

환경 및 응용기상 분과 [P-057]

## Graph Neural Network(GNN)을 활용한 대기 조건과 지하철 혼잡도의 시공간 연관성 분석

신혜민, 전현주, 이길

차세대수치예보모델개발사업단

서울은 인구 밀도가 높고 대중교통망이 잘 발달한 대표적인 대도시로, 특히 지하철은 주요 생활·업무 거점을 촘촘히 연결하는 핵심 교통수단이다. 따라서 지하철의 혼잡도는 시민들의 일상적 이동 편의와 직결되며, 혼잡 수준의 변화는 통근 스트레스와 사회적 비용을 크게 좌우한다. 특히 극한 기상 상황(폭염, 한파, 집중호우, 태풍 등)이 발생할 경우, 시민들의 이동 패턴과 교통 수단 선택이 달라지면서 지하철 혼잡도에 직접적인 영향을 미칠 가능성이 크다. 그러나 이러한 기상 조건과 혼잡도의 관계는 단순히 시간대별 승객 수요만으로 설명하기 어려운 복잡한 시공간적 상호작용을 내포한다.

이에 본 연구는 기상 요인이 지하철 혼잡도에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 이를 반영한 예측 모델을 제안하고자 한다. 구체적으로, 자동기상관측장비(AWS)에서 수집한 기상 자료와 서울시 주요 지하철 노선의 혼잡도 데이터 및 주기 정보를 결합하여, 그래프 신경망(GNN) 기반의 시공간 예측 모델을 설계하였다. 제안된 모델은 두 가지 시점(view)을 통해 공간 연관성을 학습한다. Micro-view에서는 동일 시점 내 기상 상태가 유사한 역 간 상관성을 포착하고, Macro-view에서는 시간 지연을 고려한 인구 이동의 전파 특성을 반영한다. 이후, 두 시점에서 추출된 정보를 Cross-Attention Fusion 모듈로 통합하고, GRU 기반 시계열 예측기를 통해 향후 12시간의 상·하행 혼잡도를 산출하였다.

실험 결과, 모든 노선에서 결정계수( $R^2$ )가 0.8 이상으로 전반적으로 우수한 성능을 보였으며, 특히 도심 밀집 구간 및 환승역에서는 0.92 이상의 높은 정확도를 기록하였다. 또한 시간당 60mm 이상의 폭우 상황에서도 0.8 이상의 성능을 유지하였고, 계절별 기온 변화와 태풍에 따른 바람 세기 증가 상황에서도 안정적인 예측 결과를 확인하였다. 이는 기상 조건과 도시 내 인구 흐름의 시공간적 특성을 동시에 반영함으로써 기존 모델 대비 예측 정확도를 향상시켰음을 보여준다. 본 연구는 향후 지능형 교통 관리 체계 구축을 위한 기반을 제공하며, 도시 대중교통 운영 효율성과 시민 안전 확보에 기여할 수 있음을 시사한다.

**Keywords:** 딥러닝(Deep Learning), 지하철 혼잡도, AWS관측자료, 극한기상현상