

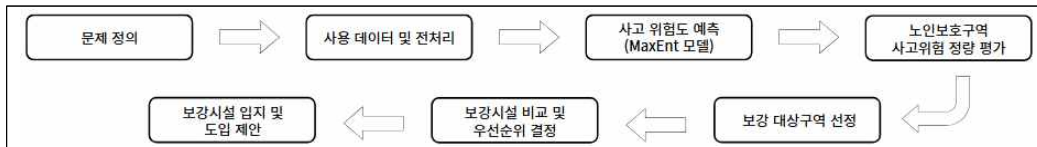
공모명: 시로 찾은 고위험 구역, 노인 보행의 길을 열다

I. 분석개요

○ 분석 목적

- MaxEnt 기반 공간예측 모델을 활용하여 노인보호구역의 사고 위험도를 정량화하고, 효과적인 보강시설 입지를 도출하는 것임
- 실제 사고 이력 기반의 노인보호구역 위험도 정량 평가
- 사고 영향 공간환경 요인 분석
- 위험도가 높은 노인보호구역 선별, 해당 구역의 보강 필요성 진단
- 노인 보행자의 시인성, 반응성, 접근성 문제를 고려한 맞춤형 보강시설의 입지선정

※ 사고 위험도 예측 결과를 기반으로 노인보호구역의 위험 수준을 정량화하고, 그 결과를 바탕으로 보강시설 입지까지 연결한 점은 정책 실효성 측면에서 의미 있는 시도임



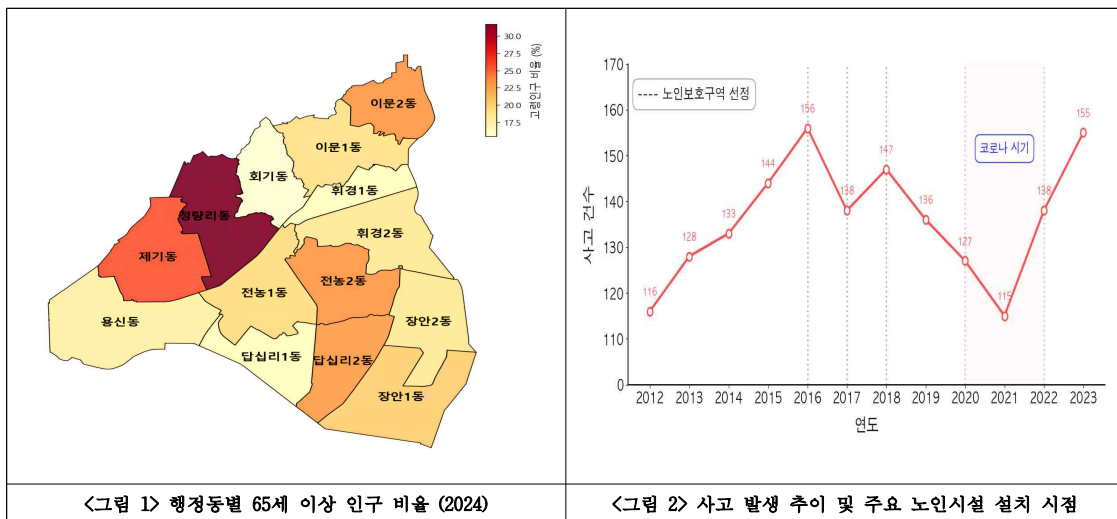
○ 배경 및 필요성

- 노인 인구 증가

- 서울 도심 내에서도 동대문구는 고령 인구 비율이 빠르게 상승 중이며, 특히 청량리·제기동 일대의 65세 이상 비율은 25% 이상 상회함 (그림 1 참조)
- 「KOSIS 중장기 인구 추계」에 따르면, 동대문구의 고령 인구는 지속적으로 증가할 것으로 전망되며, 보행 안전에 대한 중장기적·선제적 대응이 필요함

- 노인 보행자 사고 증가

- 지난 10년간의 교통사고 통계에서 노인 보행자 사고는 꾸준히 높은 비중을 차지해 왔고, 이에 따라 노인보호구역 지정 확대되었으나, 실효성 관련 지적 계속됨 (그림 2 참조)



- 기존 정책의 한계

- 동대문구는 CCTV 설치 확대, 교통안전 캠페인, 전통시장·보행 밀집 지역 보호구역 지정 등 다양한 안전 정책을 추진했으나, 아래와 같은 문제로 실효성이 부족함
- 사고다발 지역과 노인보호구역 간 공간적 불일치
- 시설 장비 미설치, 형식적 운영

YTN (2024.01): “있으나 마나 한 보호구역”

사이언스투데이(2024.09): “실버세대를 위한 교통정책은 없음. 길 위의 위태로운 노인들”

- 노인 시인성·운동능력 저하

- 야간 시력 저하
- 65세 이상 노인은 25세 대비 약 16배 많은 빛이 필요하며, 젖은 노면에서는 시야 거리가 32% 추가로 감소
- 반응속도 저하
- 돌발 상황 대처 시 고령자의 반응 시간은 1.4초로, 젊은층(0.7초)에 비해 약 2배 느림

※ 기존 정책만으로는 한계 존재하며, 고령자 보행 안전 확보 어려움

II. 데이터 개요

○ 사용 데이터

- **교통환경 요소**(버스정류장, 교차로, 횡단보도 등) : 보행 위험성과 이동 환경 반영
- **안전·생활시설**(CCTV, 병원, 전통시장 등) : 유동 인구 및 감시 체계와 관련
- **노인복지시설** : 고령자 밀집 지역을 나타내며, 사고 가능성이 높은 지점 탐지에 활용

○ 데이터 전처리

- 전체 변수는 20×20 격자로 공간화되며, 변수 값은 로그 변환 또는 개수 기반 처리함
- 각 변수는 CSV 좌표 데이터를 기반으로 Point → Raster → ASCII(.asc) 형태로 변환함

<표 1> 사용 데이터

요인	단위	정의
교통환경	개수	격자 내 버스정류장 수
		격자 내 가로등 수
		격자 내 보행등 수
		격자 내 교차로 수 (단일로, 3거리, 4거리)
		격자 내 횡단보도 수 (일반, LED 바닥 신호등)
		격자 내 차량 출입구 수
안전 및 생활시설	개수	격자 내 CCTV 수 (불법주정차, 과속 단속)
		격자 내 지정된 노인보호구역 수
	로그	격자 내 병원 및 의원
	커널 밀도	격자 내 전통시장
노인복지시설	개수	격자 내 노인 시설 수 (돌봄, 일자리, 여가)

Ⅲ. 분석방법 개요

○ 사고 위험도 예측 (Maximum Entropy Model)

- 모델 설명

- 본 단계의 목표는 노인 보행자 교통사고의 공간적 발생 확률을 예측하여, 향후 노인보호구역 위험도 평가 및 보강시설 정책 수립을 위한 기초자료를 구축함
- MaxEnt는 발생 지점(presence-only)과 환경변수 간의 공간적 관계를 학습하여, 가장 무작위적인(엔트로피가 최대인) 상태를 기반으로 사고 발생의 확률 분포를 추정함

$$P(x) = \frac{1}{Z_{\exp}} \left(\sum_i \lambda_i f_i(x) \right)$$

- $f_i(x)$: 환경변수 i 의 특징 함수 (예: CCTV 개수, 인구 비율 등)
- λ_i : 해당 변수의 가중치 (모델 학습을 통해 추정됨)
- Z : 정규화 상수

○ 노인보호구역 별 사고 위험도 산출 및 정량 평가

- 평가 개요

- MaxEnt 결과를 바탕으로, 각 노인보호구역 중심에서 반경 300m 및 400m의 buffer를 생성하여 위험도를 정량적으로 산출함
 - 300m는 보행 도달 범위
 - 400m는 사고 포착 범위
- ※ 400m buffer 간 중첩(overlap)은 면적 가중 평균 방식을 통해 보정함

- 정량 평가 방법

• 단순 평균 (Simple Mean)

- Buffer 영역 내 포함된 모든 Raster cell의 사고 확률값을 단순 평균함

$$\overline{P}_{\text{단순}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

• 면적 가중 평균 (Area-Weighted Mean)

- 각 cell의 사고 확률값에 Buffer와의 교차 면적 비율을 가중하여 평균함

$$\overline{P}_{\text{가중}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

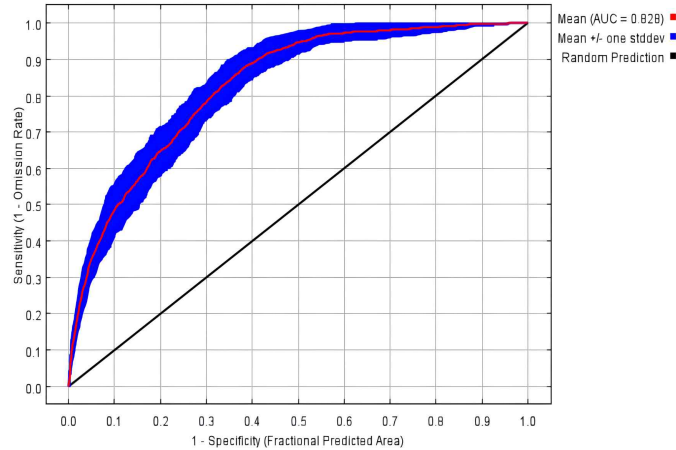
• 최종 산출 방식

- 각 노인보호구역의 사고 위험도는 단순 평균과 면적 가중 평균의 산출 평균값으로 계산되며, 0~1 범위의 정량적 점수로 표현

IV. 분석 결과 및 해석

○ 예측 성능 평가

- MaxEnt 모델의 AUC는 $0.828(\pm 0.026)$ 로 양호한 예측력을 보임(그림 3 참조)



〈그림 3〉 ROC 곡선 및 AUC 값

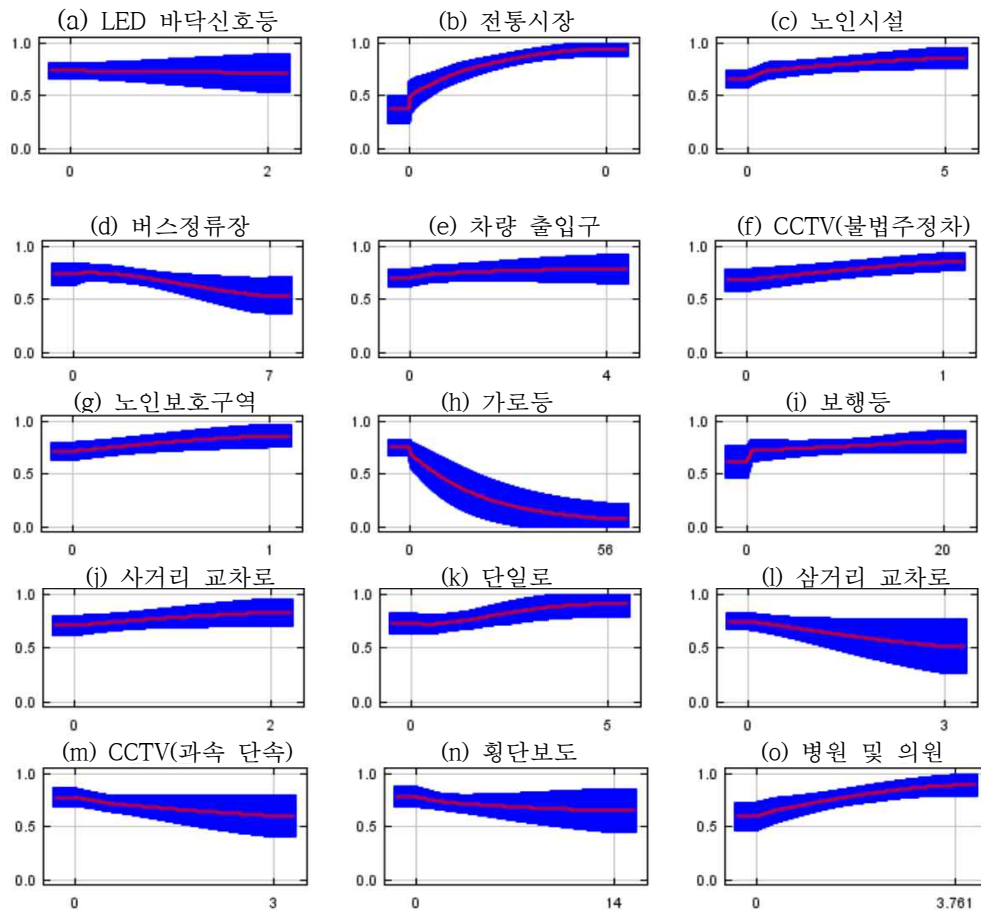
○ 변수 중요도 및 반응곡선 분석 (상관관계 기반)

- 표 2 설명

- 전통시장 · 병원 및 의원 · 보행등 등이 사고 예측에 높은 기여도를 보임
- LED 바닥 신호등 · 삼거리 교차로 등은 기여도는 낮으나 이후 반응곡선에서 예방 효과 시사함

〈표 2〉 Permutation Importance 분석 결과 (상위 15개 변수)

Rank	Variables	Permutation Importance (%)
1	전통시장	26.5
2	병원 및 의원	12.3
3	보행등	11.8
4	CCTV(불법주정차)	8.4
5	노인복지시설	7.5
6	단일로	6.6
7	버스정류장	4.6
8	노인보호구역	4.1
9	가로등	3.6
10	삼거리 교차로	3.4
11	횡단보도	2.9
12	차량 출입구	2.3
13	CCTV(과속 단속)	2.1
14	삼거리 교차로	2.1
15	LED 바닥 신호등	1.9



<그림 4> 변수별 반응곡선

○ 주요 사고 위험 요인

- 전통시장 · 병원 및 의원 · 노인시설
 - 해당 시설 수가 많은 지역에서 예측된 사고 발생 확률 상승함
- CCTV(불법주정차) · 단일로
 - 개수 증가 시 예측된 사고 발생 확률 상승함

○ 잠재적 보호 요인

- LED 바닥 신호등
 - 설치 수가 증가할수록 예측된 사고 발생 확률 감소함
- 가로등
 - 일정 간격 설치 지역에서 예측된 사고 발생 확률 감소함
- CCTV(과속 단속)
 - 설치 수가 많을수록 예측된 사고 발생 확률 감소함
- 삼거리 교차로
 - 사거리 대비 교통 복잡도가 낮아 개수 증가 시 예측된 사고 발생 확률 감소함

○ 종합해석

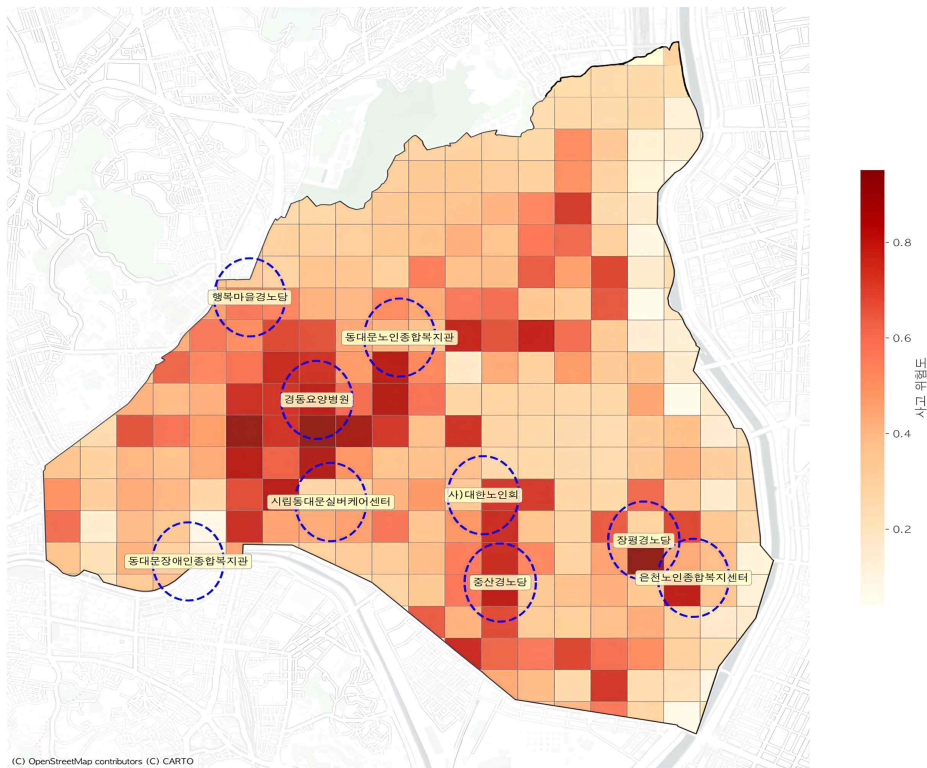
- 구조적 위험 요인을 개선하고, 동시에 **시인성 확보**와 **차량 속도 저감**을 위한 인프라를 함께 강화해야 함

V. 보강 대상 노인보호구역 도출

- 예측된 사고 위험도가 높은 노인보호구역 중 평균 위험도 점수가 상위인 구역을 선정하여 시설 보강 우선순위를 도출함
- 가장 즉각적인 개선 효과가 예상되는 구역을 우선적으로 선정하기 위해 평균 점수 상위 3개 구역을 선정함
 - 이들 구역은 <그림 5>의 고위험 셀(붉은색)과 중첩되어 있어, 보강이 필요함

<표 3> 사고 위험 상위 노인보호구역 (평균 예측 점수 기준)

시설명	순위	평균 점수
경동요양병원	1	0.777
중산경로당	2	0.603
장평경로당	3	0.535



<그림 5> 노인보호구역 분포도

VI. 보강시설 선정

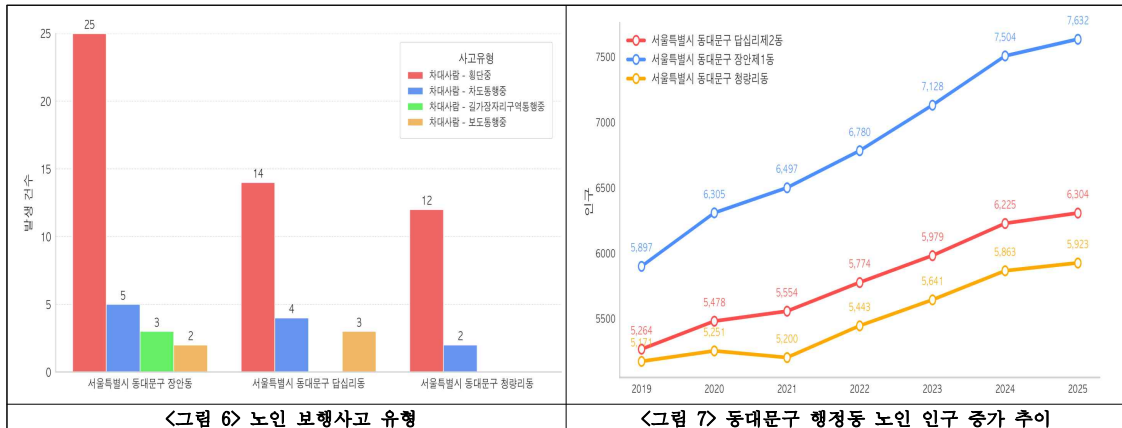
○ 보강시설 선정 배경

- 사고 분석 (2021~2023년)

- 선정 대상 노인보호구역이 포함된 행정동(장안동, 답십리동, 청량리동) 내 노인 보행자 사고의 50% 이상이 ‘횡단 중’ 발생함 (그림 6 참조)

- 대상 문제

- **시인성 저하**
 - 야간·악천후 시 고령 보행자의 시인성 저하로 차량 인지·반응이 지연됨
- **걸음걸이 특성과 신호체계 한계**
 - 고령 보행자의 평균 횡단 속도: 0.94-1.0 m/s(신호 주기 대비 부족 → 횡단 중도 정지 위험↑)
- **대상 지역 고령 인구 증가**
 - 2019~2025년 장안·답십리·청량리동의 65세 이상 인구가 지속 증가하여 보행 안전 취약 계층이 확대됨 (그림 7 참조)
- **종합 판단**
 - 위 세 요인이 복합 작용하므로, 노인 보행자의 안전을 선제적으로 확보하기 위해 맞춤형 보행 안전 보강시설 도입이 필요함



○ 보강시설 선정 범위 및 기준

- 한정 범위

- LED 바닥 신호등 : 기존 일반 횡단보도 → 모듈 교체 방식
- CCTV(과속 단속) : 신규 추가 설치

- 선정 기준 요약

〈표 4〉 보강시설별 비교표

구분	LED 바닥 신호등	CCTV(과속 단속)
사고 예방 기여도	보행자 시인성 향상 야간·악천후 환경 대응에 효과적	차량 속도 저감 → 사고 억제 효과
설치 용이성	기존 횡단보도 + 모듈 교체 방식 → 설치 용이	주변 기둥 필요, 설치 제약 있음
비용	단일로 기준 약 1,000~1,200만 원 (디오전자 물건 납품 기준)	약 2,500~3,500만 원 이상 (조달청 평균 단가 기준)
유지관리	유지보수 간단, 관리 비용이 적음	지속적인 유지·운영 비용 발생
우선순위	1순위	2순위

※ LED 바닥 신호등은 설치 단가가 과속 단속용 CCTV(약 3,000만 원)의 절반 수준인 1,000~1,200만 원에 불과하며, 주요 사고 유형인 ‘횡단 중 사고’ 예방에 직접적으로 효과가 있어 1순위로 선정함

○ 보강시설 선정 절차

- 사고 확률 기반 고위험 셀 도출

- 선정된 3개 노인보호구역 반경 300m 내 격자 셀 중, MaxEnt 예측 사고 확률이 가장 높은 셀을 '고위험 셀'로 선정함

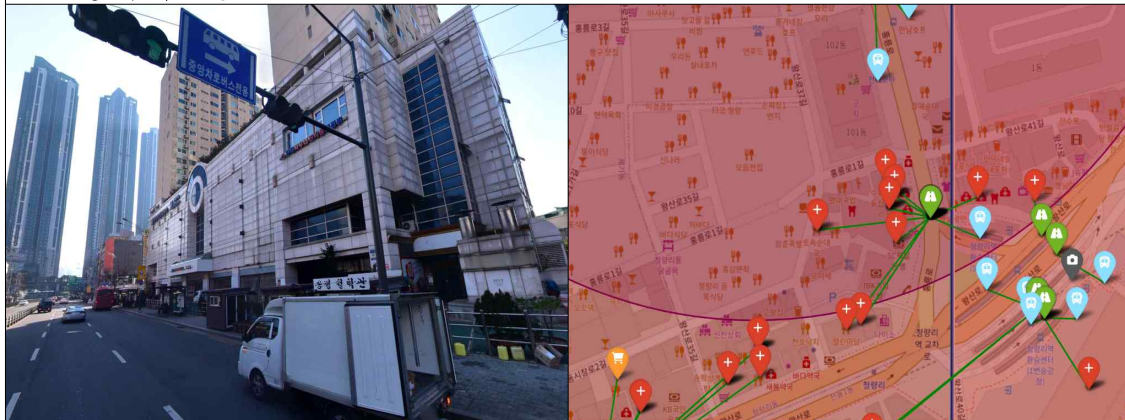
- 1순위 : 횡단보도 보강 대상 선정 (거리 기반)

- BallTree 알고리즘을 활용하여 기존 시설물과 횡단보도 간 최단 평균 거리를 계산함
- 기존 시설물과 횡단보도 간 평균 거리가 가장 짧은 지점을 보강 대상을 선정함

- 2순위 : CCTV(과속 단속) 보강 대상 선정 (설치 유무 기반)

- 고위험 셀 내 기존 CCTV(과속 단속) 설치 여부를 조사함
- CCTV가 미설치된 셀을 우선 대상으로 하여, 고위험 셀 내 신규 설치 지점을 결정함

1. 보강 구역 : 경동요양병원



<그림 8> Naver Street Map

<그림 9> 보행 인프라 인접도 분석도

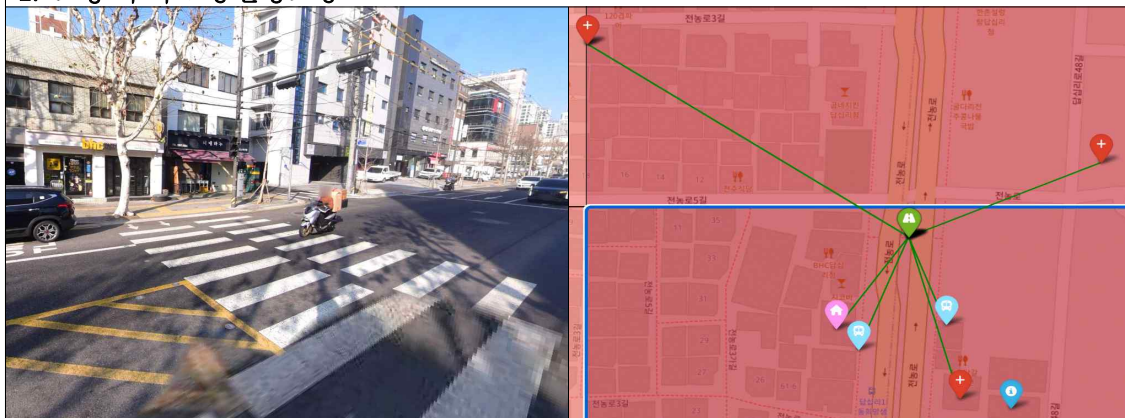
주소: 서울 동대문구 홍릉로 18 (청량리동)

보강시설: CCTV(과속 단속)

사유:

고령자 통행량이 많은 사거리 교차로에 위치하고 병원·전통시장 등이 밀집해 유동 인구가 많으며, 기존 LED 바닥 신호등 등 다양한 보호인프라가 있으나 CCTV(과속 단속) 수가 적어 설치가 보완책으로 적절함

2. 보강 구역 : 중산경로당



<그림 10> Naver Street Map

<그림 11> 보행 인프라 인접도 분석도

주소: 서울 동대문구 전농로 65-1 (답십리동)

보강시설: LED 바닥 신호등

사유:

노인복지시설과 병원의 중심의 보호구역으로, 주변에 버스 정류소가 있음에도 보행 수요 대비 보호 인프라가 부족하여, 시인성 확보와 신속한 대응이 가능한 LED 바닥 신호등 설치가 적절함

3. 보장 구역 : 장평경로당

	
<p><그림 12> Naver Street Map</p>	<p><그림 13> 보행 인프라 인접도 분석도</p>
<p>주소: 서울 동대문구 답십리로 255 (장안동) 보장시설: LED 바닥 신호등 사유: 전통시장·병의원·노인시설 등이 인접해 보행 수요가 많은 지역이나, 보호 인프라가 부족하여 사고 예방과 시인성 강화를 위해 LED 바닥 신호등 설치가 보완책으로 적절함</p>	

VII. 결론

본 연구는 ‘**형단 중**’ 사고가 높은 비중을 차지함에 따라, 시인성 확보와 즉각적인 대응이 가능한 **LED 바닥 신호등**을 우선 설치해야 할 핵심 보장시설로 선정하고, 과속 억제 효과가 검증된 **과속 단속용 CCTV**는 보완적 설치가 필요한 2순위 시설로 판단하였음

○ 활용 방안

- LED 바닥 신호등 및 CCTV(과속 단속) 설치 : **저비용·고효과** 인프라로, 위험 예측 지수와 보행량을 기준으로 우선 도입, 이를 통해 노인 보행자의 안전을 실질적으로 강화할 수 있음
- 추가로, LED 바닥 신호등과 연계한 보행신호 음성 안내 보조장치를 설치하고, 교차로 구간에는 Curb Extension을 도입하면 보행 약자를 위한 안전한 환경 조성이 가능함

○ 기대효과

- 노인 보행자의 보행 안전성 전반 강화
- 의료비, 재활비 절감 등 사회적 비용 절감
- 정책 예산 운용의 효율성 강화
- 타 자치구 및 전국 확산 시 모범 사례 제시

○ 한계 및 후속 과제

- 인구 데이터 미반영 : 고령 인구 분포를 고려하지 못해 위험도 보정에 한계 → 추후 인구 기반 보정 필요
- 사고 기록 한계 : 2023년까지의 자료만 활용 → 최신 사고 데이터 갱신 후 모델 재학습 및 성능 평가 진행
- 정책 대상의 제한성 : 상위 3개 구역에만 대책이 집중되어, 다른 위험 구역 대응 미흡 → 전체 노인보호구역 대상 단계적 보강계획 수립 예정

제안된 대책을 동대문구에 적용할 경우, 노인 보행자의 안전 수준이 크게 향상되고, 이에 따른 사회적 편익 또한 증대될 것으로 기대됨

IX. 활용 데이터 및 참고문헌

○ 활용 데이터

출처	데이터 항목
공공데이터포털	<ul style="list-style-type: none"> - 서울시 지하철역 위·경도 정보 - 전국 전통시장 표준데이터 - 동대문구 바닥 신호등 현황
서울 열린 데이터 광장	<ul style="list-style-type: none"> - 동대문구 노인보호구역 위치정보 - 사회복지시설(노인 여가, 재가 노인, 일자리 지원) - 서울시 교차로 관련 정보 - 차량 출입구 정보 - 버스정류장 위치정보 - 병의원 위치정보 - 대로변 건물목 위치정보 - 동대문구 무인 교통 단속카메라 정보 - 보행 등 위치 좌표 현황 - 가로등 위치정보
KOSIS 국가통계포털	<ul style="list-style-type: none"> - 중장기 인구 추계
TASS 교통사고 정보 개방시스템	<ul style="list-style-type: none"> - 보행 노인 사고 다발지 위치정보 - 보행 노인 사고 건수
스마트 치안 빅데이터 플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> - 서울시 CCTV 데이터
행정안전부	<ul style="list-style-type: none"> - 행정동별 노인 인구

○ 참고문헌

- Kim, S., Choi, S., & Kim, B. H. S. (2025). Analysis of factors affecting pedestrian safety for the elderly and identification of vulnerable areas in Seoul. *Accident Analysis & Prevention*, 211, 107878. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107878>
- Kim, D. (2019). The transportation safety of elderly pedestrians: Modeling contributing factors to elderly pedestrian collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 131, 268-274. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.009>

○ 뉴스

- 유대형. (2019년 5월 21일). 노인질환 돌발 상황 대처 능력 절반 '뚝'... 운전속도 줄여야. 헬스조선.

○ 단가 자료

- 공공 혁신조달 플랫폼

<https://ppi.g2b.go.kr:8914/sm/dm/sch/searchGoodsDetail.do?invGdsIdntNo=00002126>

- ㈜디오전자 : LED 교통신호등 및 LED 바닥형신호등

<https://doelect.co.kr/led-%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%8B%A0%ED%98%B8%EB%93%B1-%EB%B0%8F-led-%EB%B0%94%EB%8B%A5%ED%98%95%EC%8B%A0%ED%98%B8%EB%93%B1/>