 눈 적설량 감소로 수송수요가 85%~44% 정도 감소할 것으로 예상된다. 캐나다는 2020년부터 스키 가능 면적이 3~17% 감소하여 여객수송이 20% 감소할 것으로 예상된다.
- 화물운송 영향: 농업생산 화물 운송 변화는 고위도 지역으로 농업생산지가 이동함으로써 운송량의 변화가 예상된다. 저위도 지역은 고온으로 화물수송 피해와 비용증가가 올 수 있다. 온대지역은 겨울 난방수요 감소로 석유와 석탄수송의 변화가 있고 저위도 지역은 하계 냉방에너지 수요 증가로 이에 대한 대비가 필요하다.
- 북극 주변의 해빙 감소로 새로운 항로가 가능하다. 새로이 가능한 북극 항로는 연중 몇 달간 북미, 유럽, 러시아, 아시아 지역의 효율적 수송기회를 제공할 것이다. Somanathan 등(2007)이 분석한 북서항로는 뉴펀들랜드 세인트존에서 요코하마까지 항로다. 새로운 항로로 비용절감과 새로운 항구 물류 중심지가 나타날 것이다.
- 내륙 항로는 미시시피강과 라인유역 등이 수위 감소로 운송비가 증가한다. 수위가 낮아지므로 오대호와 세인트로렌스강에서 2035년 운송비

가 5~14% 증가할 것으로 예측한다. 어떤 자료는 미시시피강의 수위에 따라 비용 발생이 다르다. 1933-2002년 저수위 기간에 수로수송의 손해 발생액이 연 평균 7,700만 불이며, 반면에 1968~2002년의 우기 수송 손해는 2500만 불이었음을 비교할 수 있다. 지구기후예측모델에 따른 2100년 수위예측은 연 7,700-11,800만 불의 수송비용 발생을 예상한다.

- 철도, 항공운송 관련 연구가 많지 않다. 기후, 기상과 교통사고의 관계에 관한 로세티(2002)연구 등은 가장 많은 사고는 강우 관련이며 다음으로 눈, 안개의 순으로 보고했다. 항공운송의 지연, 취소, 사고 발생의 원인은 주로 강한 풍속이며 일부는 불량시계로 나타난다.
- 육상 운송에서 안전과 운행시간, 사고빈도 등의 관계는 매우 복잡하다. 스텐과 제하비(1990)는 기후변화와 사고위험 증가 간의 관계를 주장했다. 가장 주요한 변수는 강수이며 강수와 도로사고의 빈도의 긍정적 관계를 보인다. 강수량 증가로 사고 건수는 75%가 증가하며 관련 부상자수는 45%가 증가했다. 비보다는 눈이 더 영향이 크며 지연된 강수(lagged precipitation, 건기가 계속되다 비가 온 때)는 그 영향이 더 크다. 강수는 사고의 빈도를 증가시키지만 사고의 정도는 감소시킨다. 아이젠베르그와 워너(2005)의 연구에서 강수 시 운행속도 감소로 사고 났을 때 사고 정도(severity)는 감소한다는 것이다. 운행속도의 감소로 사고 정도를 줄여 재산 피해액도 줄인다. 비보다는 눈일 때 더 감속하여 속도가 7% 감소된다.

## 6. 행태적 반응

- 이상기후, 극심한 기상상태에 통근자들은 통근거리의 단축, 자가운전에 서 대중교통으로 변경, 운행시간의 연기 등의 행태 반응을 보인다. 패리(2000)는 눈 온 날 불필요한 운행의 연기로 교통량 감소를 보이며 강설 일수와 자동차 운행거리는 반비례한다고 했다. 화물운송과 강설의 효과는 더욱 심하게 반비례한다.
- 리차드슨(2000)은 스웨덴 도시에서 수천 명을 조사한 결과 고온이나 저온이 되면 출퇴근 자전거 운행이 줄었다. 눈, 비, 강풍에도 자전거 운행이 감소했다.

- 통근자들이 이상기상에 통근수단을 변경하는가 하는 연구에서 통근수단을 바꾸기보다는 출발시간, 운행노선을 변경하려 했다. 통근자들이 다른 대체 교통수단이 있음에도 변경하는 것은 5% 정도였다.
- 화물운송에서 운송수단 선택에 관한 연구로 존커런 등(2008)이 북서유럽 내륙수로를 다루었는데, 라인강이 하계에 수위가 낮아지면 수송비의 증가로 철도, 도로수송과의 경쟁력이 악화되었다. 그러나 수위 하강이 철도와 도로에 미치는 영향에 대한 자료가 없어 내륙수로 수송이 어느 정도 감소할 것인가를 정확히 예측하기 어려웠다.

## 7. 결론

- 교통 수송부문의 기후변화 영향은 해안지역, 특히 고밀도 인구집중 지역에서 교통체계의 변화가 심각할 것이다. 해안홍수 예상 지역은 교통 기반시설의 고도와 침수지역을 고려해야 한다. 여객수송은 관광 수요 변화가, 화물수송은 농산물 수송 변화가 클 것이다. 고온, 강수량 증가, 강풍 등의 극한 기상조건은 교통 혼잡, 운행 지체, 여행 취소, 교통사고 증가 등으로 이어질 것이다. 예측할 수 있는 북극항로는 비용 감소와 새로운 물류 중심지가 등장할 것이다.

출처 : Mark J. Koetse, Piet Rietveld, "The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings", *Transportation Research Part D* 14, 2009, pp.205~221

### ◁ 전문가 제언 ▷

- 해수면 상승으로 인한 해안침구 빈발로 교통인프라에 올 수 있는 피해와 비용, 교통수요의 변화 등에 관해 검토했다. 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 제시한 분석내용을 주시할 필요가 있다.
- 여객, 화물운송의 예상되는 변화는 세계 무역의 패턴과 연결될 수 있으며 이는 지역에 따라 다르게 나타날 수 있어서 우리나라의 상황과 연결하여 농산물, 에너지 수송, 관광객 여행수요 등을 예측해야 한다.
- 북극항로와 같은 새로운 항로로 비용절감도 예상할 수 있지만 우리나라 물류 중심지와 연계 등을 고려해야 한다.
- 한반도 남서 해안지역에서 기후변화의 영향이 나타나며 충청남도과 전라남도 해안지역의 예상침수로 도로, 철도, 항만 등의 피해가 예상된다. 이에 대한 예상계획 수립과 시설 파손에 대책을 모색해야 한다.
- 해수면 상승에 따른 침수 취약지와 해수침식으로 인한 교통시설 붕괴, 항만파괴 가능성, 해일의 연안재해 발생을 예상할 수 있어야 한다. 기존 항만구조물 위험도 평가에서 해수면 상승 전후의 안전성과 기능성이 목표 수준을 만족하지 못하면 보수·보강을 해야 한다.