

17CRAP-
C114766-02

교통사고 취약구간 선정 오차율 5% 미만을 위한 교통사고 빈도 시뮬레이션 기반 EEMD 응용기술 개발 최종보고서

2018

국토교통부 · 국토교통과학기술진흥원

Construction & Transportation Technology Advancement R&D

일반 과제(O) / 공개(), 비공개()
국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

발 간 등 록 번 호
11-1613000-002283-01

R&D / 17CRAP-C114766-02

교통사고 취약구간 선정 오차율 5% 미만을 위한 교통사고 빈도 시뮬레이션 기반 EEMD 응용기술 개발 최종보고서

2018. 10. 9.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의

- 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
- 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
- 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

일반 과제(O) / 공개(), 비공개()
국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1613000-002283-01

R&D / 17CRAP-C114766-02

교통사고 취약구간 선정 오차율
5% 미만을 위한 교통사고
빈도 시뮬레이션 기반 EEMD 응용기술 개발
최종보고서

2018. 10. 9.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C11476 6-02	해당 단계 연구 기간	2017.06.24 ~ 2018.06.23	단계구분	2차년/ 2차년
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진 연구사업			
	세부사업명	창조형 모험 분야			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	교통사고 취약구간 선정 오차율 5% 미만을 위한 교통사고 빈도 시뮬레이션 기반 EEMD 응용기술 개발			
연구책임자	김동규	해당단계 참여 연구원 수	총: 5 명 내부: 5 명 외부: - 명	해당 단계 연구개발비	정부: 50,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 50,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 7 명 내부: 7 명 외부: - 명	총 연구개발비	정부:100,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계:100,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	서울대학교 산학협력단			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
- 본 연구는 교통사고 취약구간 선정기술 개발을 목적으로 함 - 교통사고 빈도 시뮬레이션을 개발하여, 교통사고 취약구간 선정기술의 강건 모수를 정산하는 기법을 개발 - 교통사고 취약구간 선정 오차율을 5% 미만으로 낮출 수 있는 EEMD 기법의 응용기술을 개발 - 실제 사고취약구간 선정에 활용하여 개발기술의 적정성을 평가하고, 현장적용 가능성을 높임				보고서 면수: 44	

<국문요약문>

연구의 목적 및 내용	- 본 연구는 교통사고 취약구간 선정 오차율 5% 미만을 위해 교통사고 빈도 시뮬레이션을 개발하고, 이를 기반으로 ensemble empirical mode decomposition(EEMD)기법의 응용기술을 개발하는 것을 목적으로 함 - 외생적 간섭요인을 통제한 환경에서 교통사고의 시·공간적 상관성과 확률적 특성을 모사할 수 있는 교통사고 빈도 시뮬레이션 기법을 개발함 - 교통사고 발생 사건의 시·공간적 상관성을 고려하기 위해 EEMD를 통해 분해된 intrinsic mode function(IMF)의 특성을 분석해 교통사고의 continuous risk profile(CRP)을 생성하고, 개발된 시뮬레이션을 통해 검증 및 개선을 수행함 - 교통사고 시뮬레이션을 통해 모수들의 민감도 분석을 수행하여 다양한 교통사고 발생 시나리오에 대해 교통사고 취약구간 선정 오차율을 5% 미만으로 낮출 수 있는 EEMD 응용기술의 강건 모수를 정산함 - 본 연구에서 개발된 교통사고 빈도 시뮬레이션 기반의 EEMD 응용기술을 실제 사고자료의 취약구간 선정에 적용함으로써, 개발 기술의 적정성을 평가하고 현장적용 가능성을 높임				
연구개발성과	- 교통사고의 확률적 특성과 시·공간적 상관성을 반영하는 교통사고빈도 시뮬레이션 기법 - 교통사고 빈도 시뮬레이션 기반 교통사고 취약구간 선정 EEMD 응용기술. - 교통사고 취약구간 선정 오차율 5% 미만을 만족하는 EEMD 응용기술의 강건 모수 정산(robust parameter calibration) 기법 - 개발된 EEMD 응용기술의 실제 사고자료에 대한 적용 및 평가				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 교통사고 취약구간 선정을 위한 시뮬레이션 기반의 EEMD 응용기술은 연간 49조원에 달하는 교통사고의 사회적 비용을 절감하기 위한 도로안전 개선사업 예산집행의 효율성 제고에 기여할 수 있음 - 교통사고 시뮬레이션 기법은 교통안전성 평가 분야의 신기술 개발뿐 아니라 교통운영, 방재, 구조 신뢰성 분야의 기초기술로 활용 범위를 확장할 수 있음 - 실제 사고자료에서 성능이 검증된 EEMD 응용기술은 여러 단계의 교통사고 취약구간 선정과정을 간소화하여, 범용적으로 활용될 수 있음				
핵심어 (5개 이내)	교통사고 취약구간 선정	교통사고 빈도 시뮬레이션	양상불 경험적 모드분해	강건 모수 정산	

<Summary>

Purpose & Contents	- The objective of this research is to develop an application technique of ensemble empirical mode decomposition (EEMD) based on a crash frequency simulation for less than five percent error rate of hotspot identification - To develop a traffic crash frequency simulation techniques that reflects the stochastic nature and spatiotemporal correlation of crash occurrence in an condition controlled by exogenous factor - To reflect the spatiotemporal influential factors that affect the crash occurrence using continuous risk profile(CRP) computed by analysis of the intrinsic mode functions (IMFs) from EEMD, and develop the application technique of EEMD based on the traffic crash frequency simulation for verification and improvement - To perform the sensitivity analysis of parameter with the traffic crash frequency simulation in various situation and calibrate the robust parameter that could reduce the error rate of hotspot identification less than five percent - To test adequacy of developed simulation-based technique of EEMD and improve its applicability by applying it on real crash frequency data .				
Results	- A traffic crash frequency simulation that reflects the stochastic nature and temporal and spatial correlation of crash occurrence - A application technique of EEMD to identify the hotspot based on the traffic crash frequency simulation - A Method of robust parameter calibration of EEMD application technique to reduce the error rate of hotspot identification less than five percent - An application and evaluation of developed EEMD technique on real crash frequency data				
Expected Contribution	- The traffic crash frequency simulation based application technique of EEMD to identify the hotspot, developed in this research, can reduce the loss cost of traffic crash that amounts almost 49 trillion won annually and improve the efficiency of national road safety budget - The traffic crash frequency simulation can be used in as a evaluation technique in new technologies of traffic safety and extended to the filed of traffic management, emergency management and structural reliability as a basic technique - The EEMD application technique that verifies the performance in real traffic crash data can be used universally by simplifying the sequential process of tradinational hotspot identification technique.				
Keywords	Hotspot identification	Crash frequency simulation	Ensemble empirical mode decomposition	Robust parameter calibration	

< Contents >

1. Research overview	5
2. Status of domestic and overseas technolgh development	8
3. Research contents and results	19
4. Research objective achievement and contributions	39
5. Plan to utilize research achievement	41
6. Overseas information on science and technology	43
7. Security grade for research achievements	44
8. Research facilities and equipments registered in NTIS	45
9. Implementation of safety measures in laboratories	46
10. Representative research achievements	47
11. Other things	48
12. Reference	49

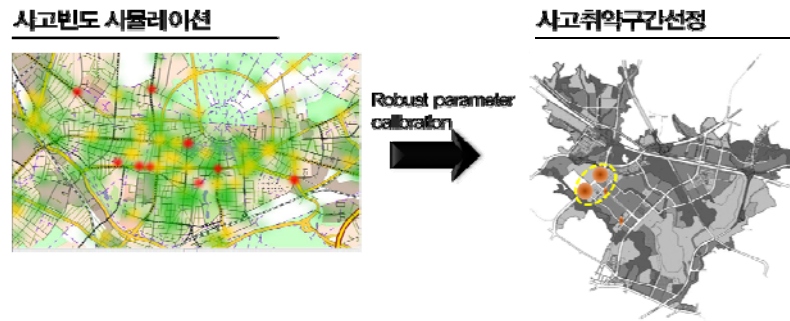
< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	5
2. 국내외 기술개발 현황	8
3. 연구 수행 내용 및 성과	19
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	39
5. 연구개발성과의 활용 계획	41
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	43
7. 연구개발성과의 보안등급	44
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	45
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	46
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	47
11. 기타 사항	48
12. 참고 문헌	49

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 본 연구는 선정 오차율 5% 미만의 교통사고 취약구간을 선정하기 위해, 교통사고의 시·공간적 상관성과 확률적 특성을 모사할 수 있는 교통사고 빈도 시물레이션을 개발하고, 이를 기반으로 ensemble empirical mode decomposition(EEMD)기법의 응용기술을 개발하는 것을 목표로 함.
- 외생적 간섭요인을 통제하여, 참 사고취약구간(true hotspot)을 발생시키고, 다양한 영향 요인에 의한 시·공간적 상관성 및 확률적 특성 모사하는 시물레이션을 구축하여, 교통사고 취약구간 선정기법을 평가할 수 있는 시스템을 구축함.
- 교통사고 시물레이션을 기반으로 교통사고 취약구간 선정기술의 강건한 모수(robust parameter)를 정산(calibration)하고, 실제 사고자료를 토대로 개발기술의 적정성을 평가하며, 현장 적용 가능성 제고를 위한 실용화 기초연구도 포함하여 추진함.



[그림 1.1] 교통사고 빈도 시물레이션 기반 실제 교통사고 취약구간 선정 예시

2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 배경

- 국내 교통사고 사망자 수는 2017년 기준 4,185명으로 100만 명당 사망자 수는 OECD가입국 중 최상위권인 5위를 기록함.
- 2016년 국내 사망원인 중 교통사고는 10위를 차지하고 있으며, 10~30대의 사망의 경우 1~3위 수준으로 가장 주요한 사망원인 중 하나임.
- 2015년 국내 교통사고의 사회적 비용은 약 49.5조 원으로 2014년 대비 약 4.7% 증가한 수치이며, 이는 전체 GDP의 3.17%로 국외 사례와 비교해도 상당한 높은 수준임.
- 2018년 국토교통부는交通安全 개선을 위해 전년 대비 2.1% 증가한 1조 6,536억 원의 예산을 도로 유지보수 및 위험도로 안전개선에 투입할 예정이며, 지속적으로 증가하고 있는交通安全 예산의 효율화를 위해 과학적인 사고취약구간 선정기법이 필요함.

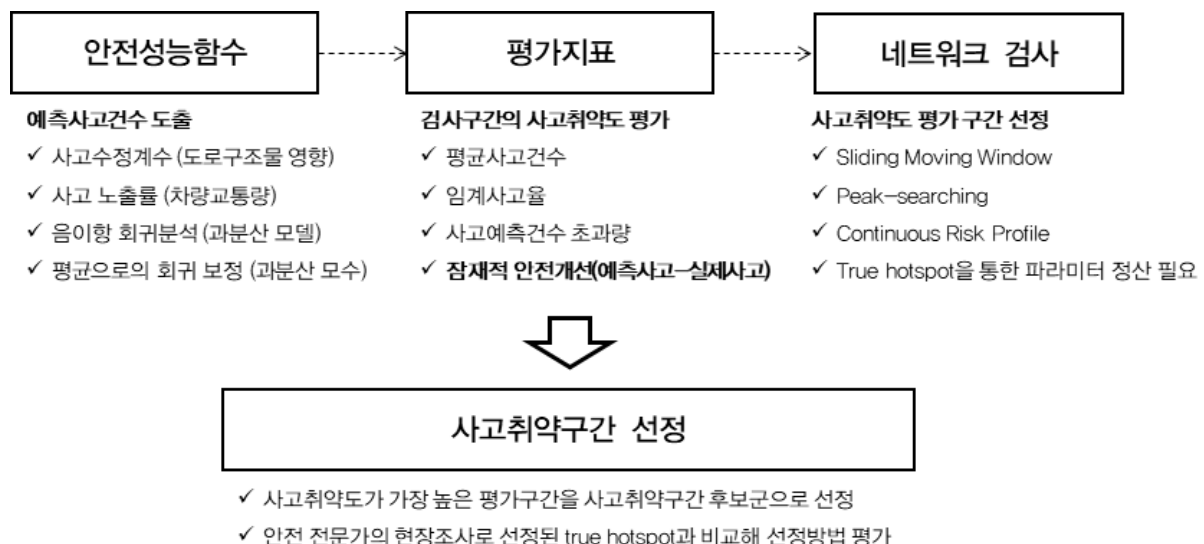
[표 1.1] 주요 국가 GDP 대비 교통사고 비용(2016년)

국 가	교통사고비용	GDP	GDP대비 교통사고비용	기준년도
한국	\$212.6억	\$14,659억	1.45	2016
일본	\$668.3억	\$50,351억	1.33	2009
영국	\$129.3억	\$29,419억	0.46	2014
미국	\$2,140억	\$149,644억	1.43	2010
독일	\$432억	\$37,303억	0.87	2013

* 자료 : 2017년판 '16 도로교통 사고비용의 추계와 평가', 도로교통공단, 2017

나. 연구개발의 필요성

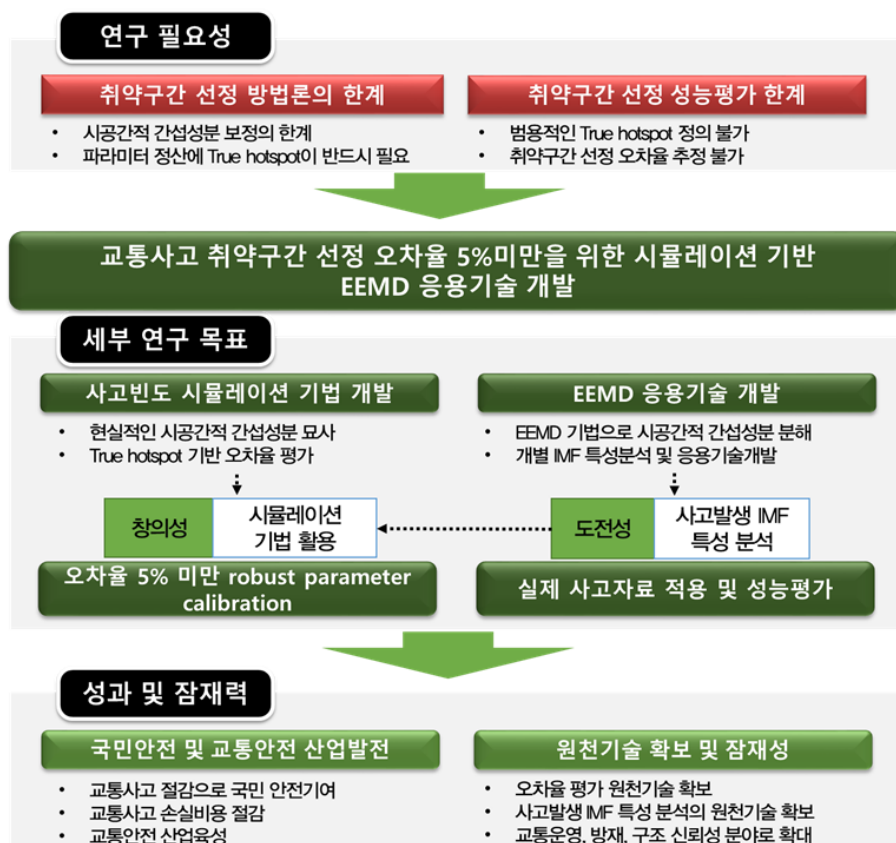
- 국내 도로안전개선사업 수행을 위한 교통사고 취약구간 선정방법론은 단순사고건수 또는 사망자 수를 이용하는 가장 신뢰성이 낮은 기법을 사용하고 있어 예산집행의 비효율성을 초래할 수 있음.
 - － 단순 사고 건수 또는 사망자 수는 도로 안전시설의 문제가 아닌 교통량이 많아 사고가 자주 발생하는 지역을 취약구간으로 선정하기 때문에 도로시설 개선을 통한 사고 감소 효과가 미비함.
- 미국도로교통공무원협회(AASHTO)에서 발행한 Highway Safety Manual(HSM)은 경험적 베이스, 잠재안전개선지수 등의 사고취약구간 선정방법을 제시하였음.
 - － HSM 제시기법은 교통량에 따른 사고 발생 건수를 예측하고, 사고의 무작위성을 보정하여 도로안전개선 시 사고감소 효과를 극대화할 수 있는 구간을 취약구간으로 선정함.
 - － 교통사고 발생은 시·공간적 상관성뿐 아니라 확률적 특성도 동시에 가지고 있지만 HSM 기법은 이를 반영하는 데에 한계가 있으며, true hotspot을 미국 교통안전 전문가가 현장조사를 통해 선정하게 되어있어 취약구간 선정기법의 평가가 어려움.
- 미국, 중국, 유럽 등 많은 국가에서 HSM의 한계점을 극복한 과학적인 사고 취약구간 선정기법 개발을 위해 정부 차원의 적극적인 연구개발 투자가 진행 중이며 이를 통해 교통사고비용 감소를 목표로 하고 있음.
- 한국도로공사에서도 HSM 기반의 방법론들을 국내에 적용하는 연구를 진행하였으나, 근본적인 한계점 개선보다는 국내특성에 맞는 모수 정산 수준에 그치고 있어 실효성이 제한적임.
- 따라서 실제 사고자료에서 발생할 수 있는 외생적 간섭요인을 통제함으로써 교통시설 개선 및 안전 관리가 중점적으로 이루어져야 할 사고취약구간을 정의하고, 이를 통해 교통사고 취약구간 선정기술을 개발하는 근본적인 개선연구가 필요함.
- 또한, 기존 교통사고 발생의 다양한 특성을 복잡한 통계적 추정이나 전문가의 판단 없이 데이터만을 활용해 반영하여 이론적 연구가 아닌 실용화에 장점이 있어야 하며, 국내뿐 아니라 전 세계적인 범용성이 확보되어야 함.



[그림 1.2] HSM기반 사고취약구간 선정 절차

다. 연구개발의 중요성

- 교통사고 취약구간 선정기법에 대한 기존 연구들은 시공간적 간섭성분이 포함된 실제 사고자료를 통해 간접적으로 평가되거나 제한적인 교통전문가의 현장조사에 의존하여 성능평가의 범용성이 떨어짐.
 - － 교통사고 빈도 시뮬레이션 기법을 통해 true hotspot을 발생시키고 사고취약구간 선정 기법의 오차율을 추정한다는 창의적 접근을 통해 취약구간 선정기법의 객관적 평가 가능.
- 기존 HSM 기법이 갖는 비효율성 및 편의를 데이터만을 활용해 보정하여 취약구간 선정의 효율성과 일반화 성능을 동시에 개선할 수 있음.
 - － 안전성능함수 구축 시 필요한 광범위한 기하구조 및 도로상태 조사, 사고자료의 과분산성으로 인한 일반화 성능 감소, 전문가 현장조사로 인한 비용 등의 한계를 극복함.
 - － 사고 발생의 특성을 전문가적 판단 없이 데이터 기반 처리를 통해 분석하여 기존의 복잡한 통계적 추정과정을 간소화하고, 실용성을 증대시킬 수 있음.
- EEMD 응용기술은 데이터 기반 분석기술을 교통사고 자료에 활용한 선도적 기술로, 분해된 IMF의 특성을 연구하여 사고의 시공간적 상관성에 대한 이해를 넓힐 수 있음.
 - － 과분산적 특성을 갖는 공간자료에 대한 IMF 특성연구는 시공간적 상관성에 대한 반영 뿐 아니라 시공간적 상관성을 발생시키는 다양한 영향요인 규명에도 활용될 수 있음.
- 교통사고 시뮬레이션 기법 및 EEMD 응용기술은 교통 안전성 평가 분야의 신기술 개발 뿐 아니라 유사한 특성을 갖는 다양한 재난·재해 분야에 응용될 수 있음.
 - － 지진의 전파, 재난의 영향, 구조 신뢰성 등 시뮬레이션 기반 연구가 활발히 진행되고 있는 다양한 방재 관련 분야에 활용 가능함.
 - － 공간자료인 사고자료에 대한 EEMD 응용기술은 기존 시계열 자료 분석에 국한되어 있던 신호처리 분야의 새로운 접근으로 광범위한 시·공간적 빅데이터 처리에 활용 가능함.



[그림 1.3] 연구의 흐름도

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 교통사고 취약구간 선정 방법론 및 국외현황

가. 사고발생의 특성

- 교통사고는 도로 위 다양한 사건 중 특정 요인들의 복합적 영향을 받아 드물게 발생하며, 임의성이 커 같은 조건에서도 발생 여부 판단에 한계가 있음.
- 신뢰성 있는 사고빈도 예측을 위해서는 사고의 통계적 특성에 의해 발생하는 편이들을 적절히 보정해야 함.
 - (1) 자연적 사고 건수의 변동
 - 사고는 확률적 사건이기 때문에 시간에 따른 변동성을 내재하고 있으며, 이로 인해 단기간의 사고 건수 평균을 장기간의 사고 건수 추정치로 활용하는 데에는 한계가 있음.
 - 장기간의 사고자료를 분석하기 위해서는 단순 평균사고 건수가 아닌 사고의 공간적 분포를 검토하여 해당 구간의 사고위험도를 평가해야 함.
 - (2) 평균으로의 회귀 편이
 - 사고 발생의 임의성으로 인해 비교적 높은 사고 건수가 관측된 후에는 다음 주기에 비교적 낮은 사고 건수가 나타날 수 있는데, 이를 평균으로의 회귀라고 함.
 - 장기추세에 대한 고려 없이 관측사고 건수의 단기적 추세를 기반으로 사고취약구간을 선정하는 경우 관측사고 건수가 높게 나타났을 때 실제 사고위험도로 인한 것인지 단순히 임의성으로 인한 것인지 판단할 수 없음.
 - 따라서 일정 기간 이상의 관측 자료를 바탕으로 평균으로의 회귀 편이를 반영하여 기대 사고 건수를 산출하여야 임의성으로 인한 영향을 최소화할 수 있음.
 - (3) 도로 특성 및 환경의 변화
 - 교통량의 경우 연속적으로 변화하기 때문에 연도별 변화를 반영할 수 있지만, 도로시설의 개선이나 주변 환경의 변화는 분석 기간에 따라 큰 변동이 있을 수 있음.
 - 사고취약구간의 신뢰성 제고를 위해서는 교통량뿐 아니라 도로구간의 기하구조 정보를 반영하여 도로 특성 및 환경 변화의 영향을 통제해야 함.

나. 교통사고 취약구간 선정을 위한 평가지표

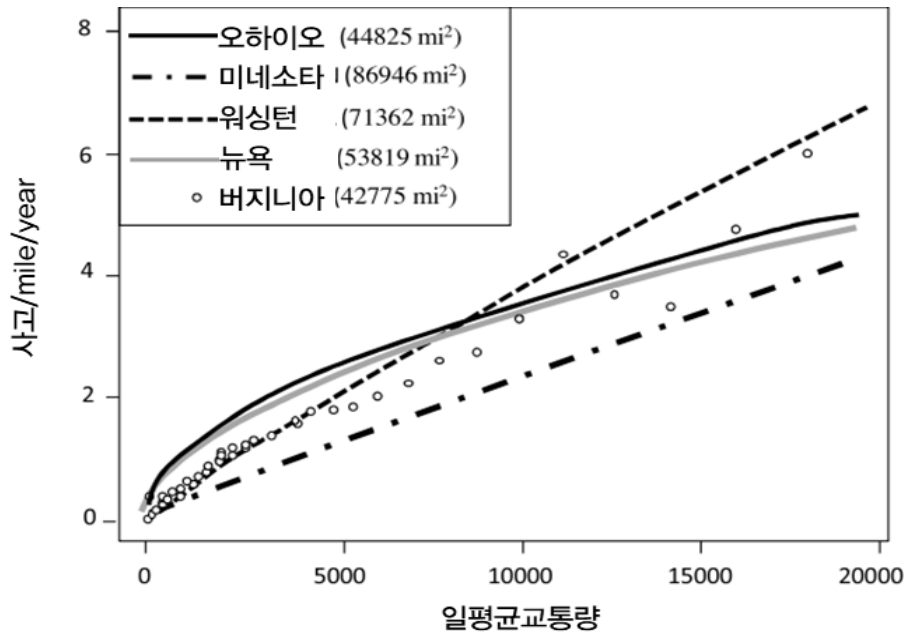
- HSM에서 제안한 사고 취약구간 선정을 위한 평가지표와 각각의 특성은 아래와 같이 정리됨.
 - (1) 평균사고 건수
 - 관측사고 건수의 절대적 크기에 따른 순위가 정렬되며, 분석목적에 따라 특정 심각도 및 사고유형에 대한 절대적 크기가 부여.
 - 해당 구간의 교통량에 대해 고려가 없어 교통량이 적은 지점에 대해 true hotspot임에도 사고취약구간으로 선정되지 않는 false negative error가 발생.
 - (2) 사고율
 - 사고발생량을 해당 구간의 교통량을 통해 표준화하여 상대적인 크기를 비교함.
 - 대물 피해 환산계수 및 상대적 심각도 지표와 연계된 분석이 가능하지만, 교통량이 적고 사고 건수가 적은 지역에 우선순위를 부여할 가능성이 큼.
 - (3) 대물 피해환산액
 - 사고 발생에 대해 심각도별 가중치를 적용하여 금전적 사고비용의 총액으로 전환하여 최종적으로 도출된 값의 절대적 크기에 따라 우선순위를 정렬함.

- 해당 구간의 교통량에 대해 고려가 없어 설정된 사고 심각도별 가중치에 따른 평가결과와 일관성이 없음.
- (4) 상대적 심각도 지표
- 심각도 또는 사고유형으로 세분화된 분석 대상의 사고비용이 전체 사고비용 대비 비율로 산정되고, 그 값을 분석지역과 유사한 참조그룹을 설정해 비교하여 평가함.
 - 사고 심각도 및 유형별 비교분석이 가능하나 평균으로의 회귀로부터 발생하는 편의를 고려하지 못하고, 설정된 심각도별 가중치에 따라 평가결과와 일관성이 없음.
- (5) 임계사고율
- 분석지역과 유사한 참조그룹으로부터 도출되며, 분석지역의 사고율이 임계사고율을 초과할 때 상대적인 크기에 따른 우선순위가 정렬됨.
 - 교통량이 적은 지점에 대해 false negative error를 완화하고, 사고자료의 변동성을 고려한 임계치 설정이 가능하나 평균으로의 회귀로부터 발생 되는 편의를 반영 못 함.
- (6) Method of moments를 이용한 예측사고 건수 초과량
- 관측사고 건수를 사고 건수의 분산과 참조그룹의 사고 건수를 통해 보정하고, 이를 참조그룹의 평균사고 건수와 비교해 잠재적 안전개선(potential for safety improvement, PSI)을 산출하여 다른 구간과 비교함.
 - 교통량이 매우 적거나 사전에 지정되지 않은 사고유형에 대한 별도의 추가분석이 요구되며, 평가지표에 따른 순위는 참조그룹 설정에 따라 큰 영향을 받음.
- (7) 안전성능함수 기반 예측사고 건수 초과량
- 관측사고 건수는 참조그룹의 안전성능함수로부터 도출된 예측사고 건수와 비교되며, 그 차이에 따라 순위가 정렬됨.
 - 교통량에 대한 특성을 고려할 수 있으며, 위험 구간 선정에 대한 임계값 산출이 가능하나 평균으로의 회귀로부터 발생하는 편이가 존재함.
- (8) 임계비율을 초과하는 특정 사고유형의 비율
- 특정 사고유형 및 심각도의 비율이 주어진 임계값보다 더 높을 확률에 따라 지점들의 순위가 정렬됨.
 - 임계값은 각 참조그룹으로부터 도출되며, 참조그룹 내 분석 대상이 되는 사고유형 및 심각도 비율이 임계치로 정의되나 사전에 지정되지 않은 사고유형에 대한 별도의 추가분석이 요구됨.
- (9) 경험적 베이지 방법 기반의 기대사고 건수
- 관측사고 건수와 안전성능함수로부터 도출된 예측사고 건수를 과분산성을 기준으로 가중평균하여 기대사고 건수를 산출하며 도출된 값을 바탕으로 순위가 정렬됨.
 - 평균으로의 회귀로부터 발생하는 편의를 고려할 수 있으나 해당 평가지표는 분석 지점별로 안전성능함수의 구축이 요구됨.
- (10) 경험적 베이지 방법 기반의 기대사고 건수 초과량
- 관측사고 건수와 안전성능함수로부터 도출된 예측사고 건수를 과분산성을 기준으로 가중평균하여 기대사고 건수를 산출하며, 기대사고 건수와 관측사고 건수를 비교해 기대사고 건수 초과량 도출.
 - 평균으로의 회귀로부터 발생하는 편의를 고려할 수 있으며, 참조그룹의 기댓값보다 더 많은 사고가 발생한 지점을 판단하는 임계값 설정이 가능하나 분석 지점별로 안전성능함수의 구축이 요구됨.

- 최근 연구들은 위 평가지표 중 평균으로의 회귀와 사고 노출률을 고려한 “경험적 베이지 방법 기반의 기대사고 건수 초과량”을 평가지표로 활용하며, 이는 사고취약구간의 개선을 통해 얻을 수 있는 기대 사고감소 효과인 PSI로 해석됨.

다. 안전성능함수

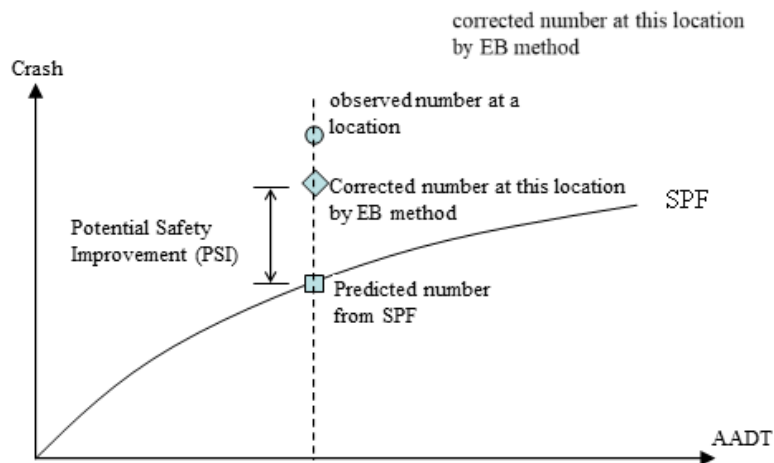
- 교통사고 취약구간 선정은 노출률을 기반으로 교통사고의 예측건수를 도출하는 안전성능함수가 필요하며, 이를 위해 분포가정을 기반으로 한 통계적 빈도모형에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음.
 - 교통사고 발생은 특정한 시간적 범위를 가지고 발생하는 빈도자료이므로 포아송 회귀모형을 통해 사고 노출률을 반영한 안전성능함수가 가장 먼저 제안됨.
 - 하지만 사고빈도는 분산이 평균보다 큰 과분산성을 가지기 때문에 포아송 분포의 변형인 포아송-감마분포를 가정하는 음이항 회귀모형을 통해 안전성능함수를 개선함.
 - 다양한 분포가정을 기반으로 한 감마모형, Conway-Maxell-포아송모형, 음이항-Lindley 모형 등도 더 정확한 사고빈도 예측을 위해 제안되었음 (Lord and Mannering, 2010).
 - 빈도모형의 분포가정의 한계를 극복하기 위해 사고의 무작위성이나 시공간적 상관성을 정량화하여 모델에 반영하는 모형이 제안되었음 (Narayanamoorthy et al. 2013; Agüero-Valverde, 2013).
 - 가장 최근에는 사고빈도자료의 시공간적 상관성을 잠재변수로 나타내 빈도모형에 반영한 generalized ordered-response model이 개발되어 지속해서 개선되고 있음 (Bhat et al., 2014; Pour-Rouholamin and Zhou, 2016)
- 전통적 빈도모형과 달리 인공신경망, 지지벡터머신 등 기계학습 기법을 통해 빈도모형의 정확도를 개선하는 연구가 진행되고 있으나, 변수의 설명력을 파악하기 어려워 모형 개선을 위한 적절한 변수선택에 어려움이 있음 (Yu and Abdel-Aty, 2013; Shi and Abdel-Aty, 2015).
- 안전성능함수는 노출률 및 관련 도로변수 이외에 교통안전 시설물, 도로 기하구조 등 교통안전 개선사업으로 인한 영향을 고려해야 하며, 이를 계수형태로 나타낸 것을 사고수정계수(crash modification factor, CMF)라고 함.
 - 미국연방 도로국은 CMF Clearinghouse (Federal Highway Administration, 2014)를 통해 다양한 지역의 실험연구들에서 개발된 CMF를 종합적으로 관리하여, 전 세계적으로 활용될 수 있는 가이드라인을 제시함.
 - CMF는 지역적 특성이나 날씨와 같은 외재적 요인의 통제가 어렵고, 충분한 기간의 사전·사후 평가가 요구되기 때문에 보수적으로 활용되어야 함.
- 평균으로의 회귀 편익, 교통량 변화, 시간에 따른 변화 등 교통사고의 희소성 및 임의성에 의한 편익들은 안전성능함수에서 추정된 파라미터를 통해 보정이 가능함
 - 경험적 베이지는 안전성능함수 개발 시 추정되는 과분산성을 활용하여 교통사고의 주요 편익을 보정하는 가장 대표적인 방법임.
 - 안전성능함수를 통해 예측된 사고 건수와 관찰된 사고 건수를 과분산성으로 바탕으로 추정된 가중치를 활용해 가중평균하여 보정된 기대사고 건수를 도출함.
- 교통사고 빈도모형 - 사고수정계수 - 경험적 베이지의 세 단계는 교통사고 취약구간 선정에서 중요한 예측사고 건수를 도출하는 과정이지만, 각 단계의 오차나 편익이 누적되기 때문에 사고취약구간 선정결과에 큰 영향을 줌.
 - HSM을 기반으로 안전성능함수를 구축하는 미국도 서로 다른 도로 및 주행특성으로 인해 주마다 다른 형태의 안전성능함수가 개발되고 있음 (Lee et al., 2016).



[그림 2.1] 미국 주요 주별 안전성능함수 개발 현황 (Lee et al., 2016)

라. 교통사고 취약구간 선정기법의 원리

- 교통사고 취약구간 선정기법은 안전성능함수를 통해 도출된 기대사고 건수와 관측사고 건수의 차이인 PSI가 최대인 지점을 선정하는 것을 목표로 함.
- PSI로 나타나는 교통사고 감소 효과를 최대화하고, 현장조사 및 시설개선을 수행해야 하는 구간을 최소화하여 예산집행의 효율성을 높이는 것이 교통사고 취약구간 선정기법의 목표임.



[그림 2.2] PSI를 활용한 사고취약구간 평가 개념도

자료 : http://safety.fhwa.dot.gov/hsm/casestudies/il_cstd.cfm

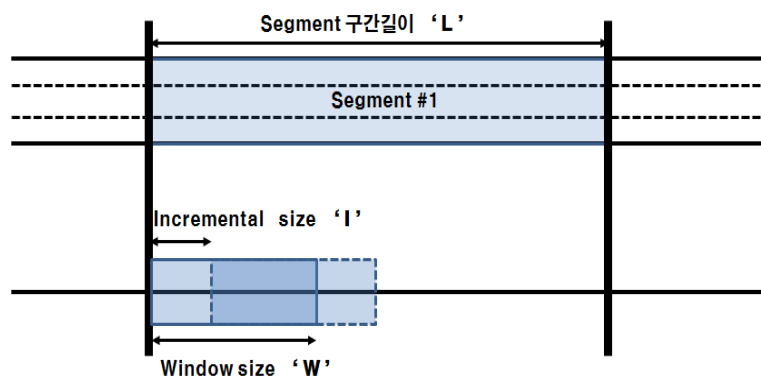
마. 네트워크 검사

- 네트워크 검사란 도로이정에 따라 평가지표를 통해 사고취약도를 산출하며 교통안전 개선사업의 공간적 범위를 설정하는 과정으로, 네트워크 검사를 통해 도출된 구간에 교통 전문가를 파견하여 최종적으로 사고취약구간 여부를 결정함.
- 네트워크 검사의 성능은 사고 발생의 공간적 상관성을 적절히 바로잡아, true hotspot의 위치를 적은 범위로 찾아내는 것으로 평가할 수 있음.

- 너무 넓은 범위의 사고취약구간을 선정하면, true hotspot이 아닌 지역이 선정되는 false positive가 발생해 현장조사에 비용이 과다하게 투입되는 비효율이 발생함.
 - 너무 좁은 범위의 사고취약구간을 선정하면, true hotspot인 지역을 찾아내지 못하는 false negative가 발생해 안전개선이 필요한 지역에 예산이 투입되지 못함.
- 네트워크 검사에 활용되는 방법론은 크게 sliding moving window, peak searching, continuous risk profile의 3가지로 나뉘며, 최근까지 이들을 개선하는 연구가 진행 중임

(1) Sliding moving window

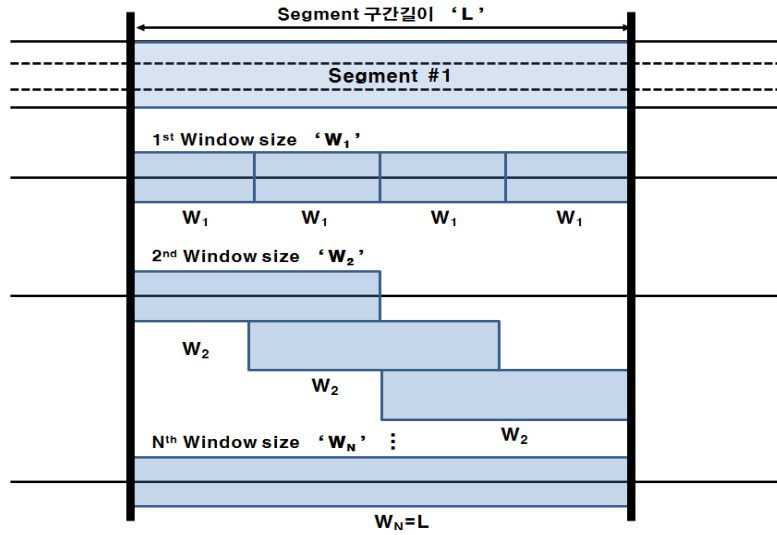
- 동질도로구간 속에서 단위 길이의 window를 도로구간을 따라 특정 길이만큼 움직이면서 해당 window의 평가지표 값을 산출하는 방법임.
- 동질도로구간 내 서브 구간(window) 중 PSI가 가장 큰 구간의 평가지표 값이 해당 도로구간의 대푯값이 되어 다른 도로구간들과 비교됨.
- 해당 방법 적용을 위해서는 분석구간 전체를 다수의 동질도로구간(segment)으로 나누는 과정이 필요하며 평가지표 값을 산출하는 기준이 되는 window가 다음 window와 중첩된다는 특징이 있음.
- 서브 구간의 최댓값이 해당 도로구간의 대푯값으로 선정되고, 도로구간들은 서로 중첩되지 않기 때문에 사고 발생의 공간적 상관성을 반영하는데 제약이 존재함.
- 세 가지 파라미터인 segment 구간길이(L), window의 크기(W), window의 이동단위(I)가 분석자의 판단이나 현장조사 자료를 통해 적절히 설정되어야 하며, 파라미터에 따라 민감하게 취약구간 선정결과가 달라지는 것으로 알려져 있음.



[그림 2.3] Sliding Moving Window의 개념도

(2) Peak searching

- Sliding moving window와 같이 동질도로구간 내 window에 대해 PSI 값을 계산하되 PSI 값의 변동성을 기준으로 window 크기를 재설정하는 과정이 포함됨.
- 도로구간 내 PSI의 변동성이 기준치보다 큰 경우 해당 값이 대푯값으로서 신뢰성이 떨어진다고 판단하여, window의 크기를 점차 증가시키면서 동일한 작업을 수행함.
- 변동성 기준을 만족하는 window 크기에서의 도로구간 내 PSI의 최댓값을 기준으로 다른 도로구간과 비교하여 사고취약구간을 선정함.
- 세 가지 파라미터인 Segment 구간길이(L), window의 크기(W), 변동성 기준(δ)이 적절히 설정되어야 하며 변동성 기준의 경우 0.5가 초기값으로 적합하다고 제안됨(HSM, 2010).



[그림 2.4] Peak Searching의 개념도

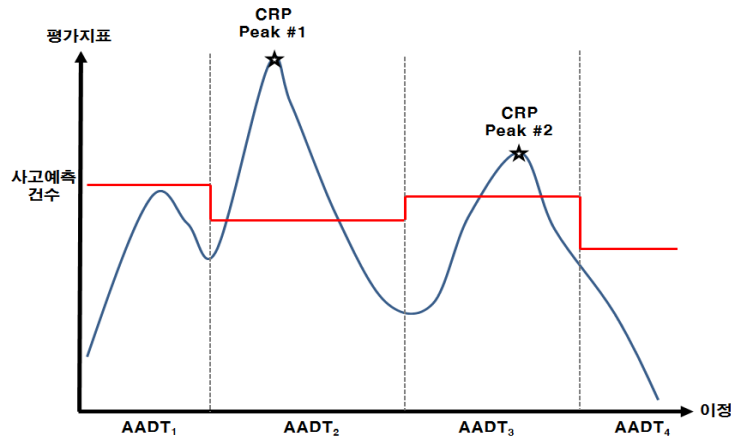
(3) Continuous risk profile

- Continuous risk profile(CRP) 기법은 HSM에는 제시되지 않은 최신 기법으로 캘리포니아 도로국에서 사용하고 있으며, 공간적 임의성을 제거하고 공간적 상관 및 노출률을 반영하는 기법임 (Chung et al., 2009).
- Segment의 정의를 통해 대푯값을 산출하는 sliding moving window, peak searching 기법과 달리 CRP는 가중이동평균법을 사용하여 연속적인 계산을 수행하기 때문에 segment 정의에 따른 사고취약구간 선정의 단절성을 극복할 수 있고, 사고 발생의 공간적 상관성을 반영할 수 있음.
- 도로에 따라 일정한 크기의 window를 조금씩 이동해 가면서 window 내부의 측정값을 구한 뒤 그래프를 도시하며, 관측사고 건수가 기대사고 건수를 초과한 부분에 대해서만 도식화하기 때문에 segment보다 작은 범위의 취약구간 선정이 가능함.

$$M(d) = \frac{\sum_{i=-\min(L/l, (d-d_0)/l)}^{\min(L/l, (d_{end}-d)/l)} A(d+i \times l)}{\min(L/l, (d_{end}-d)/l) + \min(L/l, (d-d_0)/l) + 1}$$

이때, $M(d)$ =window $[d-L, d+L]$ 에서의 기대사고건수, $A(d)$ =window $[d-l/2, d+l/2]$ 의 사고 건수, d_0 =분석 시점, d_{end} =분석 종점, l =window의 이동단위, $2L$ =window의 크기

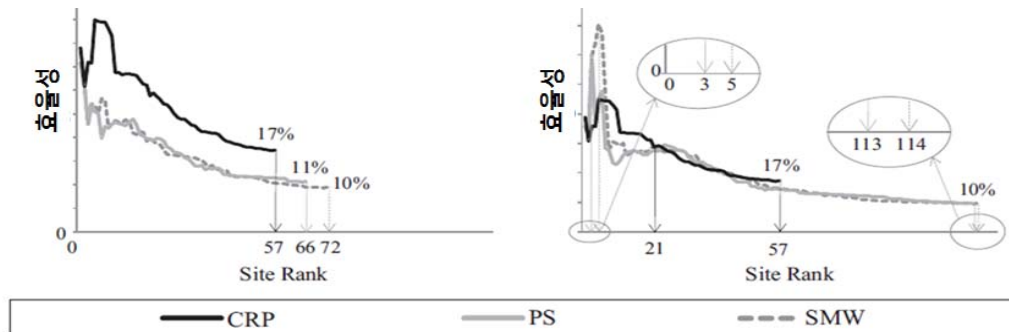
- 최고점의 위치와 형태를 통해 사고취약구간의 식별이 가능하며, CRP의 크기와 모양으로 나타나는 공간적 상관성을 활용해 기존 경험적 베이스에 비해 더 적절하게 평균으로의 회귀 편의를 보정할 수 있음 (Lee et al., 2016).
- 두 가지 파라미터인 window의 이동단위(l)과 window의 크기(L)이 적절히 설정되어야 하며, 파라미터에 따라 false positive와 false negative의 선정 비율이 달라짐.



[그림 2.5] Continuous Risk Profile (CRP)의 개념도

(4) 방법론별 특성 비교

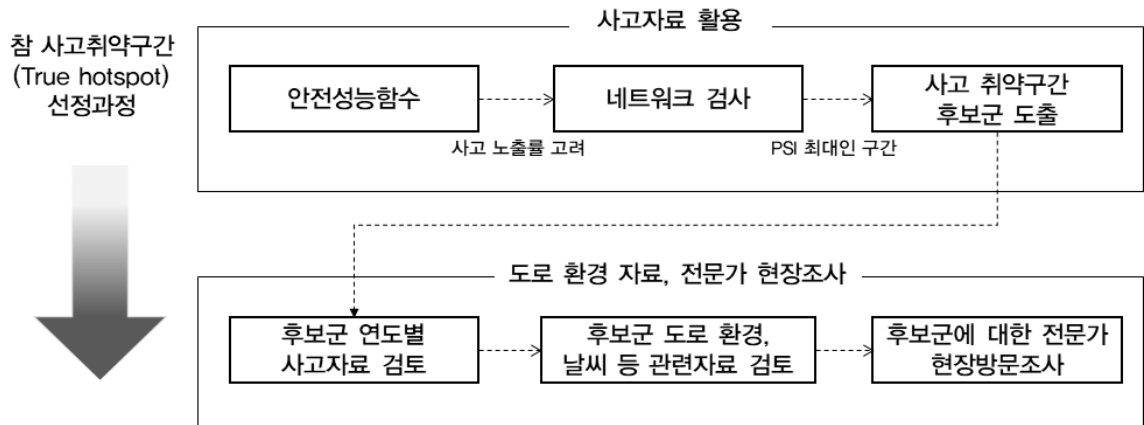
- 최근 미국 캘리포니아주에서는 CRP 기법이 가진 장점을 바탕으로 다른 기법들과의 비교분석을 수행하는 연구가 진행되었음.
- CRP 기법은 세밀한 취약구간 선정, 공간적 상관성 반영 등의 장점을 활용해 기존 취약구간 선정방법보다 true hotspot 선정 오차를 측면에서 더 높은 성능을 보임 (Kwon et al., 2013)
- 하지만 true hotspot 자료가 구축된 캘리포니아 주의 도로를 대상으로 세 방법론 다 모수 정산을 수행한 후 성능 비교를 하였기 때문에 CRP 기법의 모수 정산이 불가능한 다른 지역에 범용적으로 사용하는 데에는 한계가 있음



[그림 2.6] 네트워크 검사 방법론별 효율성비교 (Kwon et al., 2013)

바. 참 교통사고 취약구간(true hotspot)의 정의 및 선정과정

- 교통사고 자료에서 도출된 안전성능함수와 네트워크 검사를 통해 PSI가 최대인 지점을 교통사고 취약구간 선정하였더라도 해당 지점이 반드시 true hotspot은 아니며 추가적인 조사를 통해 true hotspot 여부를 판별해야 함.
- 교통사고 취약구간 선정기법을 통해 선정된 사고 취약구간 후보군들은 후보군들의 연도별 사고자료, 도로환경 관련 자료, 교통안전 전문가 현장방문을 마친 후 최종적으로 true hotspot 여부가 판별됨.
- 본 연구에서 목적은 오차율 5% 미만의 정확도로 true hotspot을 선정하기 위해 true hotspot의 후보군을 선정하는 기법을 개발하는 것임.



[그림 2.7] 참 교통사고 취약구간(True hotspot) 정의 및 선정과정

2. 교통사고 취약구간 선정 국내현황

가. 교통사고 잦은 곳 개선사업

○ 개요

- 도로교통공단, 지자체 등에서 교통사고 잦은 구간을 선정하고, 안전개선 사업, 모니터링 등의 사업을 진행하고 있음.
- 『제7차 국가교통안전기본계획(2012~2016)』과 『제5차 교통사고 잦은 곳 개선사업 추진계획(2012~2016)』에 따라 교통사고 잦은 곳이 선정되고, 이에 대한 개선사업이 추진되고 있음.
- 전국에서 발생한 교통사고를 전수 조사하여, 일정기준 이상의 교통사고가 발생하는 지점을 취약지점으로 선정하여 개선사업을 시행하고 있음.
- 사고자료의 특성상 단기간 사고자료를 기반으로 선정할 경우 우연성의 효과를 배제할 수 없으며, 일시적 사고증가로 인해 개선지역으로 선정될 경우 평균으로의 회귀 현상으로 인해 사고 개선 효과가 과대 추정될 수 있음.
- 사망자 수를 기준으로 사고 잦은 지점을 선정할 경우 재차 인원이 많은 하나의 대형 사고에 의한 영향이 크기 때문에 사고 발생의 인과성과 관계없는 지점이 선정될 수 있음.

○ 교통사고 잦은 곳 선정기준

(1) 교통사고 발생 기준

- 인피사고와 물피사고가 동일지점에서 1년간 특별시 및 광역시 5건, 일반시 및 기타지역은 3건 이상으로 발생한 지점.
- 동일한 종류의 도로가 상이한 행정구역에 있으면 도로종류와 관계없이 해당 도로를 관리하는 행정구역 기준을 적용함.
- 해당 시에 기초자치단체(군지역)가 있는 경우 그 지역의 지점은 특별·광역시의 기준을 따르지 않고 시외기준을 적용함.
- 사망사고 2건 이상 발생한 지점은 현행 선정기준보다 1건씩 적게 적용함.

(2) 공간적 범위 기준

- 교통사고 잦은 곳에 대한 공간적 지점 범위는 행정구역과 관계없이 모두 같으며, 교차로 및 횡단보도의 경우 차량 정지선 후방으로 30m 이내, 시가지 반경 100m 이내, 고속도로의 경우 반경 200m 이내를 기준으로 선정됨.
- 교통사고 잦은 곳은 단순히 교통사고 발생이 상대적으로 많은 곳으로 도로 기하구조 및 안전시설 측면에서 반드시 개선되어야 할 지점과 상이할 수 있음.

[표 2.1] 교통사고 잦은 곳 선정기준(교통사고건수 기준)

구 분			선정기준
행정구역	특 별 시		5건 이상
	광 역 시		
	일 반 시		5건 이상
	기 타		3건 이상
도로형태	교차로		차량 정지선 후방 30m 이내까지
	기타 단일로	시가지	반경 100m 이내
		기타, 고속도로	반경 200m 이내
대 상 사 고			인피 + 물피사고

* 자료 : 도로교통 안전사업의 효과 분석 및 제도적 개선 방안, 한국교통연구원, 2016

나. 도로교통 안전 진단사업

○ 개요

- 국토교통부, 경찰청 등에서 일정 규모 이상의 도로에 대해 사고 예방을 위한 사전조치를 취하거나, 일정기준 이상의 교통사고가 발생하는 경우 당해 교통사고 발생원인과 관련된 교통수단, 교통시설, 교통체계에 대한 안전성을 진단하는 사업임.
- 국토교통부에서 발표한 『교통안전진단지침(2014)』에 의거하여 안전진단 대상을 선정함.

○ 도로교통 안전 진단사업 대상 선정기준

- 대상이 되는 도로는 최근 3년간 사망사고 3건 이상 또는 중상사고 이상의 교통사고가 10건 이상 발생하여 교통시설의 문제가 있는 것으로 의심이 되는 도로임.
- 진단 대상은 교차로 또는 횡단보도 및 그 경계선으로부터 150m 지점의 도로구간 내이며, 도시지역은 600m, 도시 외 지역은 1,000m의 도로구간임.

다. 국내학술 연구

- 국내 학술연구는 HSM에서 도입된 개념인 안전성능함수, 공간적 상관성, 네트워크 검사 등을 국내 사고자료에 적용하는 연구가 주로 수행됨.

(1) 안전성능함수 구축 및 평균으로의 회귀 편의 보정

- 정성봉 외 (2009)의 연구에서는 국내 사고자료에서도 평균으로의 회귀 편의가 발생하며, 경험적 베이지스를 통해 이 편의를 보정 했을 때 예측력이 더 좋아짐을 보임.
- 한국도로공사 (2013)의 연구에서는 한국형 HSM 도입을 위한 기초연구의 하나로, 국내 사고 DB를 활용해 안전성능함수, 사고수정계수, 네트워크 검사를 수행하는 일련의 과정을 제시하였으며, 통계적으로 유의한 안전성능함수가 도출됨을 보였음.
- 위 연구들은 국내 사고에 대해서 PSI 기반의 사고취약구간 선정 시 기존 사고 잦은 곳과 다른 구간이 선정됨을 보였으나, true hotspot의 부재로 실제 오차율을 판단할 수는 없었음.

(2) 사고의 공간적 상관성 및 네트워크 검사

- 김상욱 외 (2008)의 사고 잦은 곳을 대상으로 사고 발생의 공간적 분포를 검토하였으며, 도시부 교차로를 기준으로 2km 정도의 공간적 상관성을 가지는 것으로 보고함.
- 이서영 외 (2013)은 안전성능함수 구축이 어려운 상황에서 계층적 군집분석을 통해 도출된 동질구간의 임계사고 건수를 활용해 네트워크 검사 기법인 CRP와 결합해 사고

취약구간을 선정하는 과정을 제안하였음.

- 양종현 외 (2016)은 커널밀도를 활용하여 사고의 분포특성을 조사하였으며, Getis-ord Gi*라는 지표를 활용해 밀집도를 정량화하여 사고취약구간을 선정하였음.
- 위 연구들은 사고의 공간성 상관성을 커널밀도, CRP 등을 통해 반영하려고 하였으나 사고 노출률을 고려하지 못하거나, 파라미터의 변화에 따른 효율성 등을 평가하지 않았고, 실제 true hotspot이 없어 선정 오차를 평가가 어려운 한계가 있음.

2. 국내외 기술개발 현황검토 결과 및 개발기술의 기여

가. 국외 교통사고 취약구간 선정 국외현황 및 방법론 검토 결과

- 국외 교통사고 취약구간은 미국의 HSM을 중심으로 안전성능함수 구축 - 평가지표 선정 - 네트워크 검사 - 전문가 현장조사의 과정으로 선정됨.
- 안전성능 함수는 사고의 노출률을 고려해 PSI를 도출하여 사고감소를 최대화할 수 있는 지점을 선정할 수 있다는 장점이 있지만, 방대한 고속도로 사고 DB 및 선행조사를 요구하며, 사고 자체의 임의성으로 인해 주요 편의를 완전히 제거하진 못함.
- 사고의 임의성을 보정한 기대사고 건수와 발생사고 건수의 차이인 PSI가 가장 적합한 지표로 평가되고 있지만, 안전성능함수의 성능에 큰 영향을 받는 단점이 있음.
- SWM, PS, CRP 등 다양한 네트워크 검사 방법이 활용되고 있으나 전문가의 현장조사를 통해서만 구득이 가능한 true hotspot을 활용한 모수 정산이 필요하므로 HSM 기반의 취약구간 선정체계가 수립되지 않은 지역에서는 활용이 어려움.

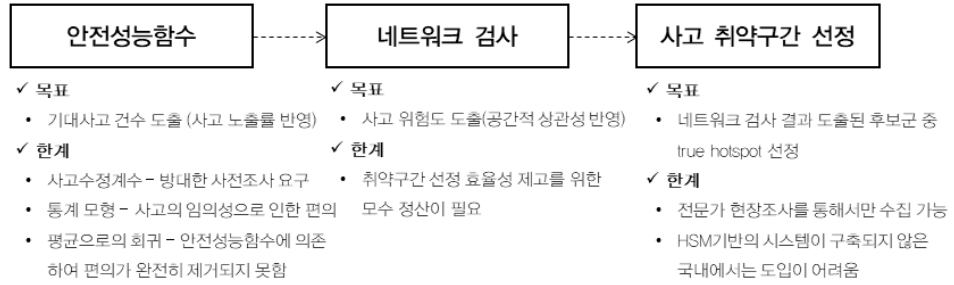
나. 국내 교통사고 취약구간 선정 국내현황 검토 결과

- 국내 교통사고 취약구간은 서로 다른 기관에서 수행하는 도로교통 안전진단과 교통사고 잦은 곳 개선사업 모두 단순 사고 건수 혹은 사망자 수를 활용해 선정되고 있음.
- 단순 사고 건수 기반의 취약구간 선정은 사고 노출률의 차이, 도로 안전구조물 및 기하구조의 차이, 사고의 임의성으로 인한 평균으로의 회귀 등 다양한 편의에 노출됨.
- 국외 HSM기반 방법론은 국내 도입을 위한 기초연구는 진행되었지만, 실제 적용을 위해서는 안전성능함수 구축, 사고수정계수 산출, 네트워크 검사 파라미터 정산 등 다양한 과정이 선행되어야 하며, 광범위한 조사를 위한 많은 예산집행을 요구함.

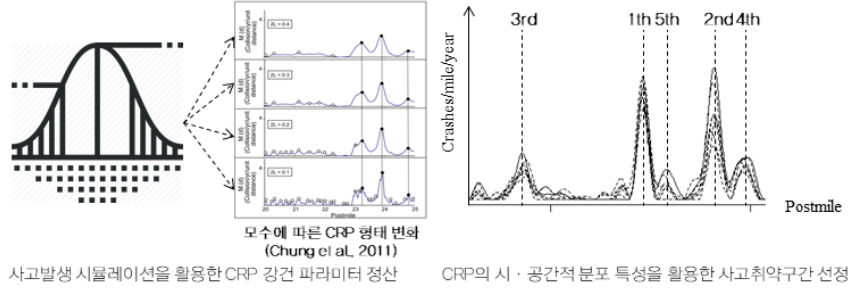
다. 개발기술의 기여

- 본 연구에서 제안하는 교통사고 빈도 시뮬레이션은 네트워크 검사 기법의 모수 정산을 위해 필요한 현장조사를 최소화하여, 효율적인 예산집행이 가능하게 함.
- EEMD 응용기술은 시뮬레이션을 기반으로 정산된 모수를 활용해 시·공간적 상관성의 영향이 적은 강건한 CRP를 생성할 수 있으므로, 안전성능함수 없이 CRP의 특성만을 활용한 사고 취약구간 선정이 가능함.
- EEMD 응용기술은 HSM 기반 방법론이 요구하는 다양한 선행조사 과정을 최소화하고 안전성능함수 개발 시 발생하는 다양한 편의를 예방할 수 있음.
- 선행과정 없이 데이터만을 활용해 CRP는 사고 심각도, 고령자 사고, 악천후 사고 등 특정 교통사고에 대한 취약구간을 선정할 수 있어 특정 사고를 목표로 한 안전개선대책 수립에 활용될 수 있음.

기존 사고취약구간 선정 방법론 종합



개발기술의 기여



[그림 2.8] 국내외 기술개발 검토 종합 및 개발기술의 기여

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구 수행 구간 선정

○ 연구의 목표 성과검증

- 본 연구에서 선정하고자 하는 교통사고 취약구간은 국내·외 사례에서 보여주는 것처럼 단순 사고가 자주 발생하는 구간이 아닌 사고 노출률을 고려했을 때 도로 시설물의 안전개선이 필요한 지점을 말함.
- 이러한 지점을 true hotspot이라고 하며 안전성능함수, 네트워크 검사 등을 통해 선정된 교통사고 취약구간 후보군 중에서 교통안전 전문가의 자료검토 및 현장조사 결과를 통해 최종적으로 선정됨.
- 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 교통사고 취약구간 선정기법의 오차율을 검증하기 위해서는 true hotspot 자료가 반드시 요구됨.

○ 국내 교통사고 자료의 한계

- 국내에서 선정하고 있는 교통사고 취약구간은 사고 잦은 지역, 도로교통 안전진단 대상과 같이 단순 사고 건수를 기반으로 선정되고 있으므로, 이를 기준으로 본 연구의 성과를 검증하는 것은 적절하지 못함.
- 연구의 자문단에 속해 있는 국내 전문가 자문결과 HSM기반의 true hotspot 선정이 필요하지만, 고속도로를 관리하는 한국 도로공사에서도 위 기준에 부합하는 과학적인 교통사고 취약구간 선정이 이루어지지 않고 있어, 국내 고속도로 자료도 성과검증에 활용될 수 없음.

○ 미국 캘리포니아 true hotspot 및 고속도로 사고자료

- 연구의 자문단에 속해 있는 미국 캘리포니아 교통국 고속도로 교통안전 전문가의 협조를 받아 캘리포니아 고속도로의 10년 치 사고자료와 2년 치 true hotspot 자료를 구득하였으며, 이를 활용해 교통사고 취약구간 선정기법의 오차율을 평가하였음.
- 캘리포니아 교통국의 true hotspot은 보안상의 이유로 최근 자료를 공개하지 않아, 보안상의 문제가 없는 가장 최근 자료인 2007~2008년의 true hotspot과 이와 대응되는 2000~2009년 10년 치의 교통사고 자료를 분석에 활용하였음.
- 본 연구의 방법론은 도로환경과 관계없이 사고자료의 공간적 분포특성만을 활용해 적용할 수 있으므로 국내 사고자료에도 같은 과정을 적용할 수 있음.

2. 교통사고빈도 시뮬레이션 기법개발

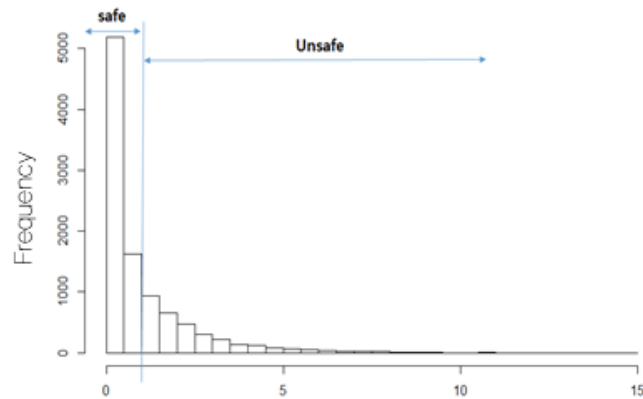
가. 통계모형의 이론적 정립 및 시뮬레이션 구조개발

○ 기존 사고 시뮬레이션 검토

(1) 주요 시뮬레이션 프로세스와 의미

- 개별 site에 대해 λ (평균사고건수)가 결정되면, Poisson 분포를 이용하여 연간 사고 건수를 생성함.
- True hotspot을 결정하기 위해 평균이 1인 Gamma분포를 이용하여 기존의 λ 에 곱함 (난수가 1보다 크면 true hotspot).
- 최초의 λ 는 고정과 가변으로 설정이 가능하며, 가변의 경우 사고 노출률이나 기하구조가 다른 경우를 나타냄.

구간별 사고 분포 히스토그램



[그림 3.1] Gamma 분포를 이용한 Hotspot 구분 방법(예시)

(2) 한계점 : 공간상관성 미반영

- 단순 분포기반 시뮬레이션은 공간적 상관성을 고려하지 않으며, 관련 논문의 목적도 네트워크 검사의 평가지표나 평균으로의 회귀 편의 보정의 평가를 주로 다루고 있음.
- 단순 연도별 사고 건수뿐 아니라 인접 교통사고지점의 영향을 고려해야 사고 특성을 합리적으로 묘사하는 시뮬레이션 개발이 가능함.

○ 사고 시뮬레이션 모델 개발 방향

(1) Gamma 분포를 활용한 true hotspot 선정 방식 적용

- 기존에 임의적으로 평균 사고 건수를 더해주던 방식에서 Gamma 분포를 사용하는 방식으로 전환 필요 (Gamma 분포의 값이 1이 이상이면 hotspot이 됨).

(2) 공간적 상관성 적용 모형개발

- (3) 사고 빈도 모형에서 공간적 상관성은 conditional auto-regressive(CAR) 모형을 이용하여 공간 상관항을 추가로 곱하는 것으로 묘사되며, 이를 시뮬레이션에 반영.

(4) 아래의 그림과 같이 가로 합계가 1인 공간가중행렬(spatial weighted matrix)을 구성함.

- 예제 그림의 경우 가중치 값에 표준편차가 없이 모두 동일하게 생성됨.
- 공간(노출률, 기하구조 등이 다른 구간)과 시간(연도별)적으로 고정된 값을 이용.
- 자기 자신은 별도로 만들고, 자기 자신의 영향력이 총 100% 다른 site로 퍼지게 됨을 의미하므로, 대각행렬을 포함하여 1이 되게 개선해야 함.

nr	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1/3	1/3	1/3	0	0	0	0
2	1/4	0	1/4	0	0	1/4	1/4	0
3	1/5	1/5	0	1/5	1/5	1/5	0	0
4	1/3	0	1/3	0	1/3	0	0	0
5	0	0	1/5	1/5	0	1/5	1/5	1/5
6	0	1/5	1/5	0	1/5	0	1/5	1/5
7	0	1/4	0	0	1/4	1/4	0	1/4
8	0	0	0	0	1/3	1/3	1/3	0

[그림 3.2] CAR 모형을 활용한 공간가중행렬 예시

○ 사고 시뮬레이션 모델 개발

(1) 통계적 구조

[표 3.1] 교통사고 시뮬레이션의 통계적 구조

구분	상세모형
구간분할	등간격 분할
Variable true mean (노출율, 기하구조)	Variable, $p_i \sim N(\lambda, \sigma_\lambda^2)$
연도별 사고건수 (Temporal correlation)	$Y_{i,t} \sim Poisson$
True hotspot 반영	$Poisson(p_i^* UH_i)$, $UH_i \sim \Gamma(\phi, \phi) \rightarrow$ 평균1, 분산1/ ϕ ($UH_i > 1$ 인 경우 hotspot)
공간적 상관성 반영	u_i 의 공간가중행렬로 반영 $Poisson(p_i^* UH_i^*) * SC_{i,t}$
이정정보 생성	$Poisson(p_i^* UH_i^*) * SC_{i,t}$ 에 대하여 site 내 균일분포

(2) 공간적 상관성 반영기법

- 본인(대각행렬)을 포함하여 행표준화(row standardization)된 공간 상관행렬을 적용.
- 본인과 주변의 영향력은 본인 3, 주변 1로 하되 주변의 경우 1칸만 적용.
- 본인과 주변의 영향력 지수, 영향 범위는 입력변수로 지정(향후 데이터에서 추출).

(3) 공간 상관성을 고려한 구간별 사고 건수의 생성

- Poisson 과정을 통해 생성된 구간별 사고 건수를 공간 가중 행렬을 곱하여 열별로 다시 합하여 구성.

예) 최초 (5,10,5,5) $\rightarrow$ (6,8,9,3)으로 변경

[표 3.2] 공간가중행렬을 통해 조정된 사고건수 예시

Site	초기 사고건수	공간가중행렬				조정된 사고건수			
		A	B	C	D	A	B	C	D
A	5	0.8	0.2	0	0	4	1	0	0
B	10	0.2	0.6	0.2	0	2	6	2	0
C	5	0	0.2	0.6	0.2		1	3	1
D	5	0	0	0.8	0.2			4	2
						6	8	9	3

(4) 구간 내에서의 균일분포에 따른 사고 이점 생성

– 구간 i 의 j 년도의 k 번째 사고 $y_{i,j}$ 의 개별사고 k 개에 대한 이점 정보 생성

$$x_{ij}^k \sim \text{uniform}(s_i, e_j)$$

이 때, s_i, e_i 는 각각 구간 i 의 시작과 끝 이점

나. 사고 시뮬레이션 소프트웨어 개발 및 검증

○ 사고 시뮬레이션 소프트웨어 개발

(1) 설계 구조도

<단계>	<세부단계>	<Notation>	<R 예제>
기초정보입력	단위구간 길이, 구간수(i)	$Length\ Interval = constant$ $Number\ of\ sites = constant$	$Length\ interval = 2$ $Number\ of\ site = 20$
	총 관측기간 (연)	$Year = constant$	$Year = 10$
	단위구간당 평균 사고건수	$\lambda_{initial} = constant$	$\lambda_{initial} = 1.4$
	Observed heterogeneity 표준편차 Unobserved heterogeneity의 표준편차	$SD_{OH} = constant$ $SD_{UH} = \frac{1}{\phi} = constant$	$SD_{OH} = 0.5$ $SD_{UH} = \frac{1}{\phi} = 0.5$
	공간행렬의 상관계수 입력 공간상관행렬 생성(W)	$SW_{dia} = constant$ $SW_{neg} = constant$	$SW_{dia} = 3, SW_{neg} = 1$ $W = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 \dots \\ 1 & 3 & 1 \dots \end{bmatrix}$
이질성 반영	Observed heterogeneity 반영	$OH_i \sim \log(Normal(Number\ of\ site, 0, SD_{OH}))$ $\lambda_{OH,i} \sim \lambda_{initial} \times OH_i$	$OH_i \sim \log(Normal(20, 0, 0.5))$ $\lambda_{OH,i} = 1.4 \times OH_i$
	Unobserved heterogeneity 반영	$UH_i \sim Gamma(Number\ of\ site, 1/SD_{UH}, 1/SD_{UH})$ $\lambda_{UH,i} \sim \lambda_{OH,i} \times UH_i$	$UH_i \sim gamma(20, 2, 2)$ $\lambda_{UH,i} = \lambda_{OH,i} \times UH_i$
※ $UH_i > 1$ 인 site는 true hotspot이 됨			
공간적 상관성	행표준화 공간가중행렬(W^*) $\lambda_{SWM,i}$ 계산	$\lambda_{SWM,i} = \lambda_{UH,i} \times W^*$	$W^* = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 \dots \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \dots \end{bmatrix}$ $\lambda_{SWM,i} = \lambda_{UH,i} * W^*$
시간적 상관성	연도별 사고건수 생성	$Y_{site}^{year} \sim Poisson(Year, \lambda_{SWM,i})$	$Y_{site}^{year} \sim Poisson(10, \lambda_{SWM,i})$
사고이정 생성	Site i의 사고 k개에 대한 이정	$x_k^{year} \sim uniform(Y_{site}^{year}, 시작이정, 종료이정)$	$x_k^{year} \sim uniform(Y_{site}^{year}, 0.2) \dots$

[그림 3.3] 사고빈도시물레이션의 설계 구조

(2) 사고 시물레이션 소프트웨어 활용

- 오픈 플랫폼인 R 언어를 기반으로 통계적 난수를 생성하고, 이를 바탕으로 공간적 상관성을 반영한 사고 발생 시물레이션을 소프트웨어 개발.
- 시물레이션 모델의 기본 파라미터는 시물레이션 개발단계에서 활용한 캘리포니아의 주도로 및 고속도로의 발생패턴에 맞게 설정됐으며, 아래와 같이 실제 사고와 유사한 패턴을 보임.
- 설계 구조도에 제시된 평균 사고 건수, observed, unobserved heterogeneity의 표준편차, 공간 상관행렬 추정치 등 4개의 시물레이션 파라미터를 수정하면 시물레이션을 활용하는 각 지역에 특성과 유사한 사고자료 생성이 가능함.
- EEMD 응용기술 개발에 대해서는 지역 및 도로 특성에 강건한 CRP 파라미터를 추정하는 것이 목적이기 때문에 시물레이션 파라미터를 수정하며 사고자료를 생성하여 다양한 사고분포를 묘사하였음.

○ 사고 시물레이션 검증

(1) Historical validation

- 본 연구에서 개발한 사고 시물레이션 모형의 타당성을 검증하기 위해 미국 캘리포니아 5개 고속도로의 10년 치 사고자료를 활용하였음.
- 10년의 사고자료 중 절반은 시물레이션 모수를 추론하는 데 활용하고, 나머지 절반은 자료를 구현 여부를 검증하는 교차 타당성 검증을 수행하였음.
- 유사성은 0.2마일 단위로 집계된 실제 사고자료와 시물레이션 사고자료의 Pearson 상

관계수와 $[(\text{평균 제공근 편차}) \div (\text{해당 도로의 300m당 평균사고 건수})]$ 를 통해 평가되었음.

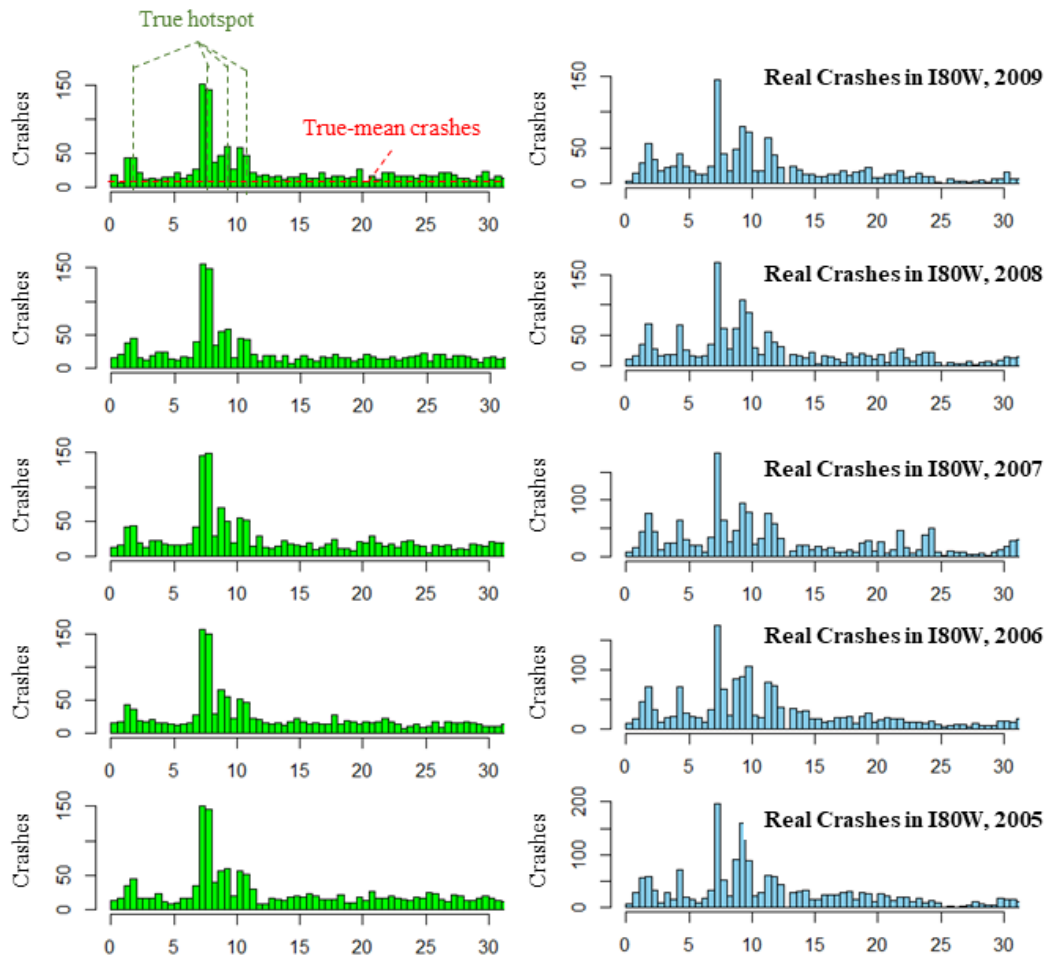
(2) 시뮬레이션 검증 결과

- 본 연구의 사고 시뮬레이션은 4개의 시뮬레이션 파라미터만을 활용해 사고의 분포를 추정하므로, 실제 사고 건수를 정확히 예측하기는 어렵지만, 상당히 높은 정확도를 보임.
- 실제 사고자료의 분포와 파라미터가 추정된 시뮬레이션 자료의 상관계수는 평균 0.55로 높은 유사성을 보여 시뮬레이션이 실제 사고자료의 분포를 잘 추정한 것으로 보임.
- 사고 건수에 대해서도 0.2마일 단위를 기준으로 평균 사고 건수의 16% 정도의 오차를 보여 분포뿐 아니라 사고 발생 건수도 적절히 묘사함을 보였음.
- 따라서 개발된 사고 시뮬레이션은 사고 발생의 분포 및 건수를 적절히 묘사하므로 사고취약구간 선정을 위한 EEMD 응용기술의 강건 모수 선정에 적합할 것으로 판단됨.

[표 3.3] 교통사고 시뮬레이션의 Historical Validation 결과

대상 도로	대상기간	Pearson 상관계수		(평균 제공근 편차) ÷ (해당 도로의 300m당 평균사고건수)	
		평균	표준편차	평균	표준편차
I80W, California	2000~2009년	0.66	0.05	0.06	0.07
I80E, California	2000~2009년	0.47	0.05	0.06	0.04
I580E, California	2000~2009년	0.46	0.10	0.23	0.07
I580W, California	2000~2009년	0.61	0.15	0.26	0.09
I680S, California	2000~2009년	0.56	0.08	0.22	0.07

Generated Crashes from Simulation



[그림 3.4] 교통사고 시뮬레이션 구현 결과 및 실제 교통사고 자료와의 비교

다. 사고 심각도 연계방안 검토를 통한 사고 시뮬레이션 발전방안 제언

○ 사고빈도모형의 사고 심각도 연계방안 검토

(1) 사고 심각도 모형의 이론적 배경

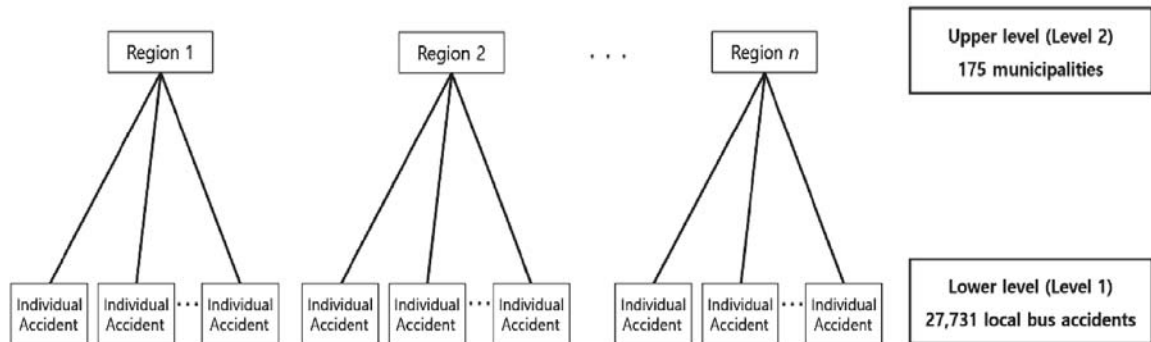
- 사고 심각도는 사고 건수와 함께 교통사고의 위험성을 평가하는 중요한 지표 중 하나이지만 복잡한 영향요인, 사후처리의 영향, 정량화의 어려움 등으로 인해 교통사고 취약구간 선정에는 활용되지 못하고 있음.
- HSM에서는 EPDO(대물피해환산)계수를 활용하여 사고 심각도를 정량적인 하나의 기준으로 통일하기 위해 사망 542, 중상 11, 대물피해 1의 가중치를 제시함.
- 본 연구에서는 사고 심각도를 정량화하고, 이를 바탕으로 사고 심각도에 영향을 주는 요인을 분석하여 시뮬레이션 요소에 반영하는 방안에 대해 검토하였음.
- 이를 위해 지역적 특성을 상위레벨로 구별하여 좀 더 정확한 영향력을 추정할 수 있는 위계적 사고 심각도 모형을 개발하였고, 그 결과를 분석하였음.

○ 사고 심각도 위계적 모형개발

(1) 버스사고 심각도 모형개발

- 2010년 ~ 2014년, 국내에서 발생한 5년간 버스사고 심각도의 영향요인을 분석하기 위해 위계적 순서형 로짓 모형을 개발하였음.
- 상위레벨로 지역을 설정하여 지역의 특성과 변수가 미치는 영향을 분리해 분석하였음.

- 상위레벨에서 통계적으로 유의한 주요 변수는 도로 포장률, 응급 의료환경, 교통법규 준수율, 지역사회 노인 비율 등으로 나타났음.
- 하위레벨에서 통계적으로 유의한 주요 변수는 속도, 차량 수명, 도로 선형, 표면상태, 도로등급, 신호등 등으로 나타났음.
- 위계적 모형구성을 통한 분산감소율은 5.1%로 높게 나타나 본 연구에서 구축한 위계적 모형의 타당성을 보여주었음.



[그림 3.5] 버스사고 심각도 모형의 위계 구조

(2) 보행사고 심각도 모형 개발

- 2011년~2013년, 국내에서 발생한 3년간 보행사고 심각도의 영향요인을 분석하기 위해 마찬가지로 위계적 순서형 로짓 모형을 개발하였음.
- 지역을 상위수준으로 설정하여 지역의 특성과 변수가 미치는 영향을 위계적으로 분석함
- 상위레벨에서 통계적으로 유의한 주요 변수는 인구밀도, 재정적 독립성, 의사 수, 노인 거주비율 등으로 나타났음.
- 하위레벨에서 통계적으로 유의한 주요 변수는 음주운전 여부, 도로교차로 보행자 여부, 노인 여부, 중차량 여부, 도로의 너비, 기상상태 등으로 나타났음.
- 상위수준 설정을 통한 분산감소율은 7%로 상당한 수준으로 나타났음.



[그림 3.6] 보행사고 심각도 모형의 위계 구조

○ 사고심각도 모형의 시뮬레이션 적용 방안

- 사고 심각도 모형에서 도출된 영향요인을 변수로 활용하여 개발된 사고빈도 시뮬레이션에 적용하면 특정 지역에 대한 사고의 공간적 분포뿐 아니라 심각도에 따른 분포도 생성해 낼 수 있음.
- 사고빈도의 시·공간적 분포에 관한 연구는 많이 진행되었지만, 사고 심각도의 공간적 분포에 관한 연구는 아직 진행되지 않아 사고빈도모형에 바로 적용하기는 어려움.
- 향후 사고 심각도의 공간적 분포특성에 관한 연구가 추가로 수행된다면 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모형의 분포와 결합해 새로운 심각도 분포를 추정하는 연구를 수행할 수 있음.

3. 사고자료에 대한 EEMD 용융기술 개발

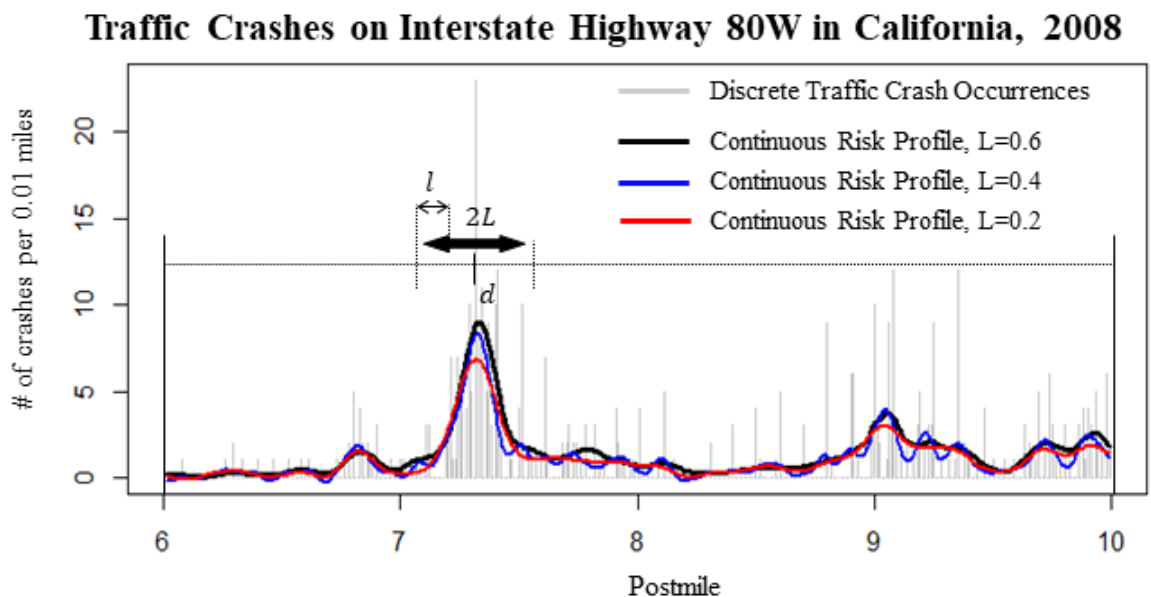
가. 사고자료에 대한 Continuous Risk Profile (CRP) 생성기술

○ 기존 네트워크 검사 기술

- 기존 HSM에서 제시하는 sliding moving window 기법과 peak searching 기법은 분석 Segment 길이(L), window의 크기(W), window의 이동단위(I), 변동성 기준(δ) 등 다양한 파라미터 정산을 요구하며 해당 파라미터에 민감한 특성을 보임.
- 해당 기법들은 특정 window에 대한 구간 대푯값을 평가지표로 설정하기 때문에 사고의 공간적 상관성을 고려하지 못해 취약구간을 과다하게 선정하는 false positive 발생.

○ 기존 CRP Method 구현 (Chung et al., 2009)

- 기존 CRP Method는 가중이동평균을 기반으로 random fluctuation을 제거하며, 공간적 상관성을 반영하는 기법임.
- 가중이동평균을 수행하는 window의 크기(L)와 window의 이동단위(I)은 여전히 true hotspot을 기반으로 정산되어야 하는 한계가 있어 범용적으로 활용되기 어려움.



[그림 3.7] 기존 CRP Method 구현 결과 및 파라미터에 대한 민감성

나. EEMD의 이론적 배경 및 응용사례

○ 이론적 배경

- EMD는 NASA에서 처음 제안된 데이터 기반 신호처리 기술로 신호(데이터)를 국지적 주기특성을 갖는 고유모드함수 (intrinsic mode function, IMF)로 분해하는 기술임.
- EEMD (Wu and Huang, 2009)는 EMD의 분해과정에서 일부 고유 모드함수가 중첩되어 국지적 특성이 완전히 분리되지 않은 모드믹싱(mode mixing) 문제를 해결하기 위해 제안된 기법으로 백색소음을 추가한 자료에 EMD를 여러번 수행한 후 이를 평균하여 활용함.
- 본 연구는 EEMD의 여러 응용 분야 중 noise 제거에 초점을 맞춰 진행하였으며, 일반적으로 응용되는 시계열 자료가 아닌 공간자료의 noise 제거에 EEMD를 활용하였음.

○ 기존 신호처리 기반 noise 제거 기술

- 푸리에 변환(Fourier transform)은 대표적인 신호처리 기법으로 자료의 정상성(stationarity)을 가정하기 때문에 제한된 시계열 자료에만 활용될 수 있음.
- 단기 푸리에 변환(short term Fourier transform)은 푸리에 변환의 정상성 가정을 완화한 형태의 기법이지만 정상성이 유지되는 간격을 정의해야 하므로 시계열 자료에만 활용될 수 있음.
- 웨이블릿 변환(Wavelet transform)은 정상성 가정 없이 유연하게 기저함수(basis function)의 스케일을 변화시키며 자료의 특성을 분리해낼 수 있지만, 기저함수 선택에 민감해서 공간적 사고자료와 같이 기존 적용사례가 적은 경우 활용이 제한됨.

○ EEMD 기반 noise 제거 기술

- EEMD는 정상성 가정이나 기저함수와 같은 사전적 정의 없이 데이터 기반으로 적용할 수 있으므로 음성처리(Zhang et al., 2007), 의료(Kabir and Shahnaz, 2012), 해양(Li et al., 2017)과 같은 복잡한 시계열 자료에 주로 활용됨.
- EEMD를 활용한 noise 제거는 분해된 IMF 중 실제 현상과 관련된 IMF와 noise와 관련된 IMF를 구별하여, 현상과 관련된 IMF만을 활용해 원자료를 재구성하여 수행됨.
- 공간자료에 대해서는 도로포장의 변이(Ayenu-Prah and Atttoh-Okine, 2009), 기상조건 변화 (Feng et al., 2014) 등에 적용되었으며 공간자료에 대해서도 타당성이 검증됨.
- Kim et al. (2014)는 교통사고 자료에 대해 EEMD를 적용하는 최초 연구를 수행했지만, 실증적 활용을 위한 검증 및 일반화 가능성을 보이지 못함.

다. EEMD를 응용한 Continuous Risk Profile (CRP) 생성모델 개발

○ EEMD를 응용한 CRP 생성원리 및 특성

- EEMD의 noise 제거 원리를 활용해 사고자료의 noise인 random fluctuation을 제거하고, 공간적 상관성만을 보존하여 기존 가중이동평균 기반의 CRP와 유사한 형태의 CRP를 추출하는 것이 EEMD-CRP의 생성원리임.
- 기존 CRP는 true hotspot을 기반으로 2개의 파라미터를 정산해야 하는 단점이 있지만 EEMD-CRP의 경우 분해된 IMF의 특성을 분석해 random fluctuation을 나타내는 IMF를 선별하는 기준만 정립하면 범용적으로 활용할 수 있음.
- 일부 고속도로 구간에서 EEMD-CRP가 실제 true hotspot을 활용해 정산된 CRP와 유사한 분포를 나타내는 것으로 보고됨 (Kim et al., 2014).

○ EEMD-CRP 생성을 위한 자료 전처리

(1) 사고자료의 특성

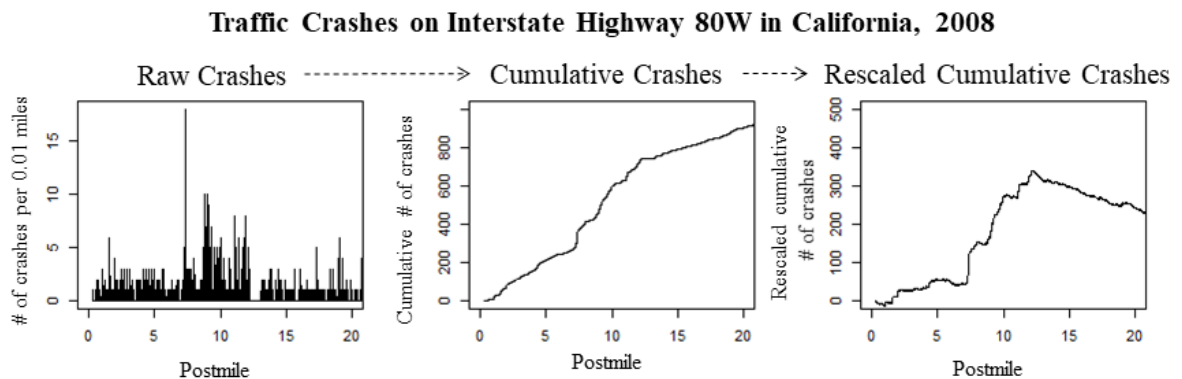
- 국내를 비롯한 교통사고 DB를 구축하고 있는 국가에서는 도로관리자나 경찰 등이 사고지역에 직접 방문하여 사고 위치 및 사고 경위와 관련 정보들을 기록함.
- 사고 위치의 기록단위는 지역마다 다르며, 국내 고속도로의 경우 0.1km, 미국의 경우 0.01mile 단위로 사고 위치를 기록하고 있음.
- 교통사고는 희귀한 사건으로 국내 2016년 기준 1km당 평균 2.03건의 교통사고가 발생하고 있어, 0.1km 단위로 기록할 경우 사고가 발생하지 않은 지점을 다수 포함하게 됨.

(2) 사고자료의 연속형 변환

- 사고가 발생하지 않는 지점을 다수 포함하고 있는 경우 자료의 연속성이 보장되지 않고, 보간법을 활용하면 사고 발생지점의 분포에 따른 왜곡이 발생할 수 있음.
- 자료를 누적분포형태로 변환하여 연속성을 확보하면서도 공간적 변화패턴이 과소 추정되지 않는 rescaled cumulative count curve (Cassidy and Bertini, 1999)를 형태로 사고자료를 변환하고, 변환된 사고자료에 EEMD를 적용하여 noise를 제거함.

$$R(d) = N(d) - \frac{N(D)}{D} \times d$$

이 때, $R(d)$ 는 d 지점에서의 연속된 사고분포, $N(d)$ 는 d 지점에서의 사고건수, D 는 분석을 수행하는 도로의 총 길이



[그림 3.8] EEMD 적용을 위한 이산적 사고자료의 연속형 변환

○ 사고자료에 대한 EEMD 수행

(1) IMF 추출 알고리즘

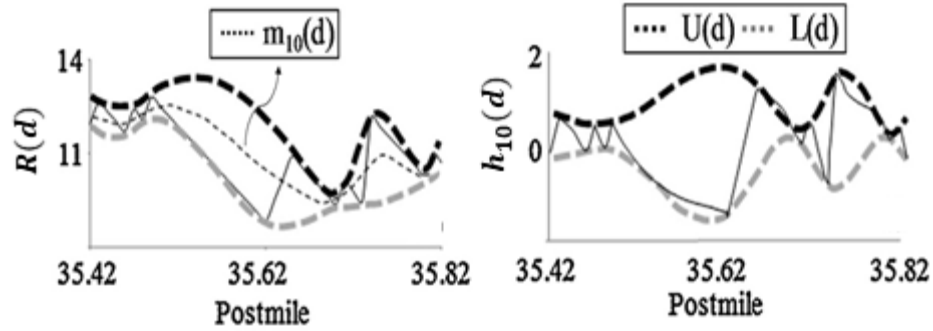
- 체거름 과정(sifting process)이라고 불리는 IMF 추출 알고리즘은 다음 과정으로 수행됨.
 - 가) 주어진 연속 사고자료 $R(d)$ 의 국소 극대값과 국소 극소값을 모두 식별
 - 나) 국소 극대값으로 상위막($U(d)$)을 생성하고 국소 극소값으로 하위막($L(d)$)을 생성 (스플라인 보간법)
 - 다) 상하위막의 평균 막 $m_{10}(d)$ 를 생성하고 이를 $R(d)$ 에서 제거
 - 라) $[R(d) - m_{10}(d)]$ 를 $h_{10}(d)$ 로 정의하며, 이 $h_{10}(d)$ 가 다음 두 조건을 만족하면 $h_{10}(d)$ 를 첫 번째 IMF인 $c_1(d)$ 로 추출하며, 이를 만족하지 않으면 $h_{10}(d)$ 에서 다시 상·하위막을 생성해 $m_{11}(d)$ 를

생성하고 조건을 만족할 때 까지 $h_{1j}(d)$ 를 생성

(1) 극단의 개수와 영점교차 개수가 같거나 최대 하나 차이

(2) 상·하위막의 평균이 0

마) $r_1(d)$ 는 $[R(d) - c_1(d)]$ 로 재 정의 되어 위와 같은 과정을 반복하여, i 번째 IMF인 $c_i(d)$ 를 계속해서 추출해 나가며 이 과정은 최종적으로 $r_i(d)$ 가 단조증가함수가 되어 더 이상 상·하위막을 생성할 수 없을 때 까지 계속됨



[그림 3.9] EEMD 기법의 IMF 추출 알고리즘

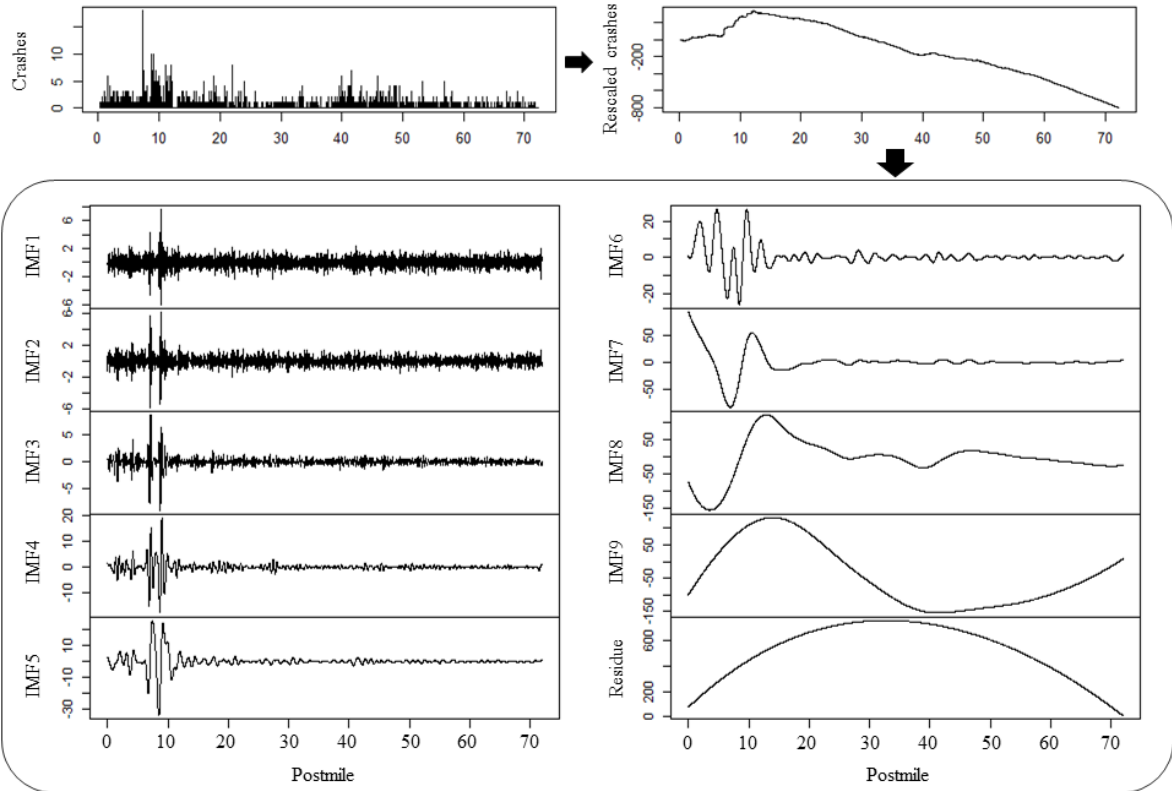
(2) 모드믹싱 문제 해결을 위한 앙상블

- 제거를 과정을 통해 추출된 IMF는 이상적으로는 개별 IMF가 독립적인 주기특성을 가지고 있어야 하지만 실제 자료에서는 하나의 IMF에 여러 특성이 중첩되는 모드믹싱 문제가 발생함.
- 모드믹싱 문제를 해결하기 위해 제거를 과정 전에 무작위 백색소음을 추가하여 IMF를 여러 번 추출하고 추출된 IMF들을 평균하여 모드믹싱 문제가 해결된 IMF를 추출함.
- 추가하는 백색소음의 크기와 IMF 추출 횟수가 앙상블 기법의 파라미터가 되며, 본 연구에서는 EEMD의 개발자가 일반적으로 추천한 $0.2 \times$ 자료의 표준편차를 백색소음의 크기로 설정하고 앙상블은 1,000번을 수행하였음.

(3) 연속형으로 변환된 사고자료에 대한 EEMD 수행 결과

- 70마일의 사고자료에 대한 EEMD 수행결과 총 9개의 IMF와 자료의 trend를 나타내는 residue로 분해되었으며, 고주파수 영역에 noise로 의심되는 IMF가 주로 나타남.
- EEMD를 활용한 noise 필터링의 원리는 분해된 IMF 중 사고의 공간적 상관성을 나타내는 성분과 random fluctuation을 분리해내는 것으로, 공간적 상관성을 나타내는 IMF만 남기고 나머지를 제거하여 noise를 제거함.
- 연속형으로 변환된 자료에 대해 EEMD를 수행하였음에도 기존 원 사고자료의 패턴이 일부 보존되어 있으며, IMF 6은 시뮬레이션에서 발생시킨 자료와 유사한 형태를 가짐.
- 분해된 IMF들의 다양한 통계적, 주기적 특성을 검토하여 noise 성분을 나타내는 IMF를 선별하는 과정을 통해 최종적으로 EEMD-CRP가 구축됨.

Traffic Crashes on Interstate Highway 80W in California, 2008



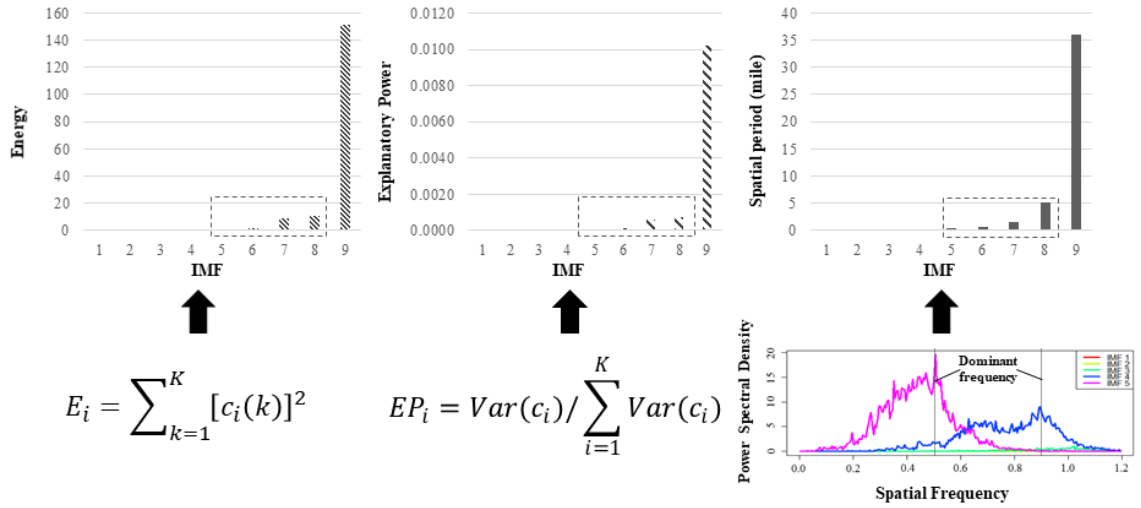
[그림 3.10] 사고자료에 대한 연속형 변환 및 EEMD 수행 결과

○ EEMD 수행결과를 활용한 EEMD-CRP 생성

(1) 개별 IMF 특성 분석

- 분해된 IMF 중 noise를 나타내는 IMF를 선별해내기 위해 개별 IMF의 통계적, 주기적 특성을 검토하였음.
- 통계적 특성은 IMF가 사고자료의 분산에 대해 가지는 설명력, IMF 자체의 퍼센트 에너지를 검토하였음.
- 주기적 특성은 스펙트럼 분석을 통해 각 IMF의 가장 영향력이 큰 공간적 주기를 검토하였으며, 이는 시간적 주기와 달리 IMF 성분의 공간적 영향 범위와 관련됨.
- IMF의 에너지, 사고자료에 대한 설명력, 주기는 모두 noise일 확률이 높은 고주파 영역(IMF 1~4)에서는 매우 낮은 값을 보였고, noise 여부가 불분명한 IMF 5~8에서는 유사한 특성을 보였음.
- 몇 번 IMF까지가 noise를 포함하는 IMF인지를 판단하기 위해서 기존 연구는 에너지가 급변하는 지점을 찾았지만, 이는 일부 지역이 사고에서만 유효한 특성으로, 좀 더 일반적 활용을 위해선 다양한 특성을 고려한 기준 마련이 필요함 (Kim et al., 2014).

Traffic Crashes on Interstate Highway 80W in California, 2008

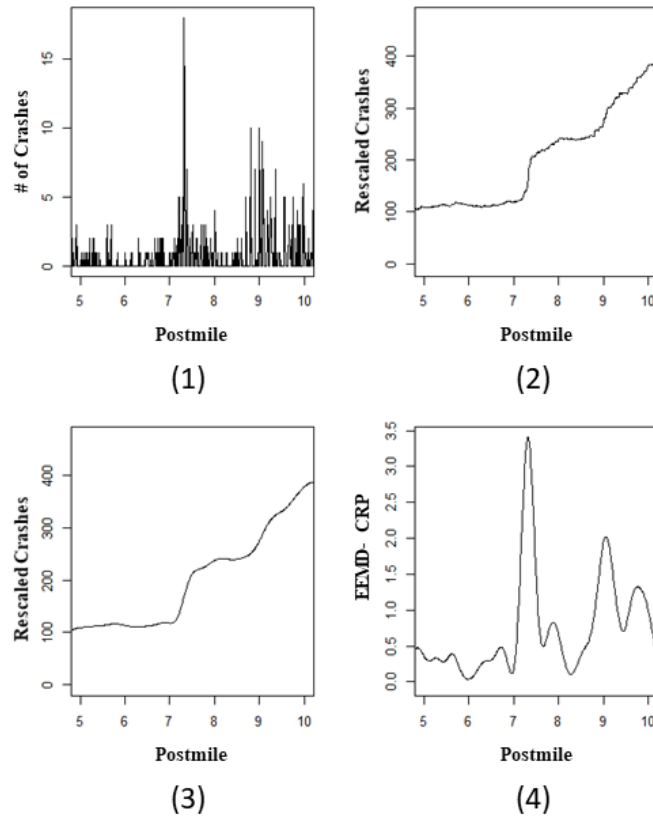


[그림 3.11] EEMD를 통해 추출된 사고자료에 대한 IMF의 특성 분석결과

(2) Noise 성분 제거 및 EEMD-CRP 생성

- Noise IMF로 선별된 성분은 원래의 연속성 변환자료에서 제거되며, 이는 다시 연속성 변환 전의 사고자료로 변환되어 최종적으로 EEMD-CRP가 생성됨.
- EEMD-CRP는 이산적 사고자료 - 연속형 사고자료 - noise가 제거된 연속형 사고자료 - CRP의 순서로 생성됨.

Traffic Crashes on Interstate Highway 80W in California, 2008



[그림 3.12] EEMD-CRP 생성 과정 및 결과

4. EEMD 응용기술의 강건 파라미터 정산

가. 실제 사고 자료와 시뮬레이션 사고에 기반한 EEMD 응용기술 개발

○ EEMD를 활용한 noise 제거기준

- EEMD의 noise 제거는 IMF의 특성을 분석하여 noise와 관련된 IMF를 구별해내는 작업이며, 지역적 특성과 관계없이 강건한 기준을 마련하기 위해서는 다양한 통계적, 주기적 특성을 활용한 기준마련이 필요함.
- 시뮬레이션 기반 사고자료는 일반 사고자료와 다르게 true hotspot의 정확한 위치를 알 수 있어, noise 제거를 통해 생성된 CRP의 사고취약구간 검지 성능을 검증할 수 있음.
- 시뮬레이션 사고자료에 EEMD를 적용할 경우 true hotspot이나 공간적 상관성을 나타내는 주요 성분들은 실제 사고자료에 EEMD 기법을 적용한 IMF와 다를 수 있으나 noise와 관련된 IMF의 경우 확률적 현상이므로 특정 진폭이나 주기 내에서만 발생할 수 있음.
- 따라서 본 연구에서는 실제 사고 및 시뮬레이션 사고에서 나타나는 다양한 IMF 특성을 분석하여 noise를 제거하는 강건한 기준을 설정하고자 함.

○ 시뮬레이션 자료 기반 강건한 noise 제거기준 설정

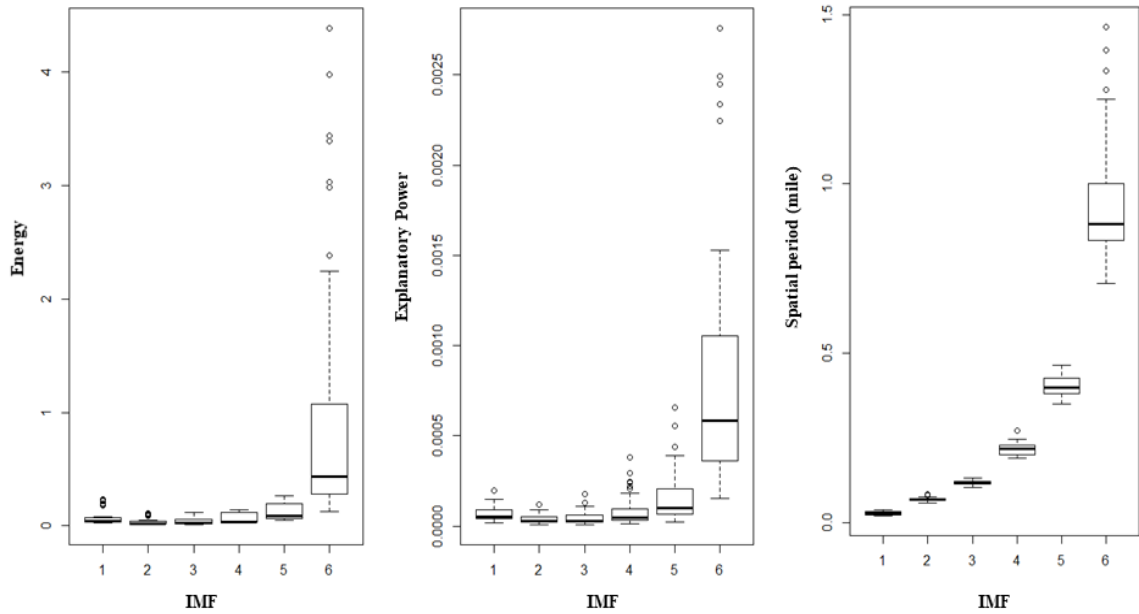
(1) 시뮬레이션 사고자료 환경설정

- 강건한 noise 제거기준 마련을 위해서는 다양한 시뮬레이션 파라미터를 통해 생성된 사고자료에 대한 EEMD 수행결과가 필요함.
- 사고 시뮬레이션은 50마일의 사고 노출률이 일정한 동질도로구간을 가정하고 사고를 발생시켰으며, 50마일 구간에 총 4개의 true hotspot이 존재한다고 가정하였음.
- 실제 사고자료 검토를 통해 얻은 합리적 범위의 시뮬레이션 파라미터를 총 50회를 무작위로 변동시키며, 사고자료를 생성하였음.

(2) 시뮬레이션 사고자료에 대한 EEMD 수행 및 IMF 특성 분석결과

- 총 50번의 시뮬레이션 사고 자료에 대한 EEMD 수행결과 분해된 IMF들의 통계적, 주기적 특성을 추출하였으며, IMF별 분산특성을 볼 수 있는 상자 그림을 그렸음.
- 그림 3.13의 첫 번째 그림인 IMF 자체의 에너지의 경우 분산은 적지만 점으로 표시된 이상치가 일부 존재하며, IMF2의 이상치가 IMF1을 넘는 경우도 있어 부적합함.
- 그림 3.13의 두 번째 그림인 사고자료의 분산에 대해 가지는 설명력의 경우 사고자료에 따라 각 IMF가 매우 큰 분산을 보였고, 이상치도 많이 나타나서 noise 제거기준으로 부적합함.
- 그림 3.13의 두 번째 그림인 공간적 주기의 경우 적은 분산을 가지며, 안정적인 분포를 보였고, 이상치도 별로 나타나지 않아 강건한 noise 제거기준으로 가장 적합함.

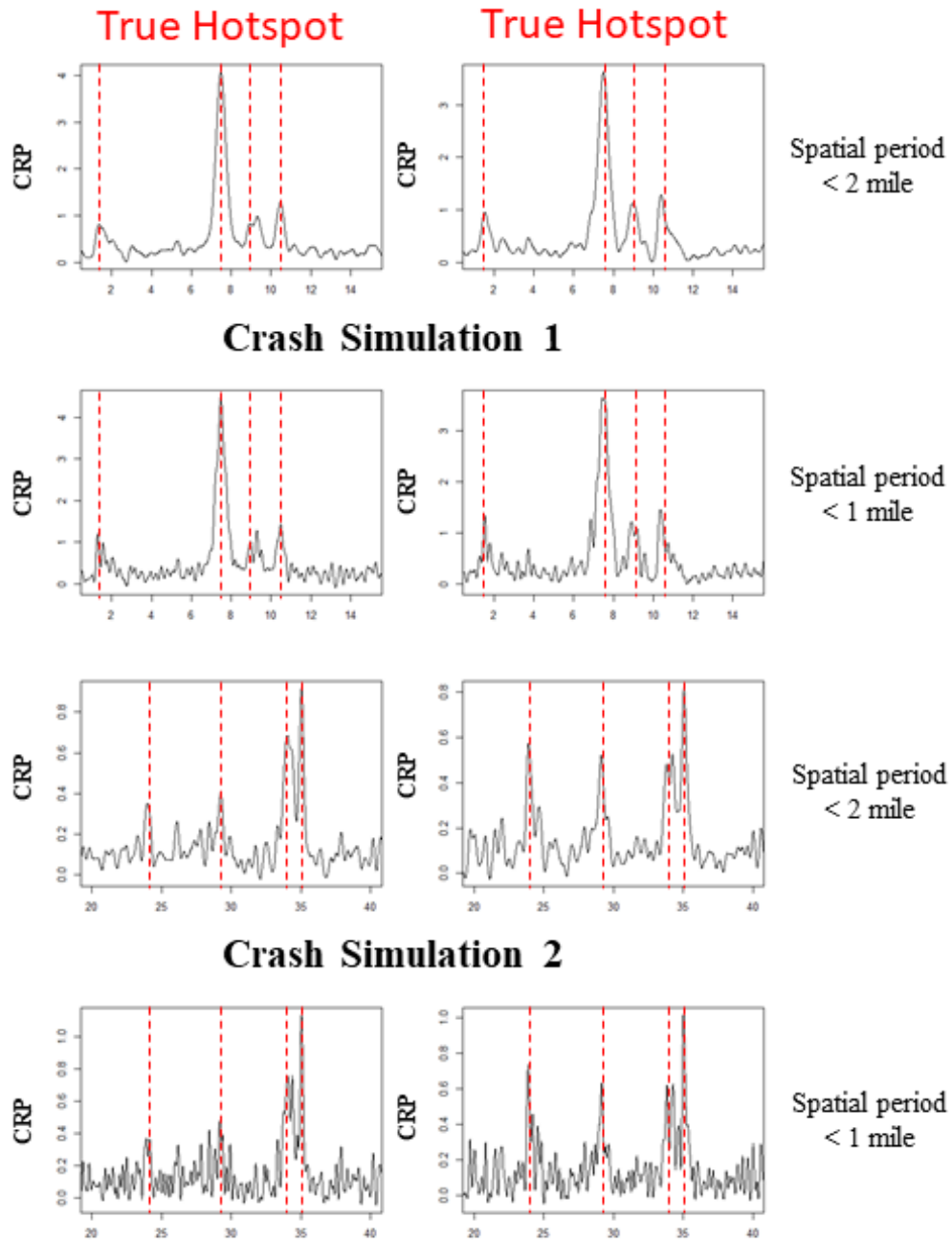
Traffic Crashes Generated from 50 Simulations



[그림 3.13] 시뮬레이션 사고자료에 대한 EEMD 결과 생성된 IMF의 특성 분석

(3) 시뮬레이션 true hotspot을 활용한 강건 noise 제거기준 설정

- 교통사고 취약구간 선정기법은 선정 오차율인 false negative를 5% 미만으로 줄이고, 효율성을 위해 false positive를 동시에 줄이는 것을 목표로 하며, 기존 네트워크 검사 기법은 false positive에 특히 더 취약한 특성을 보였음 (Kwon et al., 2013).
- 그림 3.14은 두 가지 공간적 주기를 기준으로 CRP 생성한 결과를 나타냈으며, 공간적 주기가 2마일 이하인 IMF를 제거하는 기준을 설정하였을 때, false negative 없이 false positive를 최소화하는 것으로 나타남.
- 이는 고속도로 사고자료의 공간적 상관성은 2마일 이내로 나타남을 시사하며, 해당 기준이 true hotspot을 강건하게 검지할 수 있음을 나타냄.



[그림 3.14] Spatial Period를 기준으로 한 CRP 생성 결과

5. EEMD 응용기술을 활용한 교통사고 취약구간 선정

가. 기존 CRP 기법과의 차별성

- 기존 HSM 및 CRP 기법은 안전성능함수를 구축하여 CRP값과 기대사고 건수의 차이를 통해 PSI를 산출하고, 이를 기준으로 교통사고 취약구간 후보군의 순위를 선정함.
- 본 연구에서는 사고빈도 시플레이션과 EEMD를 응용하여 강건한 특성을 갖는 CRP를 생성하였으므로, 한 지역이 CRP의 연도별 재현 특성을 바탕으로 교통사고 취약구간 후보군의 순위를 선정하는 방법을 개발함.
- 해당 방법론은 방대한 현장조사 및 복잡한 통계모형을 바탕으로 구축되어야 하는 안전성능함수 없이 사고 취약구간을 선정할 수 있다는 점에서 범용적으로 활용될 수 있음.

나. EEMD-CRP의 연도별 재현성을 활용한 교통사고 취약구간 선정

○ True hotspot의 연도별 재현성

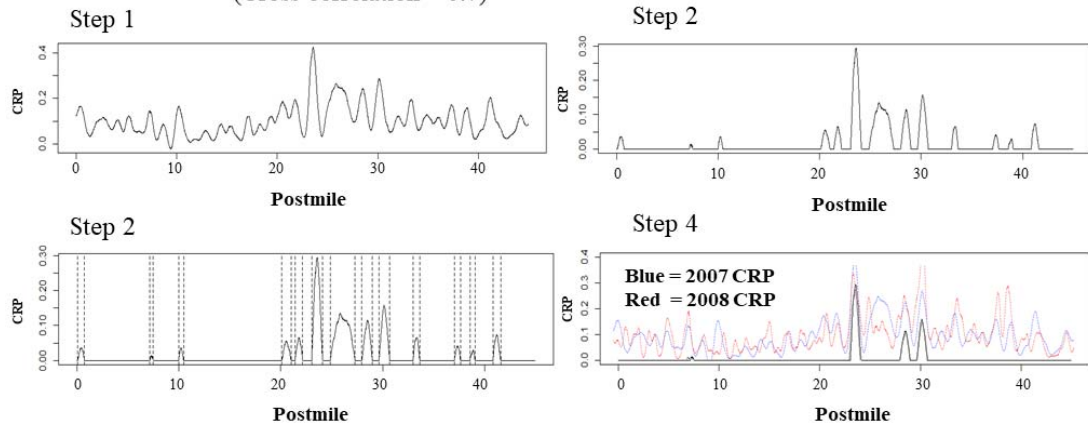
- 한 지역에서의 true hotspot은 적절한 도로 안전개선이 이루어지지 않는 한 연도별로 재현되는 특징을 가지기 때문에 재현성은 true hotspot을 찾기 위한 주요한 특성임.
- 일반적인 사고자료의 경우 공간적 상관성뿐 아니라 noise인 random fluctuation이 혼재되어 있어 재현성을 판단하기 어렵지만, noise가 적절히 제거된 EEMD-CRP는 true hotspot의 재현성을 적절히 나타낼 수 있음.

○ EEMD-CRP의 연도별 재현성 산출 과정

- EEMD-CRP의 연도별 재현성은 CRP 생성, 기준 이하 사고 구간 제거, 재현성 평가 지점 검지, 연도별 유사성 검토의 4단계로 구성됨.
- 연도별 유사성은 1년 전 혹은 2년 전의 재현성 평가지점의 CRP와의 형태적 유사성을 평가하는 것으로 패턴에 대한 유사성 지표인 교차 상관성을 활용하였음.
- 총 4단계를 거쳐 남은 구간은 한 번의 재현성으로 counting 되며, 많은 재현성을 보이는 구간을 최종적으로 사고취약구간으로 선정함.

Reproducibility of the EEMD-CRP

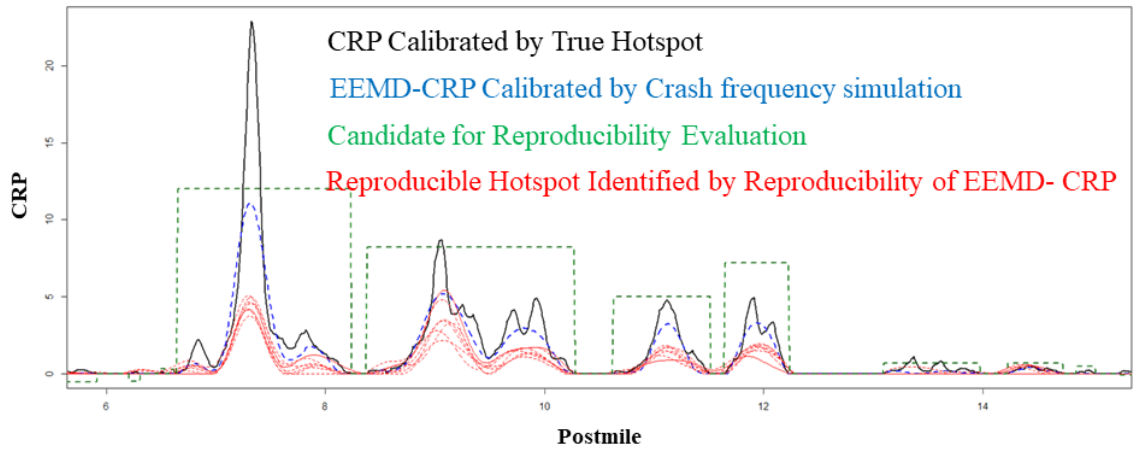
- Step 1 – Constructing the EEMD-CRP by removing the noise of the traffic crashes data
- Step 2 – Filtering out the low crash rate to set a candidate spot (75 percentile)
- Step 3 – Find peak and valley on candidate spot in y, y-1, y-2 year
- Step 4 – Find a candidate spot with a similar pattern every one or two years (Cross correlation > 0.7)



[그림 3.15] EEMD-CRP를 활용한 연도별 재현성 산출 과정

○ EEMD-CRP의 연도별 재현성을 활용한 교통사고 취약구간 선정 및 검증

- 본 연구에서 개발한 EEMD-CRP의 연도별 재현성을 활용한 교통사고 취약구간 선정 기술은 캘리포니아 3개 고속도로의 9년 치 자료에 적용되었음.
- 그림 3.15는 캘리포니아의 true hotspot을 활용해 파라미터 정산을 수행한 기존 CRP 기법과 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 기반 EEMD-CRP, 그리고 이를 바탕으로 연도별 재현성을 검토한 결과를 나타냄.
- True hotspot과 안전성능함수 없이 적용 가능한 본 연구의 기술은 기존 캘리포니아에서 정산된 CRP와 거의 유사한 성능을 보여, 활용 가능성을 나타냈음.

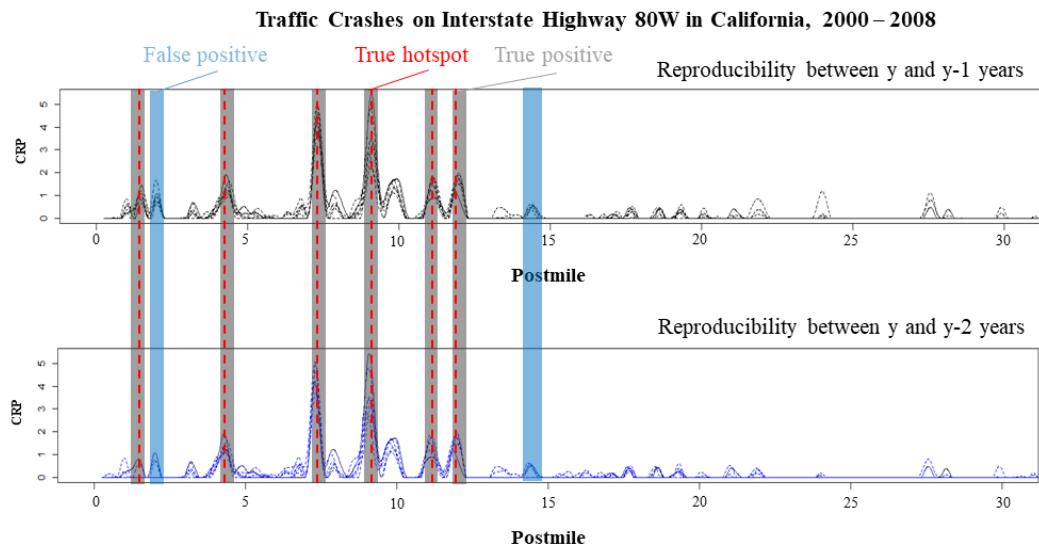


[그림 3.16] 기존 정산된 CRP, 시뮬레이션 기반 EEMD-CRP, 및 연도별 재현성 결과 비교

- 개발기술의 정확한 성능평가를 위해 캘리포니아 고속도로의 true hotspot 자료를 활용해 평가하였으며, 본 연구에서 목표한 바대로 false negative rate인 선정 오차율 5% 미만을 달성하였고, 동시에 합리적인 범위의 false positive를 보여 개발된 기술의 우수성을 나타냄.

[표 3.4] 교통사고 취약구간 선정 기술의 오차율 및 오검지 길이 평가

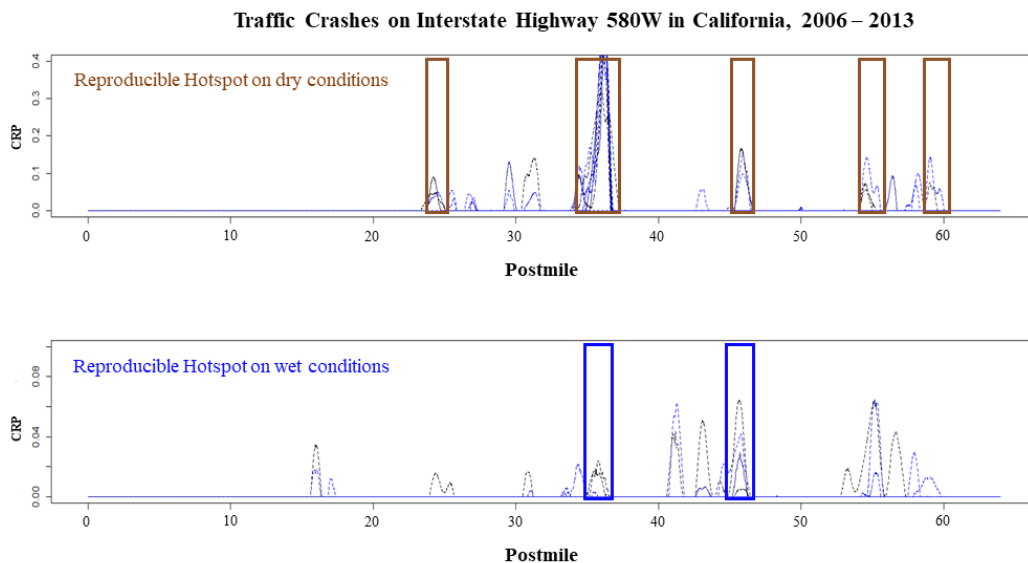
대상 도로	대상기간	사고 취약구간 선정 오차율 (False negative rate)	사고 취약구간 오검지 길이 (False positive, 마일)	구간길이 (마일)
I80W, California	2000~2008년	0%	0.8	72.2
I580W, California	2000~2008년	5.8%	3.5	60.3
I680S, California	2000~2008년	3.3%	5.2	70.6
합계		3.0%	8.7	203.1



[그림 3.17] True hotspot 자료를 활용한 개발기술 적용 결과

다. 특정 교통사고에 대한 취약구간 선정으로의 발전

- 본 연구에서 개발한 교통사고 취약구간 선정기술은 안전성능함수 없이 연도별 재현성을 기반으로 사고취약구간을 선정하였음.
- 악천후 사고, 고령자 사고 등 특정 교통사고들은 노출률 측정이 어려워 기존 PSI 기반의 사고 취약구간 선정이 어려웠지만 EEMD-CRP 기술을 통해 취약구간 선정이 가능함.
- 특정 사고에 대한 활용 가능성을 평가하기 위해 빗길교통사고 자료에 대해 위 과정과 동일한 EEMD-CRP 및 재현성을 산출하였고, 그 결과 일반 교통사고와 유사한 특성을 보임.
- 이를 통해 사고 지점별 교통사고 특성을 반영한 선별적 안전대책 수립이 가능해질 것으로 보임.



[그림 3.18] 개발기술을 활용한 빗길 교통사고 취약구간 선정 적용 예시

6. 연구개발성과

- 본 연구의 개발성과는 정량적 연구성과를 확인하는 것으로 하며 당초 계획한 정량적성과 목표 및 실적은 다음과 같음

[표 3.5] 정량적 연구성과

성과지표	성과 목표	실적
SCI(E)급 학술지 게재(1점)	3건	3건
특허출원(1점)	1건	1건
국내 학술지 게재(1점)	2건	2건
국내외 학술발표대회 (1점)	-	4건
인력양성 (1점)	-	1건
소개(점수)	6점	11점

- 본 연구는 창조형 모험 분야에 속하는 과제로, 최소 성과 목표는 3점이 기준이나, 제안 당시 6점 달성을 목표로 계획서를 제출하였음.
- 제안 당시 연구성과는 SCI(E)급 학술지 3건, 특허출원 1건, 국내 학술지 게재 2건이었으나 국내 학술발표 대회 3건과 국외 학술발표 대회 1건, 인력양성 1건을 추가로 달성하였음.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 교통사고 빈도 시뮬레이션 기법 개발

구분	1차 년도				2차 년도				진도(%)
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
통계모형 이론적 정립 및 시뮬레이션 구조개발	■								100
시뮬레이션 모델 소프트웨어 개발		■	■						100
실제 사고자료를 활용한 시뮬레이션 검증				■	■	■			100

나. 교통사고 빈도 시뮬레이션 기반 교통사고 취약구간 선정 EEMD 응용기술 개발

구분	1차 년도				2차 년도				진도(%)
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
EEMD의 배경 및 응용사례 조사	■	■							100
EEMD 기반 CRP 생성모델 개발		■	■	■					100
시뮬레이션 자료에 대한 실험 및 분석					■	■			100

다. 교통사고 취약구간 선정 오차율 5% 미만 EEMD 응용기술의 강건 모수 정산 기법 개발 및 실제 자료 적용

구분	1차 년도				2차 년도				진도(%)
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
교통사고 취약구간 관련 자료 수집				■	■	■			100
EEMD를 활용한 noise 제거 기술 검토					■	■			100
EEMD 응용기술의 강건 모수 정산기법 개발				■	■	■			100
EEMD 응용기술 기반 교통사고 취약구간 선정 프로세스 정립						■	■	■	100
EEMD 응용기술의 실제 사고자료 적용 및 검증					■	■	■	■	100

2. 관련분야 기여도

가. 교통사고 빈도 시뮬레이션 기법 개발

- 기존의 교통사고 취약구간 선정기법은 사고취약구간 후보군에 대한 상세한 분석 및 현장조사를 통해 선정된 true hotspot이 있어야 성능을 검증할 수 있었지만, 본 연구에서 개발한 교통사고 빈도 시뮬레이션은 실제 사고와 유사한 시뮬레이션 사고를 true hotspot과 함께 생성하기 때문에 사고취약구간 선정기법의 정량적 평가가 가능함.
- 본 연구의 교통사고 빈도 시뮬레이션은 실제 사고자료를 활용한 결과, 공간적 분포 특성 및 사고 발생 건수를 적절히 묘사하는 것으로 나타나 교통사고 취약구간의 강건 모수 정산뿐 아니라, 사고 심각도 모형과 연계한 사고 심각도에 대한 공간적 분포 연구에도 응용될 수 있음.
- 교통사고 빈도 시뮬레이션의 구조는 교통사고뿐 아니라 유사한 특성을 가진 지진과 재난의 공간적 영향, 토목 및 건축 구조물의 신뢰성 등 시뮬레이션 기반 연구가 활발히 진행되고 있는 다양한 방재 관련 분야에 활용 가능함.

나. 교통사고 빈도 시뮬레이션 기반 교통사고 취약구간 선정 EEMD 응용기술 개발

- 교통사고 취약구간 선정을 위한 EEMD 기반의 CRP는 true hotspot을 활용해 강건 모수를 정산해야 하는 기존 CRP와 달리 EEMD를 통해 분해된 IMF의 특성을 분석하여, 강건한 CRP를 구축할 수 있어, HSM 기반의 사고 DB가 구축되지 않은 다양한 지역에서 범용적으로 활용 가능함.
- 다양한 시뮬레이션 모수를 통해 생성된 시뮬레이션 자료에 대한 EEMD의 적용 및 IMF의 특성 분석을 통해 사고자료가 갖는 공간적 상관성의 크기와 범위에 대한 이해를 넓힐 수 있음.
- 시뮬레이션 자료 기반의 noise 제거기준 설정 과정은 EEMD 기반의 noise 제거 기술의 활용사례가 많은 의료, 해양, 음성처리 등 다양한 분야에 응용될 수 있음.

다. 교통사고 취약구간 선정 오차율 5% 미만 EEMD 응용기술의 강건 모수 정산기법 개발 및 실제 자료 적용

- 교통사고 시뮬레이션 기반의 강건 모수 정산기법은 지역별 사고자료 특성에 맞게 시뮬레이션 자료를 생성하고, 이를 바탕으로 교통사고 취약구간 선정기법의 강건 모수를 정산하기 때문에 true hotspot 없이 각 지역에 적합한 기법을 개발할 수 있음.
- EEMD 응용기술 기반 교통사고 취약구간 선정 프로세스는 안전성능함수 개발의 필요성 없이 EEMD-CRP의 연도별 재현성을 통해서 취약구간을 선정하기 때문에, 교통량이나 도로 환경 자료 없이 누적된 사고자료만을 통해 간편하게 취약구간 선정이 가능함.
- 제안된 교통사고 취약구간 선정기술은 실제 사고자료를 기반으로 5% 미만의 선정 오차율을 합리적인 false positive 범위 내에서 달성함으로써, 실용성과 정확도 측면에서 모두 우수한 기술이며, 향후 빗길사고, 고령자 사고 등 특정한 사고에 대한 취약구간 설정에도 활용할 수 있어 다양한 맞춤형 안전개선대책 수립에 크게 기여할 수 있음.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

가. 실용화·제품화 및 신산업 창출

- 연구 성과물에 대한 기술수요처는 교통안전 관리를 수행하는 국내·외 도로관리기관, 지자체, 컨설팅업체, 교통안전 기관 등이 있음.
- 본 연구는 교통사고 안전성 평가 프로그램의 핵심기능인 교통사고 취약구간 선정기법을 개발하였고, 이를 별도의 소프트웨어로 개발하거나 실용화·제품화된 교통사고 안전성 평가 프로그램으로 확장할 수 있음.
- 본 연구의 개발기술은 사고자료만으로 높은 정확도의 사고취약구간 선정이 가능하므로 새롭게 교통 안전성 관리를 도입하고자 하는 국가에 새로운 컨설팅 산업 창출이 가능함.



나. 교통사고 취약구간 선정 관련 원천기술 확보

- 시뮬레이션 기법을 활용한 교통사고 취약구간 선정 및 평가는 방대한 자료조사 및 현장검토를 간소화하고, 사고자료만을 통해 다양한 지역의 특성을 반영할 수 있어 기존 취약구간 선정기술에 새로운 패러다임을 제시함.
- 특히 강건한 EEMD-CRP를 활용해 연도별 재현성을 검토하여 사고취약구간을 선정하는 기술은 사고 노출률 고려가 불가능해 다루지 못한 빗길사고, 노인사고, 보행사고 등 특정 사고 취약구간으로 확장할 수 있어 맞춤형 안전대책 수립이 가능함.
- 사고 심각도 모형과 연계된 사고 시뮬레이션 및 공간적 상관성 분석기법은 아직 규명되지 않은 사고 심각도의 공간적 특성에 관한 연구로 확장될 수 있음.

다. 타 분야 연구로의 확장

- 발생의 임의성이 큰 사고자료에 대한 빈도 분포를 추정한 본 연구의 시뮬레이션 구조는 확률적 특성이 크고, 시·공간적 특성이 중요한 교통방재, 구조/네트워크 신뢰성에 적용될 수 있음.
- 시뮬레이션 기법을 이용한 EEMD 응용기술은 기존 noise 제거 및 IMF 해석의 한계점을 개선할 수 있는 발상으로 의료, 음성처리, 해양공학 등 다양한 분야에서 응용될 수 있는 원천기술임.

사고빈도 시뮬레이션 기법 개발

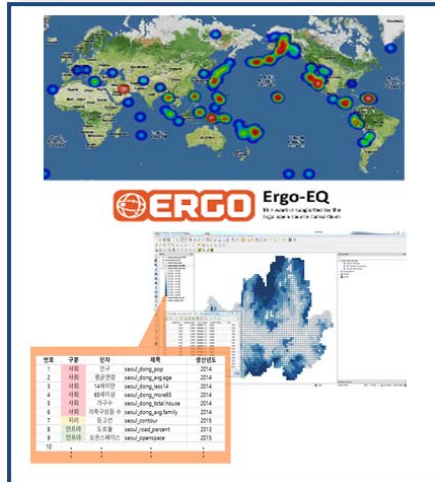
- 시공간적 상관성을 반영한 교통사고 시뮬레이션
- 시뮬레이션 기반 강건 모수 정산

EEMD 응용기술 개발

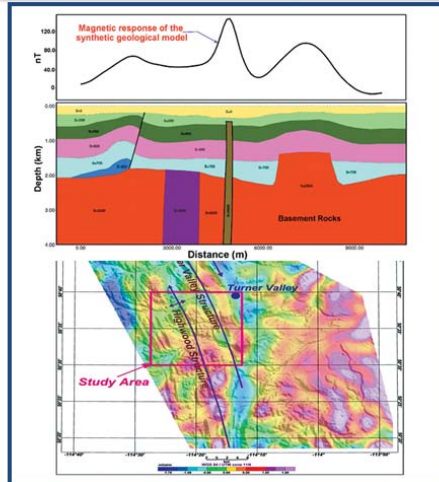
- 시뮬레이션 기반 EEMD 기법으로 개별 IMF 해석 가능성 제고
- 강건한 noise 제거 기준 정립

연구의 타 분야 활용

사고 빈도 시뮬레이션 활용 예) 도시 재난 및 교통 방재 분야



EEMD를 이용한 파동해석분야 활용 예) 항공중력을 이용한 oil & mining 탐사



제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

가. 교통사고 취약구간 선정 관련

- 캘리포니아 교통국에서는 별도의 도로 동질구간 설정 기준을 통해 안전성능함수를 개발하고 있으며, 안전성능함수와 sliding moving window 기법을 활용해 사고취약구간의 후보군을 선정하고, 매년 분기별로 교통안전 전문가의 현장조사를 통해 true hotspot을 선정하고 있음.
- 선정된 사고 취약구간 후보군에 대해 현장조사 후 경제성 분석을 함께 진행하여 true hotspot을 선정하며, 일정 분기 이상 연속적으로 true hotspot으로 선정되지 않고 후보군으로 남아 있는 경우 후보군에서 자동으로 제거됨.
- Chung et al. (2011)은 모수 정산된 CRP를 활용해 연도별 재현성을 검토하여, 선제적으로 사고취약구간 선정이 가능함을 보였으나, 연도별로 강건한 CRP가 생성되지 않아 실제 사고취약 구간 선정연구로 발전시키진 못함.

나. EEMD 응용기술 관련

- 공간 자료에 EEMD를 수행하는 경우 중간에 값이 없는 구간이 포함될 경우 EEMD의 체거름 과정에 필요한 극대 및 극소값이 충분하지 않아 EEMD 수행 자체가 되지 않는 문제가 발생하므로 연속형 자료로 변환이 필요함 (Kim et al., 2014).
 - 시계열 자료에 EEMD를 수행하는 경우 고주파에서 저주파 영역으로 갈수록 IMF의 에너지가 급격히 증가하는 양상을 보이므로, 에너지를 기준으로 noise 성분을 골라내는 것이 일반적임 (Kabir and Shahnaz, 2012).
 - Feng et al. (2014)는 EEMD가 1차원적인 공간자료뿐 아니라 2차원 이상의 시·공간 자료에도 활용 가능함을 보였으며, 이러한 특성을 활용해 복잡하게 도로가 얹혀있는 도시부 네트워크에서 2차원의 EEMD를 활용해 보행사고 취약구간을 선정한다면 사고위험도가 높은 교차로에서의 공간적 상관성에 대한 분석이 가능할 것임.
-

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	- 국가 연구개발 사업의 관리 등에 관한 규정 제 24조의 4(분류기준) ① 연구개발과제 보안등급은 다음 각 호와 같이 분류한다. <개정 2014.11.28> 1. 보안과제: 연구개발성과 등이 외부로 유출될 경우 기술적·재산적 가치에 상당한 손실이 예상되어 보안조치가 필요한 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 과제 가. 세계 초일류 기술제품의 개발과 관련되는 연구개발과제 나. 외국에서 기술이전을 거부하여 국산화를 추진 중인 기술 또는 미래핵심기술로서 보호의 필요성이 인정되는 연구개발과제 다. 「산업기술의 유출방지 및 보호에 관한 법률」 제2조제2호의 국가핵심기술과 관련된 연구개발과제 라. 「대외무역법」 제19조제1항 및 같은 법 시행령 제32조의2에 따른 수출허가 등의 제한이 필요한 기술과 관련된 연구개발과제 마. 그 밖에 중앙행정기관의 장이 보안과제로 분류되어야 할 사유가 있다고 인정하는 과제 2. 일반과제: 보안과제로 지정되지 아니한 과제 ② 연구개발과제 수행 과정 중 산출되는 모든 문서에는 제1항에 따라 분류된 보안등급을 표기하여야 한다. ③ 「보안업무규정」에 따른 I 급비밀, II 급비밀, III 급비밀 또는 이에 준하는 대외비로 분류된 과제와 「군사기밀보호법 시행령」에 따른 군사 I 급비밀, 군사 II 급비밀, 군사 III 급비밀 또는 이에 준하는 대외비로 분류된 과제에 대해서는 제1항 및 제2항에도 불구하고 관련 법령에서 정하는 바에 따른다. - 본 연구는 국가 연구개발 사업의 관리 등에 관한 규정에 입각해 볼 때, 보안과제 분류기준에 해당하는 사항 (기술적·재산적 가치 손실, 초일류 기술제품, 기술이전, 수출허가 등)이 없어 일반과제로 분류하는 것이 타당함	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

가. 연구활동종사자 환경안전교육 실시

○ 신규교육 및 정기교육

- 석/박사 신규교육: 2018년 2월, 8월 (매 학기 당 이틀 간 14시간)
- 석/박사 정기교육: 서울대학교 환경안전원 홈페이지와 교직원 홈페이지에 사고사례 및 안전교육 동영상 공개

○ 수시교육: 수시(기관의 요청에 의해 실시)

나. 실험실 안전점검

- 실험 특성에 따라 유형별로 분류하여 일상점검, 정기점검, 특별안전점검, 정밀안전진단을 실시

다. 실험실 안전사고 대응 및 예방

- 실험실 안전사고 대응조직을 설치하여 대응 및 처리 매뉴얼 보완 및 사고 대응 훈련 실시하여 유사사고 발생 시 대응능력 향상
- 실험실 안전사고에 대한 경각심을 높이고 유사사고를 예방하기 위하여 사고사례를 이메일을 통해 전파
- 실험실 사고처리 흐름도 및 비상연락스티커 제작 배포

라. 실험실 환경개선사업 실시

- 실험실 안전사고 예방과 실험종사자 보호를 위해 안정장비 확충, 시설 및 설비, 노후 기자재 교체 등 실험실 환경 개선 유도

마. 실험폐기물관리 강화:

- 실험실에서 발생하는 실험폐수 관리를 위해 처리의뢰부터 반출까지의 이력을 추적 관리하는 실험폐수처리이뢰 프로그램 구축하고 실험폐기물 발생 저감을 위해 환경 안전교육 실시

바. 연구활동종사자 특수건강검진 실시 및 보험가입

- 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 제18조 4항에 따라 「산업안전보건법 시행령」 제29조 및 동법 시행규칙 별표 12의2 「특수건강진단 대상 유해인자」 및 바이러스 등에 노출될 위험성이 있는 연구활동종사자를 모니터링하여 특수건강검진 실시
- 매년 정기적으로 보험가입 및 갱신처리를 지속적으로 이행함

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

1. 목표 달성도

- SCI급 논문 3편, 국내 학술지 2편을 게재하였으며, 특허출원은 1건을 달성하였음

2. 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인 용 횟수 등)
1	논문	Effect of Regional Characteristics on Injury Severity in Local Bus Crashes Use of Hierarchical Ordered Model	서울대 학교	교신저자	미국	0.695	2017.1.8	단독	SCI
2	논문	Hierarchical ordered model for injury severity of pedestrian crashes in South Korea	서울대 학교	교신저자	미국	2.394	2017.3.24	단독	SCI / 2회인용
3	논문	Multilevel Model for Ramp Crash Frequency that Reflects Heterogeneity Among Ramp Types	서울대 학교	교신저자	한국	0.695	2018.1.1	단독	SCI
4	논문	양상블 경험적 모드 분해법을 이용한 도시부 단기 통행속도 예측	서울대 학교	교신저자	한국		2018.8(예정)	단독	
5	특허출원	교통사고 빈도 시뮬레이션 기반 교통사고 취약구간 산정기법의 강건 모수 산정방법	서울대 학교	발명자	한국		2016.11.21	단독	

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

○ 국내 학술자료

- 김상옥, 안성채, 최기주, 장일준, (2008). 교통사고잦은곳 발생분포를 활용한 개선사업 구간선정 방안, 대한교통학회지 제26권 제3호, 67-74.
- 이서영, 김철순, 김동규, 이청원, (2013). 계층적 군집분석 기반의 Continuous Risk Profile을 이용한 고속도로 사고 취약구간 선정, 대한교통학회지 제31권 제4호, 85-94.
- 정성봉, 황보희, 성낙문, 이선하, (2009). EB기법을 이용한 사고잦은 곳 개선사업 우선순위 판정기법 개발, 대한교통학회지 제27권 제3호, 81-90.
- 양종현, 김정옥, 유기윤, (2016). 교통사고 데이터와 GIS를 이용한 보행자사고 개선구역 선정 : 서울시를 대상으로, 한국측량학회지 제 34권 제 3호, 221-230.

○ 국제 학술자료

- Pour-Rouholamin, M., & Zhou, H. (2016). Analysis of Driver Injury Severity in Wrong-way Driving Crashes on Controlled-access Highways. *Accident Analysis & Prevention*, 94, 80-88
- Bhat, C. R., Born, K., Sidharthan, R., & Bhat, P. C. (2014). A Count Data Model with Endogenous Covariates: Formulation and Application to Roadway Crash Frequency at Intersections. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 53-71.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2010). *Highway Safety Manual*, 1st edition., Washington, D.C., USA.
- Narayanamoorthy, S., Paleti, R., & Bhat, C. R. (2013). On Accommodating Spatial Dependence in Bicycle and Pedestrian Injury Counts By Severity Level. *Transportation research part B: methodological*, 55, 245-264.
- Aguerro-Valverde, J. (2013). Full Bayes Poisson gamma, Poisson lognormal, and zero inflated random effects models: Comparing the precision of crash frequency estimates. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 289-297.
- Shi, Q., & Abdel-Aty, M. (2015). Big data Applications in Real-time Traffic Operation and Safety Monitoring and Improvement on Urban Expressways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 380-394.
- Zhang, Y., Y. Gao, L. Wang, J. Chen, & X. Shi. (2007). The Removal of Wall Components in Doppler Ultrasound Signals by Using the Empirical Mode Decomposition Algorithm. 54, 1631-1642.
- Li, Y., Y. Li, X. Chen, & J. Yu. (2017). Denoising and Feature Extraction Algorithms Using NPE Combined with VMD and Their Applications in Ship-Radiated Noise. *Symmetry*, 9, 256.
- Khaldi, K., & A. Boudraa. (2008). New EMD Denoising Approach Dedicated to Voiced Speech Signals. *International Conference on Signals, Circuits and Systems, IEEE*, pp. 1-5.
- Kabir, M. A., & C. Shahnaz. (2012). Denoising of ECG Signals Based on Noise Reduction Algorithms in EMD and Wavelet Domains. *Biomedical Signal Processing and Control*, 7, 481-489.
- Ayenu-Prah, A. Y., & N. O. Atttoh-Okine. (2009). Comparative Study of Hilbert -

Huang Transform , Fourier Transform and Wavelet Transform in Pavement Profile Analysis. *Vehicle System Dynamics*, 47, 437-456.

- Chung, K., & Ragland, D. R. (2009). The Continuous Risk Profile Approach for the Identification of High Collision Concentration Locations on Congested Highways. *Transportation and Traffic Theory*, Springer US, 463-480.
- Kim, N. S., Chung, K., Ahn, S., Yu, J. W., & Choi, K. (2014). Denoising Traffic Collision Data Using Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) and Its Application For Constructing Continuous Risk Profile (CRP). *Accident Analysis and Prevention*, 71, 29-37.
- Kwon, O. H., Park, M. J., Yeo, H., & Chung, K. (2013). Evaluating the Performance of Network Screening Methods for Detecting High Collision Concentration Locations on Highways. *Accident Analysis and Prevention*, 51, 141-149.
- Wu, Z., & Huang, N. E. (2009). Ensemble Empirical Mode Decomposition: a Noise-assisted Data Analysis Method. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1(01), 1-41.
- Cassidy, M. J., & R. L. Bertini. (1999). Some Traffic Features at Freeway Bottlenecks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 33, 25-42.
- Lee, J., K. Chung, & S. Kang. (2016). Evaluating and Addressing the Effects of Regression to the Mean Phenomenon in Estimating Collision Frequencies on Urban High Collision Concentration Locations. *Accident Analysis and Prevention*, 97, 49-56.
- Lord, D., & F. Mannering. (2010). The Statistical Analysis of Crash-Frequency Data : A Review and Assessment of Methodological Alternatives. *Transportation Research Part A*, 44, 291-305.
- Yu, R., & Abdel-Aty, M. (2013). Investigating different approaches to develop informative priors in hierarchical Bayesian safety performance functions. *Accident Analysis & Prevention*, 56, 51-58.
- Chung, K., K. Jang, S. Madanat, & S. Washington. (2011). Proactive Detection of High Collision Concentration Locations on Highways. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45, 927-934.
- Feng, J., Z. Wu, & G. Liu. (2014). Fast Multidimensional Ensemble Empirical Mode Decomposition Using a Data Compression Technique. *Journal of Climate*, 27, 3492-3504.
- Crash Modification Factor Clearinghouse, FHWA, U.S. Department of Transportation, <http://www.cmfclearinghouse.org/>, accesed Jul. 14, 2018.

○ 기타자료

- 한국도로공사, (2013). 도로안전성 분석기법 개발 연구.
- 도로교통공단, (2017). 2017년판 ‘16 도로교통 사고비용의 추계와 평가’.
- 건설교통부, (2002). 사고 잦은 곳 개선사업 업무편람, 21-23.
- 도로교통공단, (2015). 2015년판 OECD 회원국 교통사고 비교.
- 국토해양부, (2011). 제7차 국가교통안전기본계획(2012~2016).
- 한국교통연구원, (2016). 도로교통 안전사업의 효과 분석 및 제도적 개선 방안.