

THE MAGAZINE 2025

KOREAN SOCIETY OF HAZARD MITIGATION

2025.09 통권 120호
Vol.25 No.4

한국방재학회지

특집

도시 구역 지하차도 침수 해석을 위한 HEC-HMS 적용성과 라우팅 기법 검토
드론-LiDAR 기반 고속도로 비탈면 토석류 위험지역 조사강화 및 대책시설 설치 사례



www.kosham.or.kr



한국방재학회
Korean Society of Hazard Mitigation

계룡, 건축의 경계를 넘어 삶을 창조하다.

건축의 경계를 넘어
상상을 가능하게 만드는 힘

우리는 창조합니다
우리는 계룡건설입니다

WE CREATE



CONTENTS

한 국 방 재 학 회 지

통권 120호 Vol. 25 No.4 2025.09

학회 임원 명단

회 장 임남형

부회장 김정중 이태형 오정호 왕순주

운동근 김희진 신희경 한택희

김홍열 김태웅 성기환 김상단

이 사 강준석 고재신 공정식 김경주

김기욱 김민순 김병식 김서준

김승선 김영민 김윤태 김응석

김이형 김장경 김종찬 김준호

김진욱 김현기 김현기 김호범

남원호 류재희 배현웅 백천우

손영진 송재현 송창근 송창영

신경무 신현석 신호성 양동민

양준모 오윤경 원정훈 윤선권

윤여준 윤진욱 이강돈 이경도

이문세 이병재 이상은 이승엽

이양재 이영주 이정민 이정호

이종인 이지성 이진영 이호준

임정열 임학수 경건희 경주철

조범연 조홍빈 지창환 채 진

한우석 허동혁 호재호 홍승진

감 사 신승호 최재순

편집위원회 위원단

위원장 윤형철

간 사 박정준 유민택

위 원 김병규 김상엽 김선중 김세진

김인철 김태웅 김현준 나우영

박새롬 송호민 안이삭 유일환

이동민 이상현 이슬기 이윤우

이정화 이준석 이준영 이진영

이현진 이호엽 이호범 전상훈

허태민 홍원택 황순규

특집

002 도시 유역 지하차도 침수 해석을 위한 HEC-HMS 적용성과 라우팅 기법 검토

김진혁 · 전환돈 · 이정민

011 드론-LiDAR 기반 고속도로 비탈면 토석류 위험지역 조사강화 및 대책시설 설치 사례

곽현준 · 이진웅 · 박정관

연구실 소개

017 전북대학교 응용 콘크리트 공학 연구실 유일환

세미나 및 국제회의

023 ANCRISST 2025 & ZHITU 2025 학회 참석기 박영서

한국방재학회 뉴스

027 신입회원, 입회안내, 입회신청서, 광고신청서, 논문집목차 사무국

037 한국방재학회 국문논문집, 한국방재학회지 투고안내 사무국

격월간 한국방재학회지 | 2025년 9월호(통권 120호) | 발행인 임남형 | 편집위원장 윤형철 | 편집인 김우태
발행일 2025년 9월 30일 | 발행처 사단법인 한국방재학회 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관
1관 1014호 | 문의처 사무국 | 전화 (02)567-6311~2 | Email master@kosham.or.kr

편집 · 인쇄 (주)에이퍼브 02-2274-3666

이 학회지는 K-water의 일부 지원금으로 제작되었음.

도시 유역 지하차도 침수 해석을 위한 HEC-HMS 적용성과 라우팅 기법 검토



김진혁

서울과학기술대학교
건설시스템공학과 석사과정
wlsgr306532@gmail.com



전환돈

서울과학기술대학교
건설시스템공학과 정교수
hwjun@seoultech.ac.kr



이정민

LH 토지주택연구원
국토공간연구실
도시기후환경연구센터장
andrew4502@lh.or.kr

요지

과천시 000 지하차도 및 인접 도로 유역을 대상으로, 복잡한 관망도 없이 HEC-HMS를 활용하여 지하차도 유입수문곡선을 산정하고 도달시간(time of concentration, T_c) 산정 공식과 라우팅 방법에 따른 민감도를 분석하였다. 대상 강우는 50년 빈도의 1시간 지속 강우(총 강우량 89.3 mm)로, Huff 1분위 분포를 적용하여 1분 단위 강우시나리오를 구성하였다. 도로의 종단경사에 따라 유역을 다수의 소유역으로 구분하고, 6가지 경험공식(서경대, Kinematic wave, Kerby, Sueishi, Izzard, Kirpich)을 통해 각 소유역의 T_c 를 산정하였다. 유출 해석에는 Clark 단위도법을 적용하고, 손실 산정에는 SCS Curve Number 방법($CN=98$)을 사용하여 대부분의 강우가 불투수 지표면 유출로 전환되도록 모의하였다. 소유역 간의 흐름에는 3가지 라우팅 방법(Lag & K, Muskingum-Cunge, Kinematic wave)을 적용하여 총 18가지 시나리오별 유입수문곡선을 산정하였다. 그 결과, T_c 산정 공식과 라우팅 방법의 선택에 따라 유입수문곡선의 형상은 뚜렷한 차이를 보였다. 특히 Lag & K 기법은 계산이 단순하면서도 T_c 변화에 따른 유출 곡선의 변화를 직관적으로 드러내어, 소규모 도시 유역의 민감도 평가에 효과적임을 확인하였다. 반면 Muskingum-Cunge와 Kinematic wave는 물리적으로 정밀한 모의가 가능하지만, 작은 유역에서는 요구되는 자료와 계산 복잡도가 크고, 결과 차이도 제한적인 것으로 나타났다. 따라서 실무적으로는 Lag & K 기법을 활용하여 다양한 T_c 시나리오를 검토하고, 위험 평가 시에는 보수적인 범위를 함께 제시하는 것이 타당하다는 결론을 제시하였다.

핵심용어: 도달시간, 하도 라우팅, 지하차도 침수

1. 서론

최근 기후변화로 국지성 집중호우의 빈도와 강도가 증가하면서 도심 지역의 침수 피해가 빈발하고 있다. 특히 지하차도는 주변보다 낮은 지형적 특성과 제한적인 배수 능력으로 인해 집중호우 시 단시간 내 침수가 발생하기 쉽다. 실제로 부산 초량제1지하차도 침수사건(2020년 7월 23일, 시간당 87 mm 강우로 2.5m 수심에 이르러 사망 3인) 등 다수의 지하차도 침수 사고가 보고된 바 있다. 이러한 반복되는 사고는 지하차도 침수 위험에 대한 예측 및 대응의 중요성을 강조하며, 조기 경보 시스템 구축과 사전 대비책 마련이 시급한 실정이다.

일반적으로 도시침수는 XP-SWMM과 같은 복잡한 관망 모형을 통해 해석되지만, 지하차도 침수의 주요 원인이 도로 유역 내 지표 유출인 경우에는 보다 단순한 수문 모형으로도 충분히 평가가 가능하다. 본 연구에서는 미국 육군공병단이 개발한 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System)를 활용하여, 과천시 000 지하차도 유역을 대상으로 강우-유출 과정을 모의하였다.

HEC-HMS는 다양한 강우-유출 변환 모형과 하도 라우팅 방법을 제공하며, 매개변수 변화에 따른 수문곡선의 비교분석에도 적합하다. 본 연구에서는 불투수율이 매우 높은 지하차도 유역의 특성을 고려하여 SCS Curve Number(CN=98)를 적용하였고, 유출 변환에는 Clark 단위유량법을 사용하였다. 또한 유역의 도달시간(Time of Concentration, Tc)은 6가지 경험공식(서경대, Kinematic wave, Kerby, 스에이시, Izzard, Kirpich)을 적용하여 산정하고, 라우팅 방법은 Lag&K, Muskingum-Cunge, Kinematic wave를 비교하였다.

본 연구의 목적은 동일한 강우 조건에서 도달시간 산정 공식과 라우팅 방법의 조합에 따라 달라지

는 침두유량, 침두도달시간을 비교·분석하고, 이를 통해 HEC-HMS 모형의 실무 활용 가능성과 민감도를 평가하는 데 있다.

2. 대상 지역 및 분석 방법

2.1 대상 유역 개요

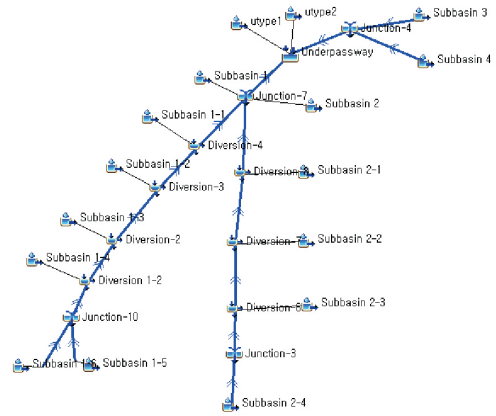
과천시 000 지하차도는 진입부의 도로 표고가 주변 지표면보다 낮아, 집중호우 시 주변 유역의 빗물이 지하차도로 집중될 우려가 있다. 그림 1-(a)와 같이 지하차도 유역의 분수계는 도로를 따라 형성되어 있으며, 전체 유역면적은 약 0.149 km²이다. 유역을 구성하는 토지피복의 대부분이 도로포장 및 불투수면으로, 직접유출 비율이 매우 높다. 유역을 평균 경사와 흐름방향을 고려하여 총 16개의 소유역으로 분할하였으며, 그림 1-(b)와 같이 각 소유역은 지하차도로 수렴하는 도로 종단선을 따라 배치된다. 소유역별 면적은 약 0.0029~0.0214 km² 범위이며, 등고선과 도로 종단면 자료로부터 추정된 평균 경사는 0.0005~4% 수준으로 일부 구간은 거의 평지에 가깝다. 지하차도 바로 상류에는 U-type이 좌우 2개소 설치되어 도로면 유출수를 지하차도 진입부로 모으고 있었다. 표 1은 HEC-HMS 모형 구축을 위한 분할된 도로의 제원을 나타내었다.

2.2 설계강우 및 유출모형 구성

설계강우는 지하차도 방재계획을 기반으로 50년 빈도 1시간 지속의 호우사상으로 선정하였다. 총 강우량은 89.3mm이며, Huff 분포 1분위를 적용하여 시간에 따른 강우 분포를 산정하였다. Huff 1분위란 강우지속시간을 4등분하였을 때 초기 1/4 구



(a) 연구대상 유역



(b) HEC-HMS를 통해 구축한 유출모형

그림 1. 연구대상 유역 및 유출모형 구축도

표 1. 분할된 도로의 제원

도로	길이(m)	너비(m)	면적(km ²)	slope(M/M)
subbasin1	382.67	19.25	0.0074	0.0087
subbasin1-1	503.30	19.25	0.0097	0.0005
subbasin1-2	798.55	24.50	0.0196	0.0148
subbasin1-3	638.97	13.25	0.0085	0.0041
subbasin1-4	661.96	17.00	0.0113	0.0193
subbasin1-5	420.91	9.50	0.0040	0.0350
subbasin1-6	387.92	9.50	0.0037	0.0283
subbasin2	375.38	23.00	0.0086	0.0084
subbasin2-1	485.38	19.25	0.0093	0.0005
subbasin2-2	767.68	20.75	0.0159	0.0153
subbasin2-3	457.01	13.25	0.0061	0.0081
subbasin2-4	1258.73	17.00	0.0214	0.0237
subbasin3	788.51	9.50	0.0075	0.0040
subbasin4	795.57	9.50	0.0076	0.0030
U-type 1	264.15	19.75	0.0052	0.0400
U-type 2	148.20	19.75	0.0029	0.0275

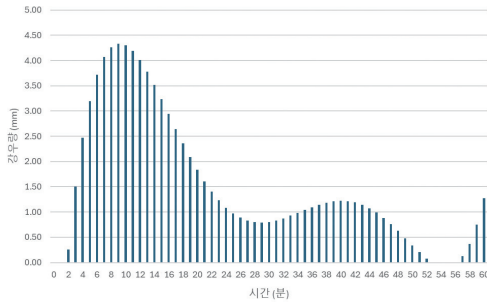


그림 2. 강우주상도

간에 최대 강우량이 집중되는 유형이다. 본 연구에서는 1시간을 1분 간격으로 세분화하여 분포곡선을 적용함으로써, 최대 1분 강우량이 약 4.33 mm에 달하는 강우자료를 생성하였다. 그림 2와같이 생성된 강우주상도는 HEC-HMS 모형에 강우 데이터로 입력되었다.

유출 해석에는 HEC-HMS를 사용하였으며, 16개 소유역 각각에 대해 Clark 단위도법을 적용하였다. 이 방법은 유역에 내린 강우가 실제 유출로 변해 유역출구에 도착하기까지의 과정을 두 단계로 나누어 설명한다. 첫째, 유역을 물이 도달하는 시간에 따라 등시간선으로 나누고, 각 시간마다 얼마나 많은 면적에서 유출이 도달하는지를 합산한다. 이를 통해 강우가 유출로 바뀌어 들어오는 기본 곡선을 만든다. 둘째, 이렇게 얻어진 곡선을 유역의 저류효과를 나타내는 선형 저류지를 통과시켜, 유출이 실제보다 조금 지연되고 첨두가 낮아지도록 조정한다. 이때 저류상수 K 값이 클수록 첨두가 더 완만해진다. 요약하면 Clark 방법은 “시간지체 + 저류확산”의 조합으로 유역 유출을 모형화하며, 유역의 지형과 형상에 따른 유출 특성과 저류효과를 간결한 두 개의 파라미터(T_c , K)로 표현한다.

소유역별 도달시간 T_c 는 여러 경험공식을 통해 산정하였다. T_c 산정에 사용된 공식은 ① 환경부 지침(2019)에서 한강권 소하천 자료를 회귀분석해 개발한 서경대 공식, ② 미국 SCS 등에서 제

안된 Kinematic wave 공식, ③ 고전적인 Kirpich 공식(미국, 1940), ④ 일본의 도시소하천 실험에 기반한 스에이시(Sueishi) 공식, ⑤ Kerby 공식(미국, 1959), ⑥ Izzard 공식(미국, 1946) 이상 6종이다. 이들 공식은 유역길이(L), 고도차(H)나 경사(S), 매닝조도계수(n), 강우강도(I) 등 소유역의 특성과 강우조건을 변수로 하는 경험식으로 제안되어 있으며, 대상 유역의 지형 및 토지피복에 맞게 각 매개변수를 산정한 후 T_c 값을 계산하였다.

유출모형의 소유역 저류상수 K 값은 서경대 공식($K = \alpha \cdot (\frac{A}{L^2})^{0.02} \cdot T_c$)을 제외하고 마땅한 지역보정 자료가 없는 관계로, Russel 공식에 따라 각 소유역의 T_c 값의 1.1배로 설정하였다. 이는 Clark 단위유량법 적용 시 저류상수를 도달시간과 동일하거나 약간 크게 부여하는 일반적인 방법에 근거한 것이다. 표 2의 산정식에 따라 표 3에는 각 소유역의 도달시간 및 저류상수를 나타냈다.

분할된 도로 구간의 흐름에서 발생하는 지연 및 저류 효과에 대해서는 여러 라우팅 방법을 시도하였는데, 단순 모델인 Lag & K 라우팅 방법과, Muskingum-Cunge, 그리고 Kinematic wave 해석을 각각 적용하였다. Lag & K 라우팅은 미육군공병단 및 미국 기상청 등에서 널리 사용하는 단순 수문

표 2. 도달시간 및 저류상수 산정식

방법	도달시간 산정식
서경대	$T_c = 0.214 \cdot L \cdot H^{-0.144}$
Kinematic	$T_c = 6.92 \left(\frac{n \cdot L}{\sqrt{S}} \right)^{0.6} \cdot I^{-0.4}$
Kerby	$T_c = 1.445 \left(\frac{n \cdot L}{\sqrt{S}} \right)^{0.467}$
스에이식	$T_c = \left(\frac{n \cdot L}{\sqrt{S} \cdot I^{2/3}} \right)^{3/5}$
Izzard	$T_c = 525.2 \frac{I^{0.33} (2.76 \cdot 10^{-5} \cdot I + k)}{S^{0.33} \cdot I^{0.667}}$
Kirpich	$T_c = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$

표 3. 도달시간 산정 공식에 따른 분할된 도로의 도달시간 및 저류상수

구분	서경대		Kinematic		Kerby		스에이시		Izzard		Kirpich	
	Tc (min)	K (min)	Tc (min)	K (min)	Tc (min)	K (min)	Tc (min)	K (min)	Tc (min)	K (min)	Tc (min)	K (min)
subbasin1	4.13	4.67	12.48	13.73	9.26	10.19	1.80	1.98	8.47	9.32	4.72	5.19
subbasin1-1	7.88	8.86	34.64	38.10	20.49	22.54	5.01	5.51	23.78	26.15	17.49	19.24
subbasin1-2	7.18	8.04	16.52	18.18	11.52	12.67	2.39	2.63	9.04	9.95	6.77	7.44
subbasin1-3	7.15	7.94	21.28	23.41	14.03	15.43	3.08	3.38	12.86	14.15	9.36	10.30
subbasin1-4	5.89	6.57	13.64	15.00	9.92	10.91	1.97	2.17	7.79	8.57	5.29	5.82
subbasin1-5	3.67	4.08	8.70	9.57	6.99	7.69	1.26	1.38	5.52	6.07	2.97	3.27
subbasin1-6	3.53	3.93	8.82	9.71	7.07	7.78	1.28	1.40	5.76	6.33	3.02	3.33
subbasin2	4.08	4.63	12.45	13.70	9.24	10.17	1.80	1.98	8.50	9.35	4.71	5.18
subbasin2-1	7.64	8.60	33.89	37.28	20.15	22.16	4.90	5.39	23.49	25.84	17.01	18.71
subbasin2-2	6.91	7.71	15.98	17.57	11.22	12.34	2.31	2.54	8.83	9.71	6.48	7.13
subbasin2-3	4.86	5.43	14.15	15.57	10.21	11.23	2.05	2.25	9.17	10.09	5.55	6.10
subbasin2-4	9.91	10.91	18.86	20.75	12.77	14.05	2.73	3.00	9.00	9.90	8.02	8.82
subbasin3	8.59	9.44	24.36	26.79	15.58	17.14	3.52	3.87	13.92	15.31	11.13	12.24
subbasin4	9.01	9.90	26.62	29.28	16.70	18.37	3.85	4.23	15.30	16.83	12.48	13.72
U-type 1	2.42	2.75	6.32	6.95	5.45	6.00	0.91	1.00	4.53	4.98	1.97	2.17
U-type 2	1.55	1.79	5.00	5.50	4.54	5.00	0.72	0.79	4.23	4.66	1.46	1.61

학적 라우팅 방법이며, Lag와 K 값을 적절히 선정하여 유입수문곡선을 지체 및 감쇠 시키는 방식으로, 홍수파의 형태 변화가 완만한 경우에 적합하다고 알려져 있다. Muskingum-Cunge법은 연속방정식과 운동방정식을 단순화한 확산파 해를 기반으로 한 수리학적 라우팅 방법으로서, 하도의 종단경사, 단면 등의 물리특성을 고려하여 비교적 안정적인 홍수파 전파해를 제공한다. Kinematic wave 라우팅은 자유수면 흐름의 비정상 방정식에서 관성항과 압력항을 생략한 단순화된 근사 해법으로, 주로 급경사 하도의 홍수파 전파에 적용된다. 이 방법은 침투 감쇠가 거의 발생하지 않으며, 홍수파를 빠르게 전달하는 특징을 가진다.

HEC-HMS의 모의 기간은 강우 시작 시점부터 8시간 후까지로 두어, 강우 종료 후 유출이 완전히 소진될 때까지 시뮬레이션을 수행하였다. 도달시간 산정공식과 하도 라우팅의 조합에 따른 각 시나리오별 1분단위의 지하차도 유입수문곡선을 바탕으로 침투유량, 침투도달시간을 비교·분석하였다.

3. 분석 결과

3.1 도달시간 산정 공식에 따른 유입량 변화

우선 라우팅 방법을 동일하게 유지한 상태에서

도달시간 T_c 산정 공식만 변경하였을 때 유입수문 곡선의 변화를 비교하였다. 그림 3은 라우팅 방법을 Lag & K로 고정한 경우 6가지 T_c 공식별 지하차도 유입수문곡선을 보여준다. Lag & K 라우팅은 각 소 유역 유출을 입력한 후 단순한 지체 및 저류계수로 합성하기 때문에, T_c 값 산정의 차이가 유입수문곡선에 가장 극단적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 예를 들어 Kinematic wave 공식으로 T_c 를 산정한 경우(남색 실선) 지하차도 유입유량의 첨두가 약 $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 상당히 작게 계산되었다. 이는 T_c 가 비교적 길게 계산됨에 따라 유출파의 크기가 크게 완화되고 저류효과가 크게 나타난 결과이다. 반면 스에이시 공식의 경우(하늘색 실선) 매우 짧은 T_c 로 인해 지하차도에 유입되는 유출이 급격히 집중되면서 약 $4.65 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 달하는 첨두유량을 보였다. 이는 동일 유역에 대해 최대치와 최소치 시나리오 간 첨두유량이 약 5배까지 차이날 수 있음을 의미한다. 표 4에서 보듯, 서경대 공식과 Kirpich 공식의 결과는 두 값 사이에 위치한다. 서경대 공식은 비교적 짧은 T_c 를 산정하여 첨두유량이 $2.65 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 다소 크게 나타났으며, Kirpich 공식은 T_c 가 더 길게 산정되어 $2.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 상대적으로 낮게 계산되었다. 한편 Kerby 공식과 Izzard 공식은 T_c 값이 중간 범위에 속했음에도 불구하고, 첨두유량은 $1.36\text{-}1.50 \text{ m}^3/\text{s}$ 수준으로 낮게 산정되었다. 이는

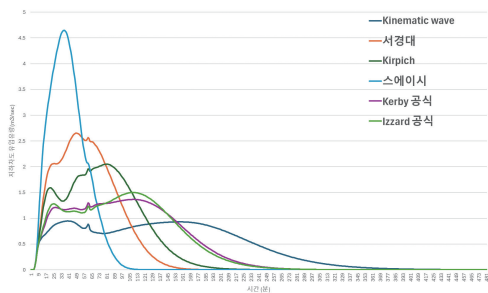


그림 3. T_c 산정 공식별 지하차도 유입수문곡선 비교
(라우팅 방법: Lag & K)

Kerby와 Izzard 공식이 완만한 경사의 지표면 조건에서 T_c 를 상대적으로 길게 산정하는 특성이 반영된 결과로 해석된다.

T_c 공식에 따른 첨두도달시간 차이도 매우 크게 나타났다. Lag & K 라우팅의 경우 스에이시 시나리오의 첨두시각이 강우 시작 35분 후로 비교적 이른 반면, Kerby/Izzard 시나리오는 108분 후(강우 종료 48분 후)로 매우 늦게 나타났다. 이는 T_c 가 크게 산정될수록 유출지속시간이 길어지고 지하차도 유입유량의 첨두가 강우 종료 후에도 한참 뒤에 발생할 수 있음을 시사한다. 다시 말해, 보수적인 T_c 값을 사용할 경우 단순 모형에서는 첨두유량이 상당히 저감되지만 반대로 첨두시각은 실제보다 지나치게 지연될 우려가 있다. 한편 스에이시 공식처럼 T_c 가 지나치게 작게 산정되는 경우는 첨두시각이 너무 이르게 산정되어, 물리적으로는 불합리한 결과를 낳을 수도 있다. 예를 들어 그림 2의 파란 실선(스에이시)은 35분에 첨두를 보인 후 급격히 감소하는데, 이는 지하차도에 매우 이른 시점에 대량의 유출이 몰리고 이후 유량이 급격히 줄어든다는 해석으로 이어진다. 그러나 실제 소규모 유역의 경우 강우가 지속되는 동안에는 유출 증가 추세가 이어지고 강우 종료 후에 서서히 감소하는 것이 일반적이다. 이러한 점에서 Kinematic wave + Lag&K 시나리오는 첨두시각이 강우 종료 후(39분 후)로 지연되고 완만한 만곡을 보이는데, 물리적으로 타당해 보이나 그 첨두량이 매우 작아 실제 침수위험 평가에 사용하기에는 위험을 과소평가할 소지가 있다.

이상의 결과는 T_c 산정 방법 선택만으로도 동일 유역의 설계 첨두유량이 크게 달라질 수 있음을 보여준다. 이는 도시 소유역의 설계유출량 산정 시 엔지니어가 T_c 산정에 흔히 사용하는 경험식에 따라 결과가 좌우될 수 있음을 의미하며, 각 공식의 적용 한계와 적정성을 검토할 필요가 있음을 시사한다. 예를 들어 Kirpich 공식은 원래 임야나 자연유역에

적용해은 식으로 도시지역 포장면에 적용할 경우 T_c 를 과소 산정할 가능성이 있고, 반대로 Kerby 공식은 환경사 지표 유출을 가정한 식이므로 경사가 있는 도로유역에는 맞지 않을 수 있다. 최근 제정된 국내 설계홍수량 산정 지침에서는 소하천의 경우 서경대 공식을 사용할 것을 권고하고 있는데, 본 연구 대상과 같이 불투수면 위주의 극소유역에는 적용사례가 많지 않아 추가적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 라우팅 방법에 따른 침투 감쇠 및 지연 효과

다음으로 세 가지 라우팅 방법을 동일한 강우 조건과 유역 특성 하에 적용한 결과, 모든 경우 침투유량이 일부 완화된고 침투도달시간이 지연되는 효과가 나타났지만, 그 규모와 양상은 기법별로 상이하였다. 물리적 기반의 Muskingum-Cunge와 Kinematic wave 기법은 홍수파의 확산 및 감쇠 현상을 모의하므로 입력 침투에 비해 유출 침투를 낮추고 발생 시점을 늦추는 경향을 보였다. 한편 Lag&K 기법도 단순한 모형임에도 불구하고 파라미터를 통해 유사한 침투 감소와 지연 효과를 구현할 수 있었다.

특히 소규모 도시 유역의 실무 환경에서는 Muskingum-Cunge, Kinematic wave와 같은 정밀한 라우팅 방법의 한계가 나타날 수 있다. 이러한 기법들은 계산 구조가 복잡하고 요구되는 데이터가 방대하여, 소규모 유역에 적용하기에는 비효율적일 수 있다. Kinematic wave 기법은 수로의 평균 경사, 조도계수, 단면 형상 등 여러 매개변수를 필요로 하며 경사가 급한 하도에 적합하지만, 배수시설의 백워터 효과나 구조물 영향은 모의하지 못하는 한계가 있다. Muskingum-Cunge 기법 역시 시간 단계마다 하도 모양과 흐름에 따라 매개변수를 재계산하는 확산과 기반 방법으로서, 여러 종류의 단면을 정의할 수 있을 정도로 세밀한 단면 형상 자료와 수리 매개변수를 입력해야 한다. 그에 비해 본 연구에서의 소규모 도시 유역에서는 상세한 자료를 구하기 어렵고, 짧은 유출 경로에서는 복잡한 유출 계산이 실질적 이점을 주지 못할 수 있다. 실제로 표 4의 결과를 보면, 복잡한 라우팅 방법들은 모든 시나리오에 대하여 유사한 수준의 침투 유량과 도달 시간 분포를 산출하여, 다양한 유역 특성의 차이를 반영하지 못하는 양상이 나타났다. 이는 Muskingum-Cunge, Kinematic wave 방법이 여러 시나리오에 동일한 수리학적 파라미터를 사용함으로써, 상이한

표 4. 도달시간 및 라우팅 방법에 따른 지하차도 유입유량 침투값 및 침투시간 비교

방법	Lag&K	Muskingum-Cunge	Kinematic wave
서경대	2.65 m ³ /sec, 48분	3.89 m ³ /sec, 46분	3.64 m ³ /sec, 52분
Kinematic	0.95 m ³ /sec, 39분	3.24 m ³ /sec, 60분	3.14 m ³ /sec, 63분
Kerby	1.37 m ³ /sec, 108분	3.61 m ³ /sec, 51분	3.43 m ³ /sec, 59분
스레이식	4.65 m ³ /sec, 35분	4.12 m ³ /sec, 40분	3.74 m ³ /sec, 38분
Izzard	1.50 m ³ /sec, 108분	3.85 m ³ /sec, 48분	3.52 m ³ /sec, 56분
Kirpich	2.05 m ³ /sec, 80분	4.08 m ³ /sec, 45분	3.79 m ³ /sec, 51분

유출 특성을 지나치게 평균화하거나 일부 시나리오에서는 비현실적으로 모의할 가능성을 보여준다.

반면 Lag&K 기법은 간단한 방법임에도 불구하고, 유출 특성 비교에 충분한 정확도를 보여주었다. Lag&K는 국가기상청(NWS)에서도 활용되어 온 검증된 방법으로서, 소수의 파라미터만으로도 홍수파의 지체 시간 Lag와 저류상수 K를 함께 모사할 수 있는 것이 장점이다. 본 연구에서 Lag&K 기법은 각 시나리오별 유입수문곡선의 형태 차이를 보여주었다. 여러 경험공식으로 산정한 다양한 도달시간 시나리오를 적용하였을 때, 해당 값에 따라 유입수문곡선의 침두유량과 도달시간에 큰 차이가 발생하였다. Lag&K 기법은 이러한 매개변수의 변화를 거의 그대로 반영하여, 가장 빠른 유출 시나리오에서는 침두유량이 약 $4.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 크게 나타나고 도달시간이 30분대로 매우 이른 반면, 유출이 지연되는 시나리오에서는 침두유량이 $1.4\sim 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 수준에 발생 시각도 약 1시간 40분 후로 늦어지는 등 침두유량과 지연 시간의 변화폭을 뚜렷하게 보여주었다. 이처럼 Lag&K 방법은 계산 절차가 단순하여 매개변수 변경과 민감도 분석이 용이하고, 결과 해석에서도 각 물리인자의 영향력을 직관적으로 파악할 수 있다는 이점이 있다. 또한 일정 범위 내에서 Lag 및 K 값을 조정함으로써, 실제 지하차도 유입유량의 검보정을 위한 기법으로 활용될 수 있다. 요약하면, Lag&K 기법은 소규모 도시구역의 침두 유출 특성 평가에 충분한 정확도를 제공하면서도 실무 적용성이 높아, 복잡한 라우팅 모형에 대한 유효한 대안이 될 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 과천시 000 지하차도 유역을 대상으로 HEC-HMS를 적용하여 도달시간 산정 공

식과 라우팅 방법에 따른 유입수문곡선의 변화를 비교하였다. 분석 결과, Tc 공식과 라우팅 방법에 따라 침두유량과 도달시간이 크게 달라졌으며, 이러한 민감도는 지하차도 침수 위험도 평가에서 중요한 요소임을 확인하였다.

특히 HEC-HMS는 복잡한 관망 해석을 하지 않고도 유입수문곡선을 산정할 수 있다는 점에서 지하차도 침수 해석 모형으로서 활용 가능성을 보여주었다. 강우 시나리오와 간단한 매개변수만으로도 유출 경향을 합리적으로 모의할 수 있었으나, 실제 침수심 산정이나 관거 내 흐름과 도로의 배수시스템을 재현하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

라우팅 방법 비교에서는 Lag&K 기법이 소규모 도시 유역에 가장 적합한 방법으로 나타났다. Muskingum-Cunge와 Kinematic wave는 이론적으로 정밀한 모의가 가능하지만, 소규모 유역에서는 많은 자료와 복잡한 계산이 요구되어 실용성이 떨어졌다. 반면 Lag&K는 필요한 자료가 적고 설정이 간단하면서도 침두의 감쇠와 지연 효과를 현실적으로 재현하였다. 다양한 Tc 시나리오를 적용했을 때도 유역의 유출 반응 변화를 잘 반영하여, 불확실성이 큰 소규모 도시 유역의 설계 및 관리에 활용 가치가 높음을 확인하였다.

실무적으로는, 소규모 도시 유역에서는 라우팅 효과 자체가 크지 않기 때문에 굳이 복잡하고 정밀한 라우팅 기법을 적용할 필요는 없다. 이 경우 Lag&K와 같은 간단한 방법만으로도 침두유량과 침두도달시간을 합리적인 수준에서 산정할 수 있으며, 설계 검토에 충분히 활용이 가능하다. 학술적으로는, 본 연구가 소규모 유역을 대상으로 여러 라우팅 방법의 성능을 비교하여 특징과 한계를 정리했다는 점에서 의의가 있다. 향후에는 다양한 유역 조건을 반영한 추가 검증을 통해 최적 라우팅 방법의 적용 기준을 구체화하고, 경험적 매개변수 산정식을 발전시킬 필요가 있다.

결론적으로, 본 연구는 HEC-HMS가 지하차도 침수 해석에 활용될 수 있는 가능성을 확인하였으며, 특히 Lag&K 라우팅이 소규모 도시 유역에서 실용적 대안이 될 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었습니다. (No. RS-2023-00259995) 

참고문헌

1. 유철상, 나우영 (2019). 서울지점의 기존 Huff 모형의 문제점 분석 및 개선 방안에 대한 제안, 한국방재학회논문집, 19(2), pp. 43-55
2. 윤선권 등 (2025). 배수기능 확보 위한 빗물받이 설치와 유지관리 개선방안, 서울연구원
3. 이지호, 유철상, 그리고 신지예 (2013), 유역 집중시간 및 저류상수의 이론적 배경과 경험식, 한국수자원학회논문집, 46(2), pp. 155-169
4. 정해주. (2022). 초량지구 지하1터널 침수피해예방을 위한 비구조적인 대책방안, 석사학위논문, 부산대학교
5. 한국건설기술연구원 (2012). 도로설계편람, 국토해양부, p. 702-9
6. U.S. Army Corps of Engineers (2023), HEC-HMS Technical Reference Manual

드론-LiDAR 기반 고속도로 비탈면 토석류 위험지역 조사강화 및 대책시설 설치 사례



곽 현 준
한국도로공사
교통본부장



이 진 용
한국도로공사
비탈면관리부장



박 정 관
한국도로공사
비탈면기술차장

1. 서론

기후변화로 인한 국지성 집중호우의 증가에 따라 고속도로변 비탈면에서 발생하는 토석류 피해는 도로 안전성과 이용자의 생명 및 재산을 심각하게 위협하고 있다. 특히 산지 계곡부와 같이 접근이 어려운 지역에 대한 전통적인 지형 조사 방식은 정보의 정확성과 실효성 측면에서 한계를 보이고 있으며, 이에 따라 정밀한 지형정보 확보와 이를 반영한 예방 중심의 시설물 설치가 시급히 요구되고 있다.

본 기고문에서는 한국도로공사에서 추진한 드론-LiDAR 기술 기반의 비탈면 토석류 위험지역 조사 및 대책시설 설치 사례를 중심으로 그 과정과 성과를 소개하고자 한다.

2. 추진경위

2002년 이후 한국도로공사는 비탈면 토석류 예방시설을 꾸준히 설치해오고 있다. 특히 '13년부터 5년간 도로교통연구원 주관의 '토석류 위험평가를 통한 대책설계 용역 시행'을 통해 토석류 위험지역 639개소를 선정하고 '20년까지 산림청과 합동으로 총 294개소^{도로 208개소, 산림청 86개소}의 대책시설을 추가 설치하여 현재 총 541개소를 운영하고 있다.



호남선193.0k(회덕) [2023. 7.14.]



중앙선294.0k(신림IC) [2023. 7.15.]

그림 1. 토석류 유출로 인한 고속도로 본선 피해

그럼에도 불구하고 집중호우에 따른 토석류 유입 피해는 지속적으로 발생하고 있고 최근 3년간 2022~2024 토석류 유입으로 인한 고속도로 본선 통행 차단 횟수만 17건에 달한다.

최근 3년간 발생한 토석류 유입으로 인한 차단시간은 평균 6시간, 최대 14시간으로 토석류 유입으로 인한 피해는 연속류 교통의 대표인 고속도로의 흐름을 단절한다는 면에서 다른 사고와 그 결을 달리하며 예방적 조치가 더욱 중요하다.

왜? 자꾸 피해가 발생하는가?

3. 기존 조사 방식의 한계

산사태 및 토석류 예방을 위해 노력 중인 기관은 산림청 및 행정안전부, 한국도로공사 정도가 있으며, 각 기관별 목적에 따라 그 평가기준을 달리하고

표 1. 유관기관별 평가기준 및 평가항목

구분	평가기준 (평가에 반영하는 지형정보)
산림청	산사태 발생 우려지역 기초조사 평가표 (계류평균경사, 총 계류 길이)
행정안전부	자연비탈면 및 산지의 재해위험도 평가표 (지형 경사각 및 높이, 계곡 연장 및 폭)
도로공사	토석류 가능구간 위험평가 및 등급화 지침 (유역 평균경사, 35도 이상 면적비율 등)

있으나 토석류 발생이 우려되는 지역의 ‘지형정보’는 모두 공통적으로 반영하고 있다.

기존의 토석류 위험지역 조사는 ① 항공사진 기반 1:5,000 축척의 국가기본도 및 ② 조사자 육안점검에 의존해 왔으나, 이 방식은 조사자의 경험치 및 보간법에 의한 추정값을 적용하여 수목이 우거진 계곡부의 실제 지형을 정확히 반영하기에는 기술적 한계가 있다.

① 지형 분석에 활용하는 국가기본도

표 2. 국가기본도(1:5,000 지형도) 개요

구분	내용	비고
사용목적	국토개발 계획수립	대규모사업검토
제작주기	2년	최근 정보반영 부족
촬영방법	항공기 + 사진기	
성과품	항공사진 기반 수치지형도	
축척	1:5,000	최대오차:3m
계곡부 작성방법	도화기를 통한 추정 + 보간법 적용	작업자경험개입

② 조사자의 육안점검

고속도로에 피해를 줄 수 있는 유출 토석량 검토를 위해서는 도로를 유출기준점으로 하는 산마루와 능선부터 폭넓은 검토가 필요하지만 도로구역의 상부 계곡부 및 퇴적부는 수목이 우거져 사실상 진입이 불가하여 정확한 조사가 어려운 현실이다.

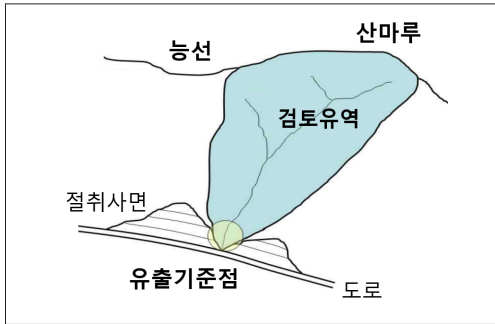


그림 2. 토석류 위험지역 분석을 위한 유역면적 범위

이로 인해 ‘실제 토석류 발생 가능성이 높은 지역임에도 평가에서 낮은 등급으로 분류되어 누락되는 경우가 있지 않을까?’ ‘그렇게 누락된 지역에서 토석류 피해가 발생하는 걸까?’ 하는 의문에서 보다 정확한 지형정보를 파악 및 분석하고 적절한 대책수립을 위해 드론-라이다를 활용한 토석류 위험지역 조사를 실시하기로 하였다.

4. 드론-LiDAR 측량 도입

카메라를 이용한 항공사진 촬영과 LiDAR 센서 측량은 다음과 같은 차이점을 가진다.

드론-LiDAR 측량성과 정확도는 고속도로 건설 노선 울산외곽순환선(제3공구) 일부 구간을 대상으로 시행한 시범사업을 통해 확인하였다.

인력으로 측량한 지상기준점과 드론에 카메라, 라이다를 각각 장착하고 측량한 동일지점 좌표값을 분석한 결과 모두 ‘수치표고모형의 구축 및 관리 등에 관한 규정’의 기준을 만족하였으며, 특히 라이다는 카메라보다 정확도 측면에서 약 2배 우수한 것으로 분석되었다.

이러한 드론-LiDAR의 장점을 활용하여 항공사진으로 확인이 어려운 계곡부, 피해가 집중되는 퇴적부 등을 조사하면 추정값이 아닌 실 지표값에 가

표 3. 항공사진 vs LiDAR 측량기술별 차이점

항공사진	구분	LiDAR
	개념도	
다각도 사진 촬영	원리	레이저 펄스를 방출, 반사 시간을 측정
RGB 값과 픽셀 좌표	데이터	점 데이터 (1m² 당 약 400개)
	측량 성과	
계곡부/퇴적부 등 중요 지형정보 미흡		수목이 제거된 지형정보 작성
	계곡부 측량 방법	
도화기를 통한 작업자 경험에 따른 지표 설정, 보간법에 따른 추정값		수목의 잎사귀 사이 공간을 관통하여 가장 낮은 값을 지표로 인지

표 4. 건설노선 대상 통합측량 시범사업 결과

표고 정확도 기준	드론-카메라	드론-LiDAR
최대오차 0.75m 이내 / RMSE 0.5m 이내	최대오차 0.16m / RMSE 0.08m	최대오차 0.079m / RMSE 0.047m

까운 지형정보를 취득할 수 있다. 그리고 지형, 지질, 퇴적부 등 지역적 특성을 반영한 토석류 시뮬레이션을 통해 토석류 대책시설의 필요성, 적정 시설, 규모 등을 결정할 수 있게 될 것으로 사료된다.

5. 시범사업 추진 및 성과

시범사업은 다음과 같은 절차로 진행되었다.

표 5. 토석류 위험지역 드론-LiDAR 시범사업 절차

사전조사 (유지관리부서)	- 대상: 산사태 위험 1, 2등급 및 비탈면 상부 개발지 등 - 조사방법: 지형도 활용 및 육안점검
현장확인 (재난관리처)	현장실사 및 사업대상 선정
정밀조사 (전문업체)	- 드론-라이다(Li-DAR) 측량 실시 - 토석류 시뮬레이션 실시 - 대책시설 필요성, 규모, 위치 결정
대책시설설치 (유지관리부서)	우기 전 대책시설 설치공사 추진

표 6. 토석류 대책시설 요청 구간(사전조사)

노선명	STA. (방향)	요청시설	비고
대구순환선	28.35k(상매)	사방댐	
대구순환선	32.63k(달서)	거치대	
통영대전선	북통영IC Ramp A	사방댐	
중앙선	181.38k(춘천)	거치대	
중앙선	237.5k(부산)	거치대	산불구간

(사전조사) 해빙기 점검기간 중 유지관리부서 비탈면 담당자 주관으로 고속도로변 산사태 위험 1, 2등급을 포함하고 있고, 집중호우 시 토석류 발생 우려가 있지만 현재 토석류 위험지역으로 선정되지 않아 대책시설이 부재중인 위치 5개소를 조사하였다.

2025년 경북·경남지역에 우리나라 역사상 유례 없는 대규모 산불이 발생하였다. 이로 인해 고속도로 인접 계곡부의 수목이 전소된 구간이 발생하였고 여름철 집중호우시 토석류 발생 등을 우려하여 시범사업 대상지에 추가하였다.

(현장확인) 앞에서 산사태 및 토석류 예방을 위해 노력 중인 기관으로 산림청 및 행정안전부, 한국도로

표 7. 시범사업 대상지 선정

위치	유역평면도
대구순환선 32.63k (달서방향)	
통영대전선 북통영IC Ramp A	
중앙선 181.38k (춘천방향)	

공사를 언급하였다. 모든 기관이 궁극적으로 ‘자연재해로 인한 국민피해 최소화’라는 공통적인 목적을 가지지만 도로공사는 연속류 교통인 고속도로가 재해로 인해 단절됨을 예방하고 이용 중인 고객의 생명과 재산을 보호함이 주목적이라 할 수 있다.

대구순환선 28.35k(상매) 구간은 고속도로에 인접하여 긴 계곡부와 넓은 유역면적을 가져우기시 배수가 집중되어 있지만 교량 통과 구간으로 제외하였다. 그리고 중앙선 237.5k(부산) 구간은 산불 발생구간으로 소실된 유연성 방호시설 설치가 긴급복구 항목으로 반영되어 있어 제외하였다.

토석류 대책시설의 목적 및 시범사업 취지를 고려하여 대상지 5개소 중 2개소를 제외하고 3개소를

시험사업 대상으로 최종 선정하였다.

(정밀조사) 선정된 3개소는 측량전문업체를 통해 기존 방식으로 조사한 후 드론-LiDAR 측량을 실시하여 그 성과를 토대로 재평가하는 순서로 추진하였다. 평가기준은 도로교통연구원에서 제시한 '토석류 가능구간 위험평가 및 등급화 지침'을 적용하였다.

해당 지침은 위험평가개념(concept of risk evaluation)을 이용하여 토석류 가능구간의 위험정도를 산정하며, 토석류 재해의 발생가능성(재해도)과 도로의 피해가능성(취약도)을 평가하여 등급을 구한다. 평가절차는 다음과 같다.

- ① 평가대상 예비선정기준을 이용하여 위험평가 대상 유역을 선정한다.
- ② 평가대상 유역에 대하여 위험평가표의 평가항목에 해당하는 값을 구한다.
- ③ 위험평가표의 평가항목별 배점으로부터 각 항목별 배점값 합산을 통해 토석류재해발생 가능성과 도로의 피해발생 가능성을 각각 산정한다.
- ④ 위험등급판정표로 위험등급을 구한다.
- ⑤ 확인된 위험등급에 따라 토석류 대책적용 여부를 결정한다.

표 8. 토석류 위험지역 평가항목(도로교통연구원)

구분		평가항목
재해점수 (20)	토석류 발생가능성(10)	① 유역 평균 지형경사(°)
		② 35° 이상 지형면적비율(%)
	토석류 이동가능성(10)	③ 유역 내 최장 계곡 평균경사(°)
		④ 최장 계곡 중 15° 이상 구간의 길이비율(%)
취약점수 (10)	토석류 퇴적가능성(5)	⑤ 도로 측면의 퇴적공간(m³)
	토석류 통과가능성(5)	⑥ 배수시설물 규격(단면 크기)

위험평가는 재해점수^{20점}와 취약점수^{10점}으로 구성되며 평가항목 및 등급은 다음과 같다.

시험사업 대상 3개소에 대해서 전문업체 평가결과, 기존 방식으로는 피해발생 주기가 낮아^{50년 초과} 토석류 피해 발생 시 대책공법을 적용하는 대상(C등급)으로 판단되었다. 그러나 드론-LiDAR 측량성과를 반영 후 재검토 결과 3개소 중 2개소가 토석류 시뮬레이션 등을 통해 대책공법을 반영해야 하는 토석류 위험지역(B등급)으로 변경되었다.

표 9. 토석류 가능구간 위험등급표

구분	토석류 발생 및 도로피해 가능성	대책공법 적용여부	피해발생 주기
S	매우 높음	적용	2~5년
A	높음	적용	5~20년
B	있음	선별적적용	20~50년
C	있음	피해발생시적용	50년 초과
D	낮음	피해발생시적용	약 1,000년

표 10. 드론-LiDAR 측량성과 반영 전/후 비교

구분	기존 지형도 확인+ 육안조사	개선 드론+LiDAR+ 육안조사	대책시설 반영여부
대구순환선 32.63k(달서)	C	B	◎
통영대전선 북통영(CR-A)	C	B	◎
중앙선 181.38k(춘천)	C	C	× (관찰)

평가결과 변동 사유는 재해점수에서 발생하였다. 취약점수 항목은 평가결과 변동이 없었지만 유역 면적의 경사, 계곡 길이 등 지형정보를 반영하는 재해점수가 당초 10점에서 12~13점으로 상승하였다. 이는 수목이 우거진 산지 계곡부에 대해 드론-LiDAR 조사를 통해 정확한 지형정보를 반영함으로써 인한 결과라 할 수 있다.

표 11. 토석류 가능구간 평가 변동항목 비교

구 분	대구순환선 32.63k(달서)		통영대전선 북통영IC R-A	
	기 존	개 선	기 존	개 선
재해점수(20)	10	13	10	12
취약점수(10)	7	7	8	8

표 12. 토석량 분석결과에 따른 걱정 대책시설 반영

구 분	예 상 토석량 (m ³)	대책방안		
		대책 시설	시설물 규 격	유 효 저수량(m ³)
대구순환선 32.63k(달서)	366.0	사방댐 (투과형)	H:1.5m L:7.0m	387
통영대전선 북통영IC R-A	278.5	사방댐 (투과형)	H:2.0m L:4.5m	305



그림 3. 조립식버트리스댐

(대책시설설치) 선정된 2개소에 대해서 예상 토석량은 가장 널리 이용되고 있는 ‘FLO-2D’ 프로그램으로 도출하였으며, 강우강도는 100년 빈도를 적용하였다.

대구순환선 32.63k(달서)는 투과형 사방댐의 일종인 조립식 버트리스댐을 반영하였고, 통영대전선 북통영IC Ramp-A는 위와 동일하지만 기존 배수시설 등 여건을 고려한 조립식 버트리스댐(변형)을 반영하여 경제적 시공을 유도하였다.

조속한 공사추진으로 본격적 집중호우 시작 전인 6월말 토석류 대책시설 설치를 완료하였으며 추후 퇴적되는 토석량 등 모니터링을 통해 설치 위치 및 시설 규모 적정성 여부 등을 검토하고 준설작업

등 유지관리를 통해 제 기능을 할 수 있도록 관리할 예정이다.

6. 결 론

이번 드론-LiDAR 기반의 토석류 위험지역 정밀조사 및 대책시설 설치 시범사업은 변화하는 기후환경 속에서 한국도로공사가 도로 인프라의 안전관리 패러다임을 ‘예방적·과학적 체계’로 전환하는 이정표를 제시하였다고 볼 수 있다.

토석류 발생 가능성과 그 규모에 직접적인 영향을 미치는 지형정보의 정밀도 향상을 통해 기존 조사 방식으로는 간과될 수 있었던 위험지역을 첨단장비를 도입한 조사강화로 조기에 식별하고, 그에 맞는 걱정 시설을 선제적으로 설치함으로써 ‘디지털 기반 실효적 예방조치’의 모범사례라 할 수 있다.

한국도로공사는 「도로법」 및 「재난 및 안전관리 기본법」에 따라 고속도로의 안정적 운영과 국민의 생명·재산 보호를 위한 방재대책 수립·이행의 법적 책임을 지닌 공공기관이다. 이 기고문에서 다룬 시범사업은 단순한 기술 도입을 넘어 공공성과 사회적 책임 실현의 의미를 지닌다. 한국도로공사는 이러한 성과를 바탕으로 향후 고속도로 전 구간 토석류 위험지역에 대해 재평가를 추진하면서, 드론-LiDAR 측량 데이터 축적, 토석류 위험지역 재평가 및 시뮬레이션 등으로 점검기술 고도화와 예방 중심의 인프라 설치 사업을 강화할 계획이다.

궁극적으로 이는 ‘예방 중심 안전 인프라 운영’이라는 공공기관의 본질적 역할을 실현하고, 국민의 생명과 재산을 지키는 책임을 다하는 기반으로 작동할 것이며, 한국도로공사는 앞으로도 고속도로를 이용하는 국민 누구나 안심하고 이동할 수 있는 고속도로 환경을 조성하기 위해, 기술혁신과 공공서비스의 접목에 최선을 다할 것이다. 

전북대학교 응용 콘크리트 공학 연구실 소개

Advanced Concrete Engineering Laboratory,
Jeonbuk National University



유 일 환
전북대학교
지역건설공학과
조교수
ih-you@jbnu.ac.kr

1. 전북대학교 지역건설공학과 소개

1975년 설립된 전북대학교 지역건설공학과는 국가 및 지역사회 발전에 기여하는 창의적 전문인, 실천적 봉사인, 진취적 세계인 양성을 목표로 하고 있습니다. 교육과정은 전문 지식을 바탕으로 농업기반시설물을 구축하고 환경 문제를 해결하는 실천적 능력을 기르는 데 중점을 둡니다. 이를 위해 지역건설공학 전공수업과 더불어 농공학, 토목공학, 환경공학, 컴퓨터공학 등 연관 공학 과목들을 폭넓게 개설하고 있습니다. 또한, 재료 및 시공, 측량, 토질, 수리, 구조, 농촌계획 등 주요 교과과정에 맞춘 전문 실험실과 전산실, 실습장 등 체계적인 부속 시설을 완비하여 효율적인 교육과 연구를 지원합니다.

2. 응용 콘크리트 공학 연구실 소개

전북대학교 지역건설공학과 응용 콘크리트 공학 연구실은 우리 사회의 근간을 이루는 사회기반시설이 더 오래가고, 더 안전하며, 환경과 조화를 이룰 수 있는 미래를 만들기 위한 연구를 수행합니다. 저희 연구실은 시멘트 복합재료에 대한 깊이 있는 탐구를 통해, 노후화, 기후변화와 같은 불확실성에 효과적으로 대응할 수 있는 '지속가능하고 회복력 있는 인프라' 구축에 기여하는 것을 궁극적인 목표로 삼고 있습니다.

본 연구실의 가장 큰 특징은 재료 내부에서 일어나는 미시적인 화학적·물리적 메커니즘 규명에서부터 실제 구조물의 거동을 나타내는 매크로 스케일의 공학적

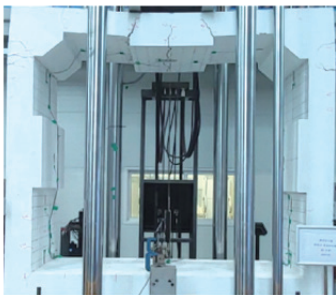
성능 평가를 다루는 것입니다. 즉, 미세 영역에서의 근본적인 이해가 결국 구조물 전체의 장기적인 안정성과 내구성을 결정한다는 철학을 바탕으로 연구를 진행합니다.

이러한 접근법을 실현하기 위해, 저희는 차세대 친환경·스마트 재료를 개발하는 실험적 연구와 더불어, 복잡한 재료의 거동을 예측하는 열역학 및 다중물리 등의 이론적 연구 방법론을 활용하고 있습니다. 이를 통해 재료의 성능을 최적화하고, 잠재적 위험 요소를 사전에 예측하여 구조물의 전생애주기 안전성을 확보하고자 합니다.

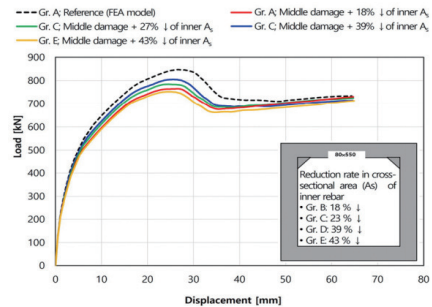
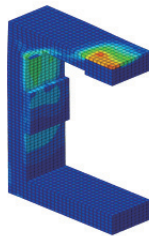
2.1 주요 연구 주제 소개

(1) 상태평가 기반 노후 기반시설의 구조안전성능 평가 기술 [1]

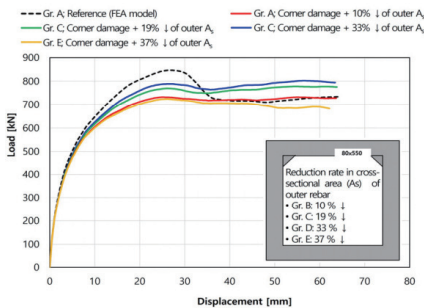
국내 다수의 핵심 기반시설이 노후화됨에 따라, 시설물의 안전을 보장하기 위한 정밀한 성능 평가 기술이 필수적입니다. 현행 안전진단 지침은 시설물의 외관을 점검하여 균열, 파손 등의 손상도를 평가하는 ‘상태평가’와, 설계 도면을 기반으로 내하력을 계산하는 ‘구조안전성평가’를 각각 수행하도록 규정하고 있습니다. 하지만 실제 현장에서는 상태평가에서 발견된 손상 정보가 구조안전성평가에 제대로 연동되지 않아, 외관상 결함이 실제



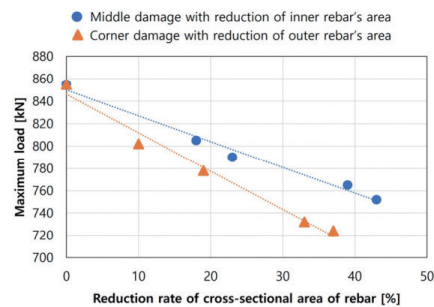
(a) 실구조물 규모의 전력구 실험 및 유한요소해석



(b) 상부 슬래브 정모멘트부 및 철근 단면 손상 모델의 해석결과



(c) 상부 슬래브 부모멘트부 및 철근 단면 손상 모델의 해석 결과



(d) 손상 종류 및 정도에 따른 전력구 구조물 구조성능

그림 1.

구조물의 성능 저하에 미치는 영향을 정량적으로 파악하는 데 한계가 있었습니다.

본 연구실에서는 이와 같은 기술적 간극을 메우기 위해, 국가 중요 시설물인 전력구를 대상으로 상태평가 결과와 실제 구조성능 사이의 공학적 상관관계를 규명하는 연구를 수행했습니다. 본 연구에서는 실제 구조물과 동일한 크기의 전력구 실험체를 직접 제작하고, ‘시설물안전법’의 기준에 따라 건전한 A등급 실험체와 손상된 D등급 실험체를 구현했습니다. 특히 D등급 실험체는 콘크리트 표면의 44%에 달하는 면적에 손상을 가하고, 내부 주철근의 단면을 25% 감소시켜 상태 및 구조안전성능 D등급을 정밀하게 모사했습니다.

실증 실험을 통해 D등급 실험체의 최대 내하력은 A등급 대비 63% 수준으로, 약 37%의 심각한 성능 저하가 발생함을 정량적으로 확인했습니다. 더 나아가 본 실험은 기존에 잘 알려지지 않았던 중요한 파괴 메커니즘을 발견했습니다. 상부의 하중으로 인해 구조물 내부뿐만 아니라, 접근이 어려운 외벽에서도 균열이 발생하는 현상을 확인한 것입니다. 이는 외부 방수층이 손상되었을 경우, 지하수 유입으로 인한 외부 철근의 부식을 유발할 수 있다는 가능성을 시사합니다.

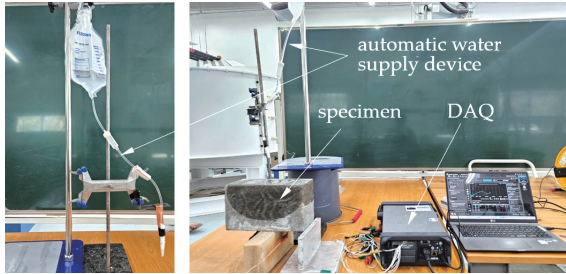
이러한 실험 결과를 검증하고 확장하기 위해 수행한 유한요소해석에서는 더욱 중요한 사실이 밝혀졌습니다. 바로 접근이 어려워 진단이 힘든 외부 철근의 부식이 내부 철근의 부식보다 구조물 전체의 내하력을 더 크게 감소시킨다는 것입니다. 본 연구 결과는 현재 내부 위주의 시설물 점검 방식이 가진 잠재적 맹점을 명확히 제시합니다. 따라서, 저희는 이 연구를 바탕으로 노후 기반시설의 숨겨진 위험을 예측하고, 보다 신뢰도 높은 안전진단 및 유지관리 방안을 수립하여 사회 안전망을 강화하는 데 기여하고자 합니다.

(2) 터널 건전성 모니터링을 위한 전도성 그라우트 기반 누수 자가-감지 기술 [2]

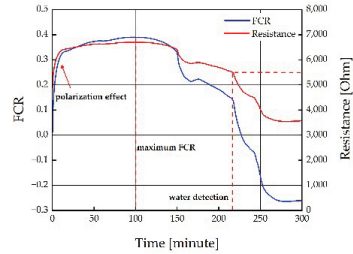
터널과 같은 지하 구조물에서 가장 심각한 재난 요인 중 하나는 외부로부터의 지하수 유입입니다. 이를 막기 위해 지반을 보강하고 물을 막는 차수 목적으로 그라우트(Grout) 공법이 널리 사용되지만, 시공 후 그라우트가 실제로 누수를 효과적으로 막고 있는지, 시간이 지나도 그 성능이 유지되는지를 확인하기는 어렵습니다. 이러한 불확실성은 2020년 국내 부전-마산선 철도 터널 공사 중 발생한 토사 및 용수 유입 사고처럼 대형 재난으로 이어질 수 있는 잠재적 위험 요소입니다.

본 연구실에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 재료 자체가 센서가 되어 누수 여부를 실시간으로 자가-감지(Self-monitoring)할 수 있는 새로운 개념의 스마트 그라우트 기술을 제안했습니다. 이 기술의 핵심은 시멘트 기반의 그라우트에 전도성이 뛰어난 나노 재료인 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT)를 혼입하여 재료 자체에 전기 전도성을 부여하는 것입니다. 평상시 안정적인 전기 저항값을 유지하던 전도성 그라우트는, 누수가 발생하여 물과 접촉하는 순간 저항값이 급격히 감소하게 됩니다. 연구실에서는 이러한 저항값의 변화를 실시간으로 모니터링하여 보이지 않는 곳의 누수 발생을 즉각적으로 탐지하는 시스템을 개발했습니다.

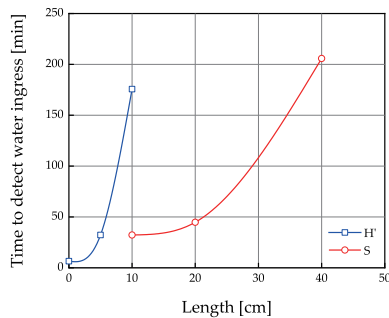
기술 개발을 위해, 먼저 다양한 물-시멘트비(W/C)와 MWCNT 혼입률에 따른 실험을 통해 안정적인 전도성을 확보할 수 있는 최적의 재료 배합을 도출했습니다. 그 결과, MWCNT 1.0% 혼입 시 그라우트의 종류와 관계 없이 충분한 전기적 네트워크가 형성되어 효과적인 감지 성능을 발휘하는 것을 확인했습니다. 이후, 누수 감지 센서로 활용될 전극의 깊이, 간격, 그리고 누수 발생 위치와의 거리 등 다양한 변수에 따른 감지 시간 및 민감도를



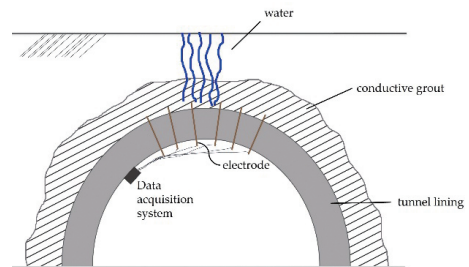
(a) 전도성 그라우트 수분감지 측정 시스템



(b) 수분침투에 따른 전도성 그라우트의 전기적 저항 변화(수분감지 시점 선정)



(c) 전극 깊이 (H') 및 전극 간격에 따른 전도성 그라우트의 수분 감지 시점 변화



(d) 터널 내 전도성 그라우트 활용 방안

그림 2.

평가하는 대규모 실내 실험을 수행했습니다.

본 연구의 가장 큰 성과는 실험 결과를 다중회귀 분석하여, 누수 감지 시간과 전극 시스템 설계(전극 깊이 및 간격) 사이의 관계를 하나의 함수식으로 정립한 것입니다. 이 예측 모델을 활용하면, 실제 터널 현장에서 요구되는 목표 감지 시간을 만족시키기 위한 최적의 전극 배치 설계를 역으로 계산할 수 있습니다. 이 기술은 터널에서 보편적으로 사용되는 락볼트 시스템에 쉽게 적용할 수 있어 실용성이 높으며, 지하 구조물의 안전 패러다임을 사후 대응에서 선제적 예방으로 전환시키는 혁신적인 방재 기술이 될 것으로 기대합니다.

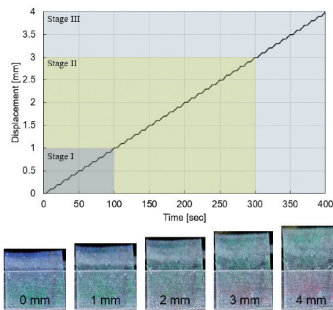
(3) 메카노크로믹 (기계적 변색) 소자를 활용한 구조물 건전성 모니터링 기법 [3]

기존의 전기식 센서를 이용한 구조물 건전성 모니터링은 높은 비용과 복잡한 유지관리의 어려움이 있습니다. 이에 대한 대안으로, 외부 힘에 반응하여 색이 변하는 메카노크로믹(Mechanochromic) 센서가 직관적인 손상 감지가 가능하여 주목받고 있습니다. 하지만, 지금까지의 관련 연구는 100%가 넘는 변형률 등 주로 대변형 감지에 초점이 맞춰져 있어, 0.3mm 수준의 미세 균열 관리가 재난 방지의 핵심인 콘크리트 구조물에 적용하기에는 한계가 있었습니다.

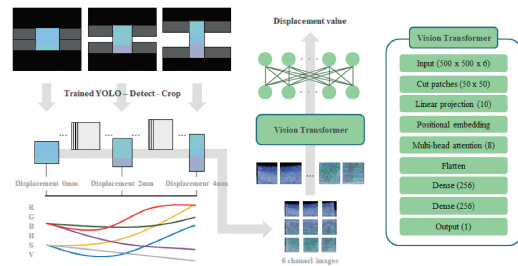
본 연구실에서는 메카노크로믹 센서가 실제 건설 분야에서 요구되는 미소 변위 영역에서도 유의미한 성능을 발휘할 수 있는지를 규명하고자 했습니다. 이를 위해, 나노 구조로 제작된 광결정(Photonic Crystal) 기반의 센서를 0mm부터 4mm까지 정밀하게 인장 변형시키면서 나타나는 색상 변화를 고해상도 카메라로 촬영하여 기록했습니다. 이후, 촬영된 이미지를 컴퓨터 비전 기술로 분석하여 변위에 따른 색상 변화를 RGB(Red, Green, Blue)와 HSV(Hue, Saturation, Value) 두 가지 색 공간에서 정량적으로 분석했습니다.

분석 결과, 변위의 크기에 따라 색상 변화에 민감하게 반응하는 지표가 다르다는 중요한 사실을 발견했습니다. 특히 재난의 전조가 되는 1mm 미만의 초기 미소 변위 구간에서는 Blue(청색)와 Saturation(채도) 값이 가장 높은 민감도와 선형성을 보였습니다. 반면, 변위가 1mm 이상으로 커지자 Re와 Hue 값이 변화를 주도하는 특성을 나타냈습니다. 이처럼 변위 단계별로 색상 지표의 민감도가 달라지는 특성은 단일 지표만으로 전체 구간의 변위를 정확히 예측하기 어렵게 만드는 요인이 됩니다.

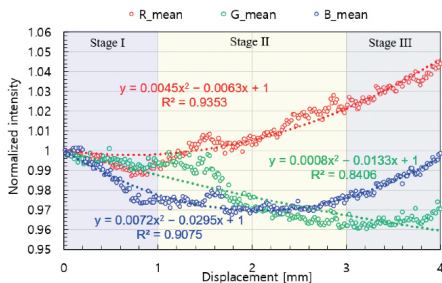
이러한 복잡성을 해결하기 위해, 본 연구실에서는 6개(RGB+HSV)의 색상 채널 정보를 동시에 입력받아 변위를 예측하는 인공지능 딥러닝 모델(Vision Transformer)을 개발했습니다. AI 모델은 각 변위 단계에서 어떤 색상 정보가 중요한지를 스스로 학습하여 종합적으로 판단합니다. 그 결과, 별도의 복잡한 후처리 과정 없이



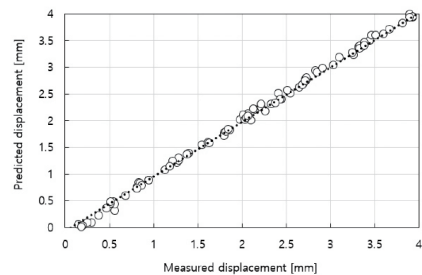
(a) 일축인장에 의한 메카노크로믹 센서의 변색 특성



(b) 변색 특성의 정량화 및 변위 예측 모델의 개요



(c) 일축인장 하중에 따른 변색 특성(RGB)



(d) 메카노크로믹 소자의 변색을 활용하여 예측된 변위와 측정된 변위의 상관관계

그림 3.

이미지 입력만으로 실제 변위를 높은 정확도로 예측하는 데 성공했습니다. 본 연구는 메카노크로믹 센서가 미소 변위 감지에 효과적임을 최초로 증명했으며, AI 영상 분석 기술과의 융합을 통해 저비용·고정밀 시각 기반의 차세대 구조물 안전 진단 및 재난 예측 시스템의 가능성을 제시합니다.

3. 맺음말

저희 연구실은 재료에 대한 깊이 있는 이해를 바탕으로, 눈에 보이지 않는 시설물의 숨겨진 위험을 과학적으로 진단하고, 재료 자체에 자가-감지 기능을 부여하여 재난의 징후를 선제적으로 감지하는 차세대 방재 기술을 연구하고 있습니다.

특히, 정밀한 구조 실험과 수치해석, 그리고 인공지능 영상 분석 기술을 융합하여 기존의 경험적 유지관리 방식의 한계를 극복하고, 데이터 기반의 정량적 안전 평가 체계를 구축하고자 합니다. 이러한 연구들은 궁극적으로 국민의 생명과 재산을 보호하는 사회 안전망을 강화하고, 기후변화와 같은 미래의 불확실성에 대응할 수 있는 회복력 높은 사회기반시설을 만드는 데 기여할 것입니다. 

참고문헌

1. 전낙현, 유일환, 김지수, 이승정, 황경민, & 김정중. (2024). 개착식 전력구의 상태등급에 따른 구조성능에 대한 매개변수 연구. 2. 한국방재학회 논문집, 24(5), 193-201.
2. Lee, S. J., Park, J., Sung, J., Kim, B. K., Lee, H. U., & You, I. (2025). Conductive grout with multiwalled carbon nanotubes for water cut-off self-monitoring in underground tunnels. Nondestructive Testing and Evaluation, 1-22.
3. Choi, W. J., Yang, M., You, I., Yoon, Y. S., Ryu, G. S., An, G. H., & Yoon, J. S. (2025). Discoloration Characteristics of Mechanochromic Sensors in RGB and HSV Color Spaces and Displacement Prediction. Applied Sciences, 15(3), 1066.

ANCRISST 2025 & ZHITU 2025 학회 참석기



박영서
충북대학교
토목공학과 스마트구조연구실
학석사연계과정
1023syp@chungbuk.ac.kr

1. 2025 ANCRISST/ZHITU와 APESS 2025

2025년 7월 21일부터 7월 22일까지 16th Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology(ANCRISST2025) 및 4th ZHITU Symposium on Advances in Civil Engineering(ZHITU2025)가 홍콩 폴리텍 대학교에서 공동 개최되었다. 이번 학회는 스마트 구조 및 건설재료 기술 분야의 최신 연구성과를 공유하고, 국가 간 공동연구 시너지를 창출하기 위해 마련되었으며, 목적으로 다양한 국적의 연구자들이 참가하였다. 학회에서는 컴퓨터 비전 및 AI 기반 구조물 건전성 모니터링, 구조 모니터링 및 평가, 재난 시뮬레이션 및 모니터링, 스마트 구조 및 건설재료, BIM 및 디지털 트윈 등 폭넓은 주제가 다루어졌으며, 관련 분야의 저명한 석학들이 기조강연을 통해 최신 기술 동향과 연구 성과를 공유하는 시간도 마련되었다.

2025 ANCRISST/ZHITU 학회는 APESS(Asia-Pacific-Euro Summer School on Smart Structures Technology) 2025 기간 중에 개최되었다는 점에서 더욱 의미있었다. APESS는 구조 동역학, 스마트 구조 기술, 구조물 건전성 모니터링 분야의 세계적인 전문가들이 참여하여 강의, 실험, 그룹 프로젝트 등 다양한 프로그램을 운영하며, 각국의 대학원생과 박사후 연구원을 대상으로 진행되는 집중형 국제 하계 프로그램이다. APESS 2025는 홍콩 폴리텍 대학교 주관으로 7월 14일 개강하였으며, 8월 1일까지 총 3주간 운영될 예정이다. APESS와

학회가 동시에 같은 곳에서 진행됨에 따라 APESS 참가 학생들 또한 학회에서 발표하거나 세션을 참관하는 등 학회에 적극적으로 참여할 수 있었다. 한편, 다음 해에 개최될 APESS 2026은 미국 퍼듀 대학교에서 개최될 예정이다.

2. 학회 참석 및 발표

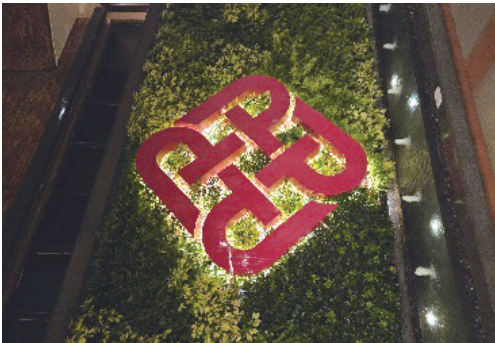


그림 1. Hong Kong Polytechnic University

2025 ANCISST/ZHITU 학회의 첫날인 7월 21일에는 등록 절차, 개회식, 단체 사진 촬영, 기조강연, 그리고 학회 참가자들의 다양한 구두 발표 세션이 진행되었다. Yozo Fujino 교수님, Shirley Dyke 교수님, Hui Li 교수님 등 학회 운영위원회 위원들께서 개회식에 참석하였다. 기조강연은 B.F. Spencer Jr. 교수님의 “Autonomous post-earthquake damage estimation augmented by graphics-based digital twin”를 주제로 한 발표를 시작으로, You-lin Xu 교수님, 윤정방 교수님 등 세계적인 석학들의 강연이 이어졌다. 구두 발표 세션에는 “AI-Enhanced SHM”, “CV-Enhanced SHM”, “Structural Monitoring and Assessment” 등 다양한 주제로 학회 참가자들의 발표가 진행되었다. 한편, 태풍 ‘위파’의 영향으로 인해 항공편이 결항되어

필자는 부득이하게 첫날 일정에 참석하지 못하였다. 22일 새벽 비행편을 이용해 홍콩에 도착한 후, 오전 중 학회장에 도착하여 둘째 날 일정부터 참석할 수 있었다.

둘째 날인 7월 22일 오전에는 전날에 이어 학회 참가자들의 구두 발표 세션이 진행되었다. 필자는 “BIM and Digital Twin” 세션에서 네 번째 발표를 맡았으며, 이번 발표는 필자에게 첫 학회 발표이자 첫 해외 학회 참석이라는 점에서 더욱 뜻깊은 경험이었다. 자신의 연구를 국제 연구자들 앞에서 처음으로 발표하는 자리였기에 긴장감과 설렘이 공존하는 가운데 발표를 시작하였다. 발표를 마친 후에는 “조금 더 잘할 수 있었을텐데” 하는 아쉬움이 남았지만, 동시에 한 명의 연구자로서 첫 발걸음을 내디뎠다는 뿌듯함과 자부심을 느낄 수 있는 소중한 시간이었다.

오후에는 심성한 교수님, Eleni Chatzi 교수님, Yuequan Bao 교수님 등 세계적인 석학들의 기조강연이 이어졌다. 필자에게는 특히 Jian Li 교수님의 “AI-powered concrete dam monitoring”을 주제로 한 발표가 가장 인상 깊었다. 해당 연구는 UAV로 촬영한 콘크리트 댐의 이미지 데이터를 인공지능

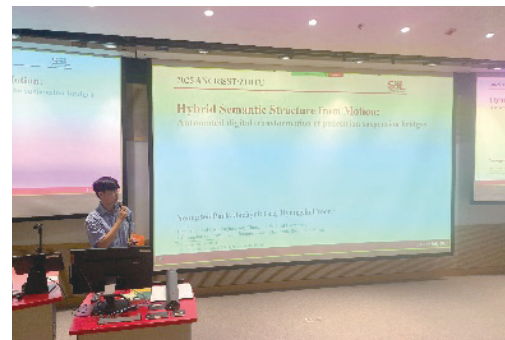


그림 2. 구두 발표

(Hybrid Semantic Structure from Motion: Automated digital transformation of pedestrian suspension bridges)

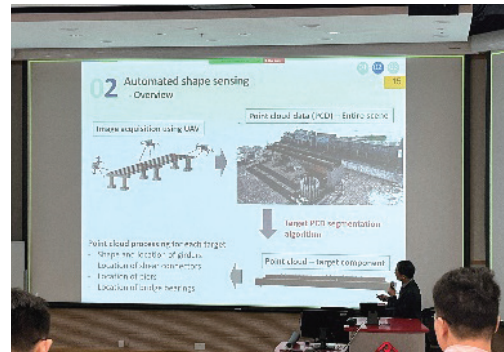
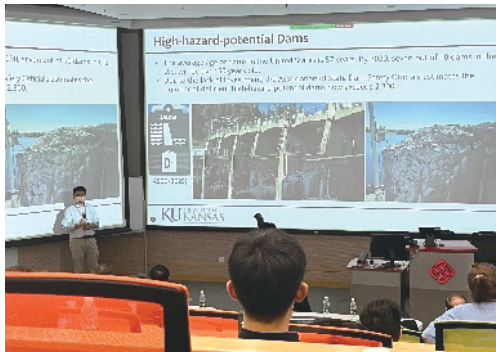


그림 3. 기조강연

기법과 결합하여 정밀한 디지털 트윈을 구축하고 손상을 매핑하는 것이 핵심이었으며, AI와 컴퓨터 비전을 활용한 구조물 모니터링 및 디지털 트윈에 관심이 많은 필자에게 매우 흥미롭게 다가왔다. 이외에도 다양한 기조강연을 통해 최신 기술 동향과 석학들의 연구 접근 방식을 직접 확인할 수 있었으며, 이는 향후 연구 방향을 설정하고 보완점을 모색하는 데 큰 도움이 되었다.

3. 홍콩 여행 및 마무리

학회 일정이 끝난 후에는 홍콩 시내를 둘러보는 시간을 가졌다. 이번 여행에서 가장 인상 깊었던 것은 한국과는 다른 홍콩의 교량 구조와 다채로운 음식 문화였다.

홍콩의 교량들은 도시 구조와 시민들의 생활에 밀접하게 연결되어 있었다. 제한된 도시 공간 속에서 교량들이 다층적으로 교차하고 있으며, 건물 사이를 연결하는 보도교 또한 활발히 활용되고 있었다. 특히 곡선형 교량의 경우, 한국에서는 주로 강상자거더교가 적용되는 반면, 홍콩에서는 소형 콘크리트 상자거더교가 자주 사용되는 점이 눈에 띄었다. 또한, 교량



그림 4. 홍콩의 교량들



그림 5. 홍콩의 음식들

코핑의 규모도 한국에 비해 작다는 점이 인상적이었다.

홍콩의 음식들도 매우 인상 깊었다. 비둘기 구이는 처음 접하는 식재료였지만, 바삭한 식감과 독특한 향이 조화를 이루어 신선한 경험이 되었고, 거위덮밥, 완탕면, 그리고 밀크티는 현지의 일상적인 식문화를 직접 느낄 수 있는 계기가 되었다. 짧은 일정이었지만, 학술행사를 넘어 홍콩의 도시문화와 사람들의 일상을 가까이서 체험할 수 있었던 소중한 시간이었다.

이번 학회는 필자에게 첫 국제 학회 참가 경험이었으며, 다양한 국적과 배경을 가진 연구자들의 발표를 직접 듣고 교류할 수 있었던 뜻깊은 시간이었다. 처음으로 자신의 연구를 국제적인 무대에서 발표하며 긴장도 되었지만, 동시에 한 명의 연구자로서 성장하고 있다는 실감을 얻을 수 있었다. 무엇보다 이러한 값진 기회를 얻게 된 것은 항상 아낌없는 지도와 격려를 보내주시는 윤형철 교수님의 지도가 있었기에 가능했다. 학회 참가를 통해 느낀 점과 배운 내용을 바탕으로, 앞으로의 연구에 더욱 진지하게 임하고자 다짐하는 계기가 되었다. 📌

| 한국방재학회 신입회원 |

No.	회원번호	회원명	회원구분	소속	부서	직위	추천인
1	6379	나선흥	정회원	인하대학교	사회인프라공학과	부교수	사무국
2	6380	이영학	정회원	경희대학교	건축공학과	교수	박헌식
3	6381	이민재	정회원	서울대학교	건설환경종합연구소	연구조교수	
4	6382	김기창	정회원	(주)유원지리정보시스템		대표이사	
5	6383	윤석조	정회원	u1gis	신사업개발팀	이사	
6	6384	황정윤	정회원	인덕대학교		선임연구원	정창삼
7	6385	안성진	정회원	국가철도공단	건설본부 건설계획처	부장	
8	6386	한지상	정회원	충남대학교		대학원생	
9	6387	조철우	정회원	부산광역시	원자력안전과	주무관	
10	6388	김종찬	정회원	국립부경대학교	지속가능공학부 토목공학전공	조교수	한택희
11	6389	윤현수	정회원	경상국립대학교		박사과정	
12	6390	김규찬	정회원	국립공주대학교	시설과	시설6	
13	6391	박범수	정회원	(주)글린테크	경영총괄	대표이사	곽동걸
14	6392	정진영	정회원	주식회사 리맨텍	기업부설연구소	수석연구원	
15	6393	김승환	평생회원	한국토지주택공사	대전충남본부	차장	
16	6394	나안섭	정회원	(주)건축사사무소 권원엔지니어링	PCM본부	전무	양원직
17	6395	홍순혁	평생회원	한국토지주택공사	경기북부지역본부	차장	사무국
18	6396	이종현	정회원	충남대학교	신소재공학과	교수	
19	6397	Feng Quan	정회원	인하대학교 토목공학과		박사수료	
20	6398	이승현	정회원	홍익대학교	건축공학부	교수	
21	6399	윤창섭	정회원	(주)동서엔지니어링	수자원부	부사장	
22	6400	강남욱	정회원	홍익대학교		박사과정	
23	6401	김정훈	정회원	충남대학교 신소재공학과	신소재공학과	학생(박사과정)	
24	6402	김미영	정회원	(주)지원티엠씨		과장	최상현
25	6403	이동수	정회원	고려대학교		연구교수	유정동
26	6404	서윤선	정회원	(주)청우이엔지		대표이사	

| 한국방재학회 신입회원 |

No.	회원번호	회원명	회원구분	소속	부서	직위	추천인
27	6405	조영남	정회원	국가철도공단	시설본부	부장	
28	6406	손민우	정회원	충남대학교	토목공학과	교수	임남형
29	6407	신원하	정회원	충남대학교	토목공학과	석사과정생	
30	6408	서호철	정회원	연세대학교	건설환경공학과	박사후 연구원	
31	6409	김기찬	정회원	인천대학교	도시계획정책학과	박사과정	
32	6410	정민주	정회원	인천대학교	도시계획정책학과	박사과정	
33	6411	김현우	정회원	인천대학교	도시행정학과	부교수	
34	6412	박광련	정회원	한국전력기술	사후관리사업처	차장	
35	6413	김학성	학생회원	금오공과대학교	수문학연구실	학부연구생	
36	6414	한세웅	학생회원	금오공과대학교		학부연구생	
37	6415	김종석	학생회원	서울과학기술대학교	수자원시스템	학부연구생	
38	6416	주도현	학생회원	서울과학기술대학교	수자원공학연구실	학부연구생	
39	6417	김소진	학생회원	서울과학기술대학교		학생	
40	6418	신민섭	학생회원	서울과학기술대학교	수자원시스템	학부연구생	
41	6419	권예윤	학생회원	부산대학교		학부생	
42	6420	김상헌	정회원	이화여자대학교	기후에너지시스템공학과 기상기후 데이터 융합분석 특성화대학원	연구원	
43	6421	박보현	정회원	동양미래대학교	소방안전관리과	조교수	
44	6422	이민우	정회원	공주대학교		연구원	이관호
45	6423	김중현	정회원	부산대학교		대학원생	
46	6424	김유진	정회원	인하대학교	스마트시티공학과 지오인프라연구실	석사과정	나선흥
47	6425	임진혁	정회원	(주)대우건설	토목사업본부	상무	
48	6426	박정민	학생회원	MSSEL		학부인턴	
49	6427	김도경	학생회원	서울대학교	지역시스템공학부	학생	
50	6428	김동민	평생회원	한빛안전기술단	연구소	연구소장	사무국
51	6429	이태현	정회원	지피헬스(주)	연구소	대표이사	사무국

| 한국방재학회 신입회원 |

No.	회원번호	회원명	회원구분	소속	부서	직위	추천인
52	6430	이지희	정회원	한국건설기술연구원		박사후연구원	사무국
53	6431	권태윤	정회원	경상국립대학교	대학원	대학원생	사무국
54	6432	정윤상	학생회원	수원대학교		학부연구생	
55	6433	김민석	정회원	경북대학교	건설환경에너지공학부	박사후 연구원	
56	6434	홍정유	정회원	한국천문연구원	우주위험감시센터	전문위원	
57	6435	김세현	정회원	국립문화유산연구원	안전방재연구실	학예연구사	사무국
58	6436	류용욱	정회원	전남대학교	토목공학과	부교수	박종섭
59	6437	이상은	정회원	국토연구원		연구위원	김학민

한국방재학회에 입회를 원하는 분은 학회 홈페이지에서 회원으로 가입해 주시기 바랍니다.
향후, 이사회의 승인을 득한 후 입회가 확정됩니다.

- 정회원** 방재과학기술에 관련한 과목을 이수한 전문대학 이상을 졸업한 사람, 또는 전문대학을 졸업하고 관련분야 경력이 2년 이상인 사람들이 되며, 또한 본회 이사회에서 자격이 인정된 사람들이 된다. 정회원은 학회의 임원 선출에 관한 추천권을 포함하여 회원으로서의 모든 권한을 가진다.
- 학생회원** 전문대학 또는 대학교에서 관련학과를 전공하는 재학생들이 되며 임원 선출에 관한 추천권은 가지지 못한다. 학생회원은 재학중인 학교를 졸업한 후에는 정회원으로의 자격변경 신청을 하여야 한다.
- 특별회원** 한국방재학회의 설립취지와 목적에 찬동하는 방재과학기술과 관련된 관공서, 학회, 단체, 도서관 및 이와 관련된 사업을 영위하는 법인이 가입할 수 있다. 특별회원은 재해 영향평가 특별자문, 재해 사전점검 및 계획자문, 방재시설물 계획 및 시공 설계 자문, 건설안전자문, 기술 교육 등에 최우선 배려와 학회 광고 게재료 할인 및 학회지 배포 등 의혜택을 부여한다.

『회원의 입회비와 연회비, 평생회비는 다음과 같습니다.』

구분	입회비	연회비	평생회비	비고
정회원	20,000원	50,000원	500,000원	
특별회원 단체A급	—	2,000,000원	—	
특별회원 단체B급	—	1,000,000원	—	
특별회원 단체C급	—	500,000원	—	
특별회원 대학도서관	—	70,000원	—	
학생회원	10,000원	15,000원	—	

- 방재업무 담당 공무원은 이사회의 승인시 입회비를 면제받을 수 있다.

- 학회주소** : 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관 1관 1014호
- 연락처** : 전화)02-567-6311 팩스)02-567-6313 이메일)master@kosham.or.kr
- 은행계좌** : 기업은행 02-567-63111 예금주 : 한국방재학회

| 한국방재학회지 광고신청서 |

본 서식을 작성하셔서 아래의팩스나이메일로 보내주시기 바랍니다

1. 신청기관

업체명						
주소지						
학회지 배송지						
담당자	성명		부서		직위	
연락처	사무실		팩스		휴대폰	
	e-mail					

2. 신청내역 및 금액

구분	표2	표3	표4	앞내지	뒷내지
1회	1,000,000	1,000,000	1,200,000	1,000,000	800,000
1년(6회)	5,400,000	5,400,000	6,480,000	5,400,000	4,320,000

※ 한국방재학회지는 년 6회 발간됨

※ 1년 광고시 10% DC적용(특별회원사 10%DC 별도)

※ 계좌: 기업 02-567-63111 / 예금주: (사)한국방재학회

3. 광고내용

- 광고형식: B5 사이즈, 고해상도의 JPG 파일 또는 AI파일

게재면	표2	표3	표4	앞내지	뒷내지
	()	()	()	()	()
게재월	1월호(), 3월호(), 5월호(), 7월호(), 9월호(), 11월호()				
희망횟수	() 회 광고 게재				

귀 학회가 발행하는 학회지에 광고를 게재하고자 위와 같이 신청합니다.

첨부: 사업자등록증 사본(계산서 발행용)

20 년 월 일

업체명

대표자(또는 담당자)

인

(사)한 국 방 재 학 회 장 귀하

서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관 1관 1014호

전화) 02-567-6312 팩스) 02-567-6313 이메일) master@kosham.or.kr

국내 기상 데이터를 활용하여 건설현장 화재 위험 예측을 위한 ANN 모델 개발	김원창 · 이태규	1
기후변화 대응을 위한 지역 맞춤형 폭염 위기경보 체계 개발: 대한민국 자료 기반 적응형 위험관리 접근	김수란 · 정태성	9
온열질환자 발생가능성의 격자 기반 대시메트릭 매핑	김민석 · 이윤하	17
우리나라의 최근 60년간 산불발생 잠재성 추이에 대한 연구	구자현 · 류정희 · 강성락	27
자연재해가 주택 가격 불균등에 미치는 영향	이달별	41
도심 내 건물 및 지형 조건을 고려한 대기확산 모의 비교: 라그랑지안 입자 확산 모델과 가우시안 플룸 모델	박수현 · 오수빈 · 우주완 · 이상현	49
방사시험 및 소방대원 설문을 통한 50 mm 소방호스 사용 가능성에 관한 연구	한용택	63
해수면상승에 따른 재해취약지역의 공간적 특성 분석	· 안수환 · 이병걸	71
현장 기반 공간위험요소를 활용한 재해위험도 평가	안수환 · 이병걸	79
대형방화스크린서터 엔드락과 가이드레일 이격거리에 따른 셔터면 건전성 확보에 관한 연구	손종원 · 서희원 · 김대회 · 이승재 · 홍성호	89
지르코늄 합금 스크랩 화재 안전성 개선 방안	김정훈 · 김형택 · 김익곤 · 장경훈 · 손지환 · 이종현	97
석유화학 플랜트 시설물의 내화구조 성능 분석 및 보강 방안 연구	류은미 · 이상윤 · 조규환	109
프리캐스트 바닥판-거더 조립식 연속 합성부를 갖는 거더의 구조성능 평가절차 개발 및 해석적 평가	최병호 · Hung Thanh Diep · 김현민 · 문지호	119
국내 지반 함몰 현황 및 관리 체계 분석	김유진 · 이효범 · 이성진 · 나선홍	129
농업용 저수지의 월류방지를 위한 L형 옹벽 구조물의 설계구조 적합성 및 수위별 침투특성 평가	한지상 · 이영학 · 김철한 · 윤보라 · 이달원	137
재난관리시설의 지역단위 지진위험도평가	안숙진 · 박지훈	149
기상학적인자를 고려한 강원지역의 돌발가뭄 발생특성 분석	송영석 · 김하룡 · 최승철 · 김병식	161
인위적 강우 실험을 통한 투수불력의 유출 특성 분석 및 투수포장 실험법 개발 시 검토사항	차성민 · 이정민 · 박재록 · 김재문 · 김명인 · 권순철	171

주성분 분석 기반 회귀모형을 활용한 북한 홍수 및 태풍 피해 추정 연구

————— 이하늘 · 김경훈 · 백선욱 · 윤정환 · 박석근 · 김형수 179

위성 관측자료 활용 확대에 따른 전지구 파랑자료동화 성능 개선 ————— 오상명 · 문일주 193

Development of an Artificial Neural Network Model to Predict Fire Risk at Construction Sites Using Domestic Meteorological Data	Kim, Wonchang, and Lee, Taegyu	1
Development of a Region-Specific Heatwave Crisis Alert System for Climate Change Adaptation: A Data-Driven Approach for Adaptive Risk Management in the Republic of Korea	Kim, Suran, and Cheong, Tae Sung	9
Grid-Based Dasymetric Mapping of the Likelihood of Heat-Related Illness Outbreaks	Kim, Minseok, and Lee, Yoonha	17
A Study on the Trends of Wildfire Potential in South Korea over the Past 60 Years	Koo, Ja-Heon, Ryu, Jung-Hee, and Kang, Song-Lak	27
Impact of Natural Hazards on Housing Price Inequality	Lee, Dalbyul	41
Comparison of Urban Atmospheric Dispersion Simulations Considering Building and Terrain Conditions: Lagrangian Particle Dispersion Model and Gaussian Plume Model	Park, Soohyun, Oh, Su-Bin, Woo, Ju-Wan, and Lee, Sang-Hyun	49
Effectiveness of Using a 50 mm Fire Hose: An Analysis Using Water Shooting Test and Surveying Firefighters	Han, Yong-Taek	63
Analyzing the Spatial Characteristics of Disaster Vulnerable Areas Prone to Sea-Level Rises	Ahn, Su-Hwan, and Lee, Byeong-Geol	71
Disaster Risk Assessment Using Field-Based Spatial Hazard Factors	Ahn, Su-Hwan, and Lee, Byeong-Geol	79
A Study on the Large-Scale Screen Shutter Surface Integrity According to the Distance between the End-Lock and Guide Rail	Shon, Jong Won, Seo, Heewon, Kim, Daehoi, Lee, Seungjea, and Hong, Sungho	89
Improving the Fire Safety of Zirconium Alloy Scrap	Kim, Junghoon, Kim, Hyungtaek, Kim, Euigon, Jang, Kyunghoon, Son, Jihwan, and Lee, Jonghyeon	97
Fire-Resistant Structural Performance and Reinforcement Strategies in Petrochemical Facilities	Ryu, Eunmi, Lee, Sangyun, and Cho, Gyuhwan	109

Development of a Structural-Performance-Evaluation Process of Girders with Prefabricated Continuous Precast Deck-to-Girder Connections and Their Analytical Evaluation	
————— Choi, Byung Ho, Hung Thanh Diep, Kim, Hyeonmin, and M oon, Jiho	119
Ground Subsidence in South Korea and Limitations of its Management System	
————— Kim, Yujin, Lee, Hyobum, Lee, Sung Jin, and Na, SeonHong	129
Evaluation of Structural Suitability and Seepage Characteristics of L-Type Retaining Wall to Prevent Overtopping in Agricultural Reservoirs	
————— Han, Jisang, Lee, Younghak, Kim, Cheolhan, Yoon, Bora, and Lee, Dalwon	137
Regional Seismic Risk Assessment of Disaster Management Facilities	
————— Ahn, Sook-Jin, and Park, Ji-Hun	149
Analysis of Flash Drought Occurrence Characteristics in Gangwon Region Considering Meteorological Factors	
————— Song, Youngseok, Kim, Hayong, Choi, Seungcheol, and Kim, Byungsik	161
Analysis of Runoff Characteristics of Permeable Blocks through Simulated Rainfall Experiments and Considerations for Developing Test Methods for Permeable Pavement	
————— Cha, Sung Min, L ee, Jung Min, Park, Jaerock, Kim, Jae Moon, K im, Myungin, and Kwon, Soonchul	171
Flood and Typhoon Damage Estimation in North Korea Using a Principal Component Analysis-Based Regression Model	
————— Lee, Haneul, Kim, Kyunghun, Baek, Seonuk, Yun, Junghwan, Park, Seok Geun, and Kim, Hung Soo	179
Improving the Global Wave-Data Assimilation Performance Through the Expanded Use of Satellite Observation Data	
————— Oh, Sang Myeong, and Moon, Il-Ju	193

| 한국방재학회 국문논문집 투고안내 |

우리학회에서 발간하고 있는 ‘한국방재학회논문집’은 한국연구재단의 학술등재지로서 일반논문과 긴급논문 두 가지 방법으로 논문접수를 받고 있사오니 회원님들의 많은 관심과 투고 바랍니다.

[참고사항]

- >> 일반논문: 심사기간은 2주이며 게재가, 수정후게재가, 수정후재심, 게재불가로 판정됨
- >> 긴급논문: 심사기간은 10일이며 게재가, 수정후게재가, 게재불가로 판정됨
- 기타: 논문투고는 홈페이지상의 논문투고시스템으로 투고해 주셔야 하며, 논문집에 투고하는 제1저자와 교신저자는 미납연회비가 없는 정회원이어야 합니다.

●● 논문투고료(심사료)

- >> 일반 논문투고료(심사료): 60,000원
- >> 긴급 논문투고료(심사료): 150,000원

●● 논문게재료

구분	논문 게재 면수	기본 및 초과게재료	구분	논문 게재 면수	기본 및 초과게재료
일반 논문 게재료	6쪽까지	100,000원	긴급 논문 게재료	6쪽까지	200,000원
	7~15 쪽	쪽당 30,000원 추가		7~15 쪽	쪽당 50,000원 추가
	16쪽 이상	게재불가		16쪽 이상	게재불가

※ 한국방재학회 논문투고규정이 일부개정됨에 따라 2015년 1월부터 투고되는 논문의 기본 게재면수가 현재 8쪽에서 6쪽으로 변경되었으며, 초과게재료가 상기와 같이 조정되었기에 ‘한국방재학회 논문집’에 투고하시는 회원님께서서는 참고하여 주십시오.

- 학회 입금계좌: 기업은행 02-567-63222 예금주: 한국방재학회
- 논문구독을 희망하시는 분은 학회로 연락하여 주시기 바랍니다
02-567-6311, master@kosham.or.kr
(논문구독료 40,000/년)

감사합니다.

논문집편집위원회 위원장 이주하

| 한국방재학회지 투고안내 |

회원 · 비회원 여러분의 투고를 환영합니다.

게재된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 드립니다.

※ 투고하실 때에는 다음과 같은 투고요령을 따라 주시기 바랍니다.

1. 원고는 HWP(워드프로세서)를 사용하시고, 학회 이메일(master@kosham.or.kr)로 원고를 보내주시기 바랍니다.
2. 원고 분량은 A4용지 기준으로 4~7쪽(글자크기 11p, 줄간격 160%) 내외로 작성하여 주시기 바랍니다.
- 권두언(시론)은 분량과 상관없음
3. 원고의 상단에는 투고자의 성명, 직장, 직위, 사진, 이메일 주소를 정확히 기재하여 주시고, 저자수는 3명 이내로 하여 주십시오.
4. 원고는 한글전용을 원칙으로 하되, 부득이 한자 및 외국어 표기가 필요할 경우에는 ()속에 표기하여 주시기 바랍니다.
5. 본문, 그림, 표, 참고문헌 인용방법 등은 인터넷 홈페이지의 논문집 투고규정 및 논문작성 방법을 따라 주시기 바라며, 단위 표기는 SI 단위계를 사용하여 주시기 바랍니다.
6. 원고를 투고하실 때 메일에 소정의 원고료 입금을 위한 계좌번호와 학회지를 받으실 주소를 명기하여 보내주시기 바랍니다.



우리는 지금도 미래를 짓고 있습니다

Great Possibility



롯데건설

모든 사람이 꿈꾸는 내일 롯데건설이 함께 합니다

가던 길만 가는 기업은 가던 길만 압니다

가지 않은 길을 가는 기업이 있기에
꿈 같은 미래도 가능하지 않을까요?

관광, 유통, 주거시설은 물론
토목, 플랜트, 해외분야까지—

롯데건설은 꿈을 현실로 만들기 위해
다른 사람들 보다 먼저 시작하고 있습니다

Think New, Go Global



〈플랜트사업〉알카트라자 발전소



〈주택사업〉롯데캐슬



〈건축사업〉롯데월드타워



〈해외사업〉신앙롯데월드

〈토목사업〉
영도대교: 부산의 상징으로 길이 214.7m, 너비 25.3m의 도개교(부산광역시 기념물 제56호)

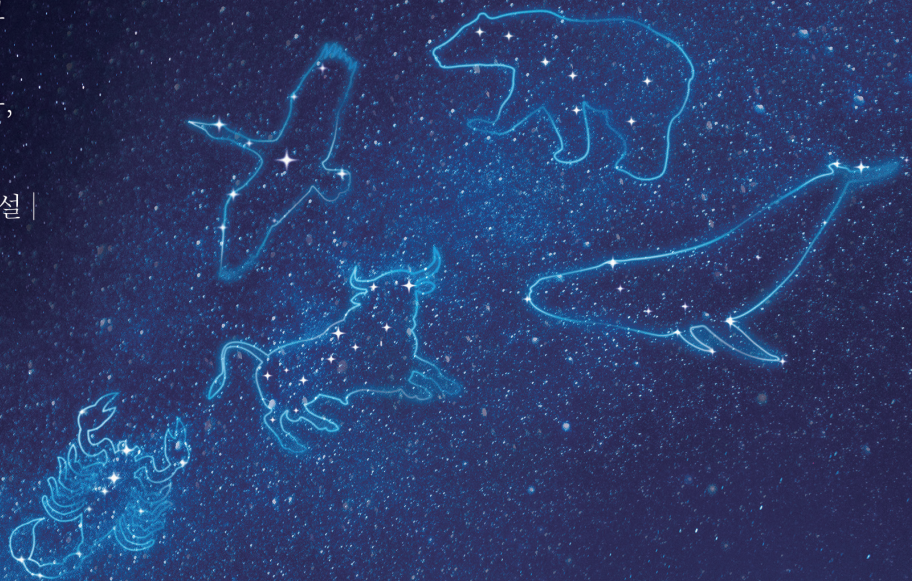
별이 빛나는 밤, 현대건설로부터

태양과 바람이 에너지를 만드는
미래 스마트 도시

탄소 발자국은 점점 사라지고
별빛이 드러납니다.

우주에서 가장 반짝이는 지구,
현대건설이 만듭니다

| 지구의 Green Creator 현대건설 |



CCUS / 수소플랜트

CO₂ 포집기술 확보, 수전해 기반 수소생산기지
구축 등 수소생태계 실현

신재생 에너지

해상풍력, 태양광 등 친환경 재생에너지
사업 및 전력중개사업 추진

차세대 원전사업

국내 건설사 최초 소형모듈원전 (SMR) 상용화
설계 및 원전 밸류체인 확장

세계최장 현수교 1915 차나칼레 대교 유럽과 아시아를 잇다

대륙을 넘어 바다로
대한민국을 넘어 세계로
DL이앤씨의 기술력이
주탑과 주탑 거리 2023m
세계 현수교 역사상
가장 긴 획을 그었습니다

지속 가능한 물 관리의 파트너

우리에게 없어서는 안될 소중한 물
그러나 최근 기후변화로 인한
홍수피해, 물부족, 물순환 왜곡문제는
지금도 현재진행형

물문제 그리고 위기극복을 위한 파트너!
주식회사 헵코리아



서울시 금천구 가산디지털1로 233 에이스하이엔드타워9차 1304~1306 ☎ 02 572 4320 | Fax) 070 4325 6097 🌐 hecorea@hecorea.co.kr | www.hecorea.co.kr



전산수치해석



댐 / 하천 설계



수리수문분석
(건설팅)



저영향개발
계획 및 설계



도시유출해석
(SWMM)



AI 기반 홍수,
침수 예측 기술



가뭄 전망
및 분석



스마트시티
관련 연구개발



3차원수치해석
(FLOW-3D)



기후변화관련
물관리연구사업



AAPME
최우수상



한국수자원학회
수자원대상



한국방재학회
특별상



국토안전관리원
업력이익공유제



국민안전저표창



과학기술정보통신부표창



행정안전부표창



환경부장관표창



가치와 가치를 이어준다



인류의 상상을 뛰어넘다



건설에 문화를 +더하다

극동건설은 가치있는 상상으로 건설문화를 선도하고
풍부한 노하우와 앞선 기술력을 바탕으로
100년 건설명문을 향해 걸어갑니다

KUKDONG