
Global Report

도로교통에서 홍수가 미치는 영향

1. 개요
2. 재료 및 방법
3. 응용프로그램
4. 결과 및 검토
5. 결론

1. 개요

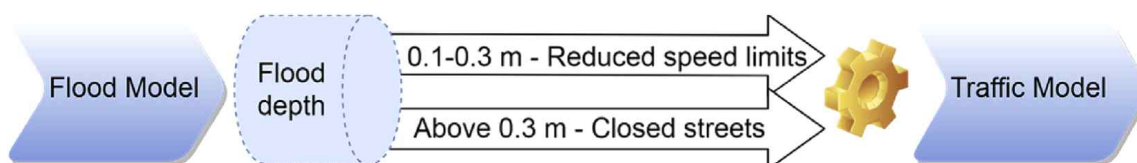
자동차 전용도로에서 홍수는 교통흐름에 물리적으로 직접적인 영향을 미친다. 침수된 도로에서 가장 큰 피해는 순식간에 불어난 물로 인해 차량 탑승자의 목숨을 잃는 확률이 매우 높다는 것이다. Sharif 등은 2015년, 미국 텍사스에서 70%의 엄청난 홍수로 인해 피해자의 절반 이상이 차량에서 사망한 일이 있었다. 자동차가 침수된 상황에서 운행을 계속하는 것은 차량의 예측할 수 없는 사고로 이어질 수 있는 매우 위험한 행동이다[1]. 이러한 우려는 운전자가 침수된 상황에서 위험을 피하고 목적지에 도달할 수 있는 안전한 방법을 찾기 위해 우회해야만 한다. 침수된 지역에서의 혼잡은 교통지연으로 이어질 수 있지만, 그 영향은 통신시스템을 사용하는 많은 운전자(사용자)에게 분산되어 나타난다[2].

그간의 연구에서 홍수 시 도로교통 시스템의 영향에 대해 평가한바 있다. 2014년 영국 교통부는 영국의 고속도로 네트워크에 대한 홍수가 하루 만에 전국적으로 연간 지연의 2%를 차지했다고 보고한바 있다. 2015년 Affleck과 Gibbon은 워킹턴에 있는 여러 다리가 붕괴된 후 15분의 여정이 2시간의 경로로 바뀌었다고 설명했다. 2017년 McDermott 등은 아일랜드의 교통체증 해소를 위한 사회적 비용을 380만 유로로 평가한 바 있다. 이러한 연구는 홍수가 운송시스템과 사용자(운전자 및 탑승자)에게 치명적일 수 있다는 것을 입증하는 것이다. 그러나 교통시스템에 대한 잠재적인 홍수 영향은 과거에 자세히 연구되지 않았다. 2005년 Suarez 등은 기후변화가 잠재적으로 이동시간과 이동거리를 두 배로 늘릴 수 있다고 결론을 내렸으며, 2010년 Chang 등은 교통지연이 장거리보다 더 중요한 결과라고 결론지었다. 도시 환경에는 경로변경 옵션이 많기 때문에 혼잡으로 인한 이동지연만큼 이동거리를 늘려서는 안된다. 이에 2004년 Balijepalli와 Oppong은 영국 요크 지방 교통시스템의 취약성과 견고성을 평가한바 있다. 9개의 도로가 홍수가 발생하기 쉬운 도로로 간주되어 교통체감이 중단되었거나 용량이 줄어든 도로가 폐쇄되기도 했다.

2. 자료 및 방법

2.1. 방법론

홍수와 도로교통 시스템 사이의 복잡한 역학적 관계를 규명하기 위해 홍수 및 교통 모델의 완전한 통합을 수행하였다. 유압 모델링 결과에서 얻은 교통흐름 맵(flood maps)은 가시적인 트래픽 모델 입력으로 변환된다. 이러한 근거는 홍수의 심각성과 시간이 지남에 따라 전파가 도로의 상황을 좌우한다는 것을 시사하고 있다[3]. 두 모델 간 동적이고 포괄적인 통신시스템을 보장하기 위해 홍수와 네트워크 용량의 시간적 변화를 결합하여 일관되고 균일한 접근방식을 개발하였다. 홍수 및 교통통합 도구의 개요를 [그림 1]에 나타낸다. 플러드와 트래픽 모델 간 단방향 통신을 수행한 사례이다.



* 자료 : Katya Pyatkova et al., “Assessing the knock-on effects of flooding on road transportation”, Journal of Environmental Management 244 (2019) 48–60, p.49.

[그림 1] 홍수 및 교통통합 도구의 개요

홍수의 정도에 따라 일부 도로는 더 느린 교통체증을 견딜 수 있으며, 다른 도로는 교통흐름을 위해 폐쇄되어야 한다. 침수도로의 물의 깊이(침수정도)를 구별하는 기준은 침수된 차량의 안정성 임계값에 대한 이전에 논의된 연구를 기반으로 한다. 네트워크의 모든 시뮬레이션 차량에 대한 일관성을 보장하기

위해 0.3m는 도로폐쇄의 기준으로 적용되는 최소 안전 요구사항이다. 도로가 폐쇄되면 원래 거리를 통과하는 차량은 현재 위치에서 목적지까지의 가장 짧은 경로를 선택하여 폐쇄위치에 도달하기 직전에 경로가 변경된다. 경로변경 프로세스는 운전자에게 경로의 일부가 침수되었다는 초기정보가 없다고 가정한다. 경로전환은 링크 클로저(link closure)에 접근할 때 이루어지며, 특정 목적지로 가는 가장 짧은 경로를 기준으로 새 경로가 할당된다. 홍수로 인한 자동차 전용도로의 침수깊이가 0.3m 미만인 거리는 20km/h의 감속이 필요하다.

2.2. 마이크로 시뮬레이션 기법의 장점

■ 경로 변경

- 홍수로 인해 도로가 폐쇄되면 각 차량의 목적지에 따라 개별적으로 경로가 변경된다. 따라서 라우팅 알고리즘은 침수된 조건 동안 트래픽 상태를 자세히 나타낼 수 있다.
- 교통 모델은 공간적 및 시간적으로 홍수 전파의 역학을 시뮬레이션 할 수 있다.
- 예를 들어, 홍수 심각도에 따라 다른 차선에서 트래픽을 활성상태로 유지하면서 하나의 차선만 폐쇄 할 수 있다.

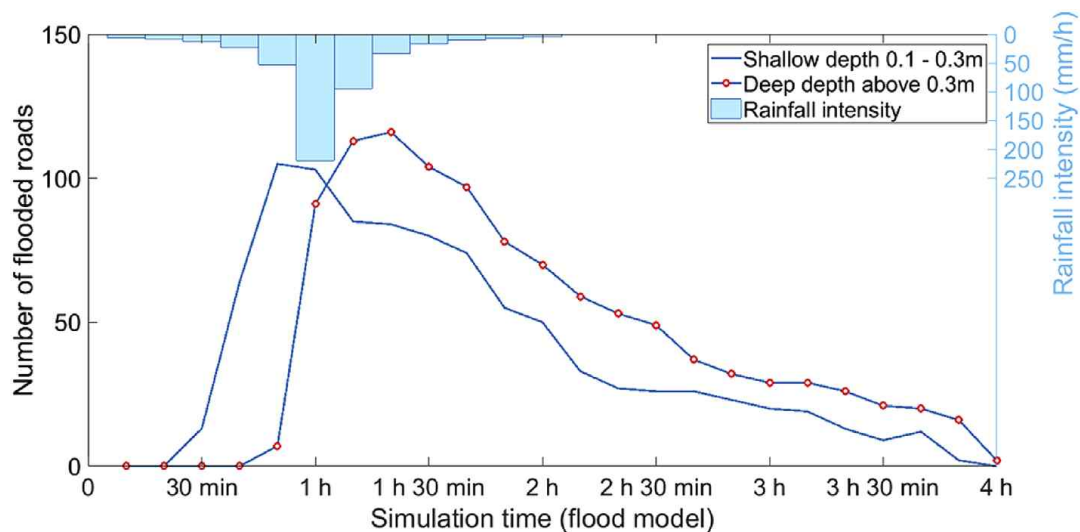
■ 혼잡상태 및 교통량

- 혼잡을 종합적으로 표현한 것은 차량의 집중보다는 상호작용을 고려한 모델로서 중요한 의미가 있다.
- 다양한 차량 유형에 대한 복합적인 설명은 연료 및 온실가스 배출의 전반적인 소비에 필수적인 사항이다.
- 교통의 다른 모드는 또한 이동거리 지연으로 인한 비용 상승으로 나타날 수 있어 연료소비의 현실적인 상황을 나타낸다. 이를 통해 개별 차량별 주행에 미치는 영향을 조사할 수 있다.

3. 응용프로그램

3.1. 교통흐름 모델

홍수모델의 결과는 스페인의 CetAqua이 수행한 PEARL 프로젝트를 통해 제공되었다. 1D-2D 모델은 100년 반환기간에 1의 디자인 이벤트로 실행되었다. 이 모델은 Marbella 중심부와 Sierra Blanca 피에 몬테 산의 배수구단에 이르는 상류를 덮고 있는 지역에서 실행되었다. 이 분석은 레인 게이지 1개와 수위 센서 3개를 이용하였으며, 시뮬레이션은 2016년 홍수사건의 정보를 토대로 보정하였다. 측정 및 사건은 침수된 도로를 나타낸다(PEARL, 2017). 이 모델은 철도 및 고속도로와 같은 대규모 인프라가 독립적인 배수구조를 가지므로 수직 벽으로 보호된다고 가정하였다. 이는 실질적으로 고속도로는 침수로 인해 범람 할 수 없다는 것을 의미한다. 생성된 플러드 맵은 통합도구와 연계되어 속도 감소 또는 폐쇄로 거리를 식별하고, 트래픽 모델에 대한 입력파일을 생성한다. 강우강도 대비 홍수와 침수 도로의 변화를 [그림 2]에 나타낸다. 비교적 적은 양의 강우는 깊은 홍수와 거리의 수 피크치에 비해 강우량의 정도와 거리의 수보다 큰 것을 관찰 할 수 있다. 이러한 현상은 Marbella 구릉지대에서 설명할 수 있으며, 이는 저지대에서 물의 빠른 축적을 나타낸다.

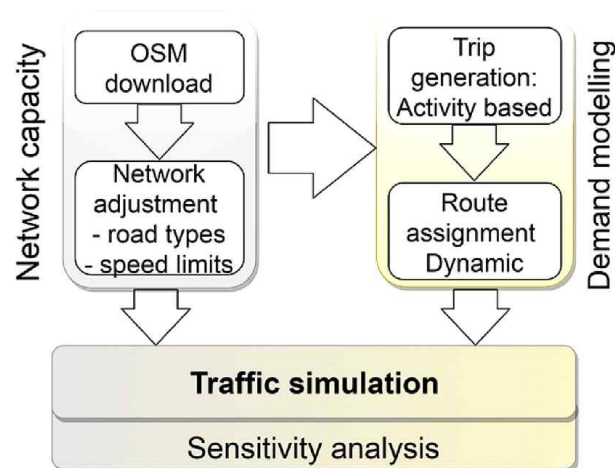


* 자료 : Katya Pyatkova et al., “Assessing the knock-on effects of flooding on road transportation”, Journal of Environmental Management 244 (2019) 48–60, p.51.

[그림 2] 강우강도 대비 홍수와 침수 도로의 변화

3.2. 교통트래픽 모델

모든 교통트래픽 모델은 트래픽 공급과 트래픽 수요의 두 가지 주요 구성요소를 갖는다. 트래픽 공급은 인프라의 용량을 나타낸다. 교통수요는 '운송 서비스 및 교통시설 소비자의 행동'을 나타낸다[4]. 도로 전송 모델링은 이러한 두 구성요소가 시간과 공간에 걸쳐 상호작용하는 방식을 시뮬레이션 하였다. Marbella 지역의 교통모델 구조를 [그림 3]에 나타낸다. 이는 모델의 다양한 요소는 무엇이며, 어떻게 통합되는지를 보여준다. 도로 네트워크는 OSM (OpenStreetMap)2에서 다운로드하고 모든 거리, 규칙, 허용 속도제한 등이 최신의 규약인지를 확인하기 위해 JOSM3에서 필터링 하였다.



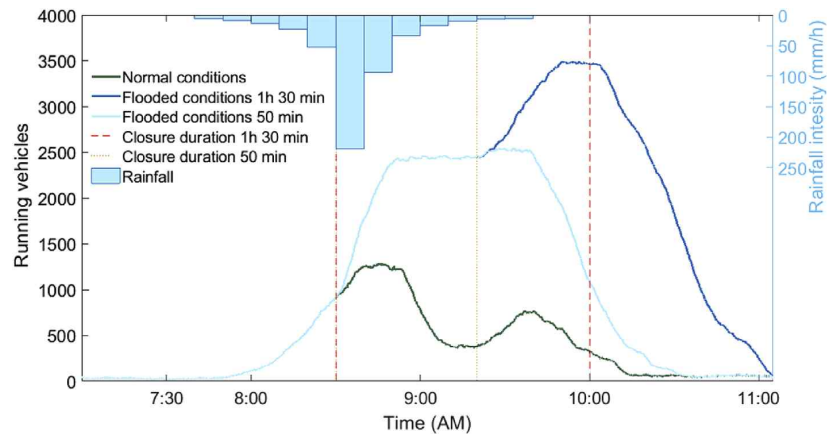
* 자료 : Katya Pyatkova et al., “Assessing the knock-on effects of flooding on road transportation”, Journal of Environmental Management 244 (2019) 48–60, p.51.

[그림 3] Marbella 지역의 교통모델 구조

4. 결과 및 검토

4.1. 정적 통합

운송에 대한 홍수 영향을 해결하기 위해 정적 홍수 시나리오와 동적 홍수 시나리오와 비교한다. 정적인 홍수조건에서의 차량번호를 [그림 4]에 나타낸다. 이 도구는 정적인 홍수조건으로 실행되었고, 강우의 반환기간 중 1분의 1에 대한 최대 홍수 깊이 맵을 사용하였다. 즉, 전체 네트워크에 지정된 고정기간의 플러드 맵 하나만 모델에 플러드로 표시하였다. 도시 환경에서는 도로의 홍수에 대한 표면유출이 필수적이다. 2010년 Chang 등에 의해 두 모델의 가장 최근의 통합은 교량을 달는 데 필요한 채널흐름 방전을 모델링하였으며, 이는 매우 지역화 된 홍수에 초점을 맞춘 것이다.

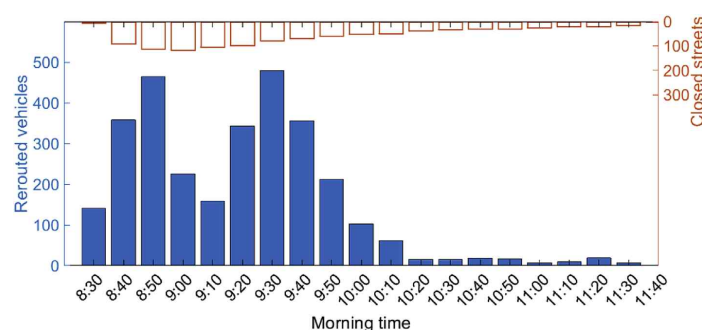


* 자료 : Katya Pyatkova et al., “Assessing the knock-on effects of flooding on road transportation”, Journal of Environmental Management 244 (2019) 48–60, p.54.

[그림 4] 정적인 홍수조건에서의 차량번호

4.2. 동적 통합

홍수 및 전송 모델의 동적 통합은 교통 시뮬레이션에서 홍수 역학과 영향을 나타내도록 설계되었다. 이러한 의도에서 트래픽 모델은 10분마다 홍수 전파 정보로 업데이트 되었다. 총 시뮬레이션 된 홍수 지속시간은 3시간 20분이었기 때문에 홍수 시 운송도구는 거리폐쇄 및 속도감소의 시간적 및 공간적 변화를 제공하기 위해 반복적으로 20회 수행하였다. 경로재설정은 홍수로 인해 차량의 대체 (우회)경로를 선택해야 하므로 교통네트워크에 홍수가 미치는 직접적인 영향을 표현하였다. 따라서 경로가 변경된 차량의 수는 시스템의 초기 활성화 상태로 간주될 수 있다. 홍수로 인해 폐쇄된 도로의 교통수요 변화로 인한 경로변경 구조를 [그림 5]에 나타낸다. 이는 시간이 지남에 따라 경로가 변경된 차량의 변경을 제시한 것이다. 이러한 변화는 도로폐쇄 횟수와 교통수요의 변화에 직접적인 영향을 미친다. 도로폐쇄의 공간적 차원은 경로재설정이 매우 중요하다는 점을 시사하고 있다. 예를 들어, 홍수가 시작될 무렵인 오전 8시30분경에는 수요가 상당했으나, 폐쇄된 거리는 상부 구역에만 국한되어 많은 운송에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있다. 그 결과 주요도로의 홍수로 인해 경로가 변경된 차량이 증가했음을 알 수 있다. 최대 도로폐쇄(오전 9:00)는 하루 중 교통수요의 급격한 변화로 인해 약 200대의 차량에만 영향을 미쳤다. 따라서 폐쇄된 거리의 수는 영향을 받는 차량의 수에 직접 적용되지 않았다.



- * 자료 : Katya Pyatkova et al., “Assessing the knock-on effects of flooding on road transportation”, Journal of Environmental Management 244 (2019) 48–60, p.55.

[그림 5] 폐쇄된 도로의 교통수요 변화로 인한 경로변경 구조

5. 결론

이 연구에서는 홍수와 교통모델을 통합하여 도시교통 네트워크에 대한 홍수의 영향을 평가하는 접근방식을 설명하였다. 그 결과 교통량 감소에 비례하여 혼잡상황이 개선되지 않고 교통시스템에 미치는 영향이 지연될 수 있음을 알 수 있었다. 이 연구는 시스템 성능에 대해서는 적용하지 않았으나, 그 결과는 이전에 설명되지 않은 침수된 운송시스템의 추세와 특성을 충분히 수용할 수 있었다. 교통모델에서 홍수의 특성을 나타내는 것은 필수적인 연구이다. 홍수 및 트래픽 모델의 정적 통합은 홍수가 매우 느리게 발생하고 며칠의 기간이 있는 경우에만 만족스러운 솔루션이 될 수 있음을 확인하였다. 그간의 모든 연구는 이러한 접근방식을 사용했기 때문에 이 연구에서도 같은 방법을 적용하였다. 가능한 한 현실적으로 구성할 수 있는 옵션을 모색하는 것이 목표였으며, 50분 홍수 전파 이벤트에서도 추가 이동시간의 결과는 동적 통합보다 약 10배 더 많았음을 확인하였다. 이러한 사례연구는 홍수 이벤트의 오랜 역사를 고려할 때 정적 통합에 한계가 있음을 확인하였다. 결론적으로 모든 것을 고려할 때, 모델의 정적 통합은 전송시스템이 오랜 기간 홍수를 경험한 동적으로 통합된 교통모델을 기반으로 도로교통에 미치는 홍수영향에 대한 결론이 더 적절하다고 판단되었다.

[참고문헌]

- [1] Drobot, S.D., Benight, C., Gruntfest, E.C., 2007. Risk factors for driving into flooded roads. Environ. Hazards 7, 227–234. Advances and challenges in flash flood warnings.
<<https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.07.003>.>
- [2] Messner, F., Penning-Rowsell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S.M., van der Veen, A., 2007. Evaluating Flood Damages: Guidance and Recommendations on Principles and Methods. (No. T09– 06– 01), T09–06–01.
- [3] Pyatkova, K., Chen, A.S., Djordjević, S., Butler, D., Vojinović, Z., Abebe, Y.A., Hammond, M., 2019. Flood impacts on road transportation using microscopic traffic modelling techniques. In: Simulating Urban Traffic Scenarios, Lecture Notes in Mobility. Springer, Cham, pp. 115–126.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-33616-9_8.>
- [4] Ben-Akiva, M.E., Lerman, S.R., 1985. Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. MIT Press. Butler, D., Davies, J., 2011. Urban Drainage, third ed. CRC Press.

<원문제목> Assessing the knock-on effects of flooding on road transportation

<원문출처> Journal of Environmental Management 244 (2019) 48–60