

자율주행 및 군집주행 기반의
차세대 차량 기술이 교통 흐름
및 에너지 소모에 미치는
영향도를 분석하기 위한 교통
시뮬레이션 해석 플랫폼 개발
최종보고서

2018.08.01.

주관연구기관 / 한양대학교

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘자율주행 및 군집주행 기반의 차세대 차량 기술이 교통 흐름 및 에너지 소모에 미치는 영향도를 분석하기 위한 교통 시뮬레이션 해석 플랫폼 개발’(연구개발 기간 : 2016.06.24. ~ 2018.06.23) 과제의 최종보고서 9부를 제출합니다.

2018. 08. 01.

주관연구기관명 : 한양대학교 에리카산학협력단 좌 용 호 (인)

주관연구기관책임자: 김남욱

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C11 5109-02	해당 단계 연구 기간	2017.06.24.~ 2018.06.23	단계구분	2차년도/ 2차년도
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	자율주행 및 군집주행 전용차선이 교통 흐름 및 에너지 사용에 미치는 영향도를 분석하기 위한 교통 시뮬레이션 모델 개발			
연구책임자	김남욱	2차년도 참여 연구원 수	총: 3명 내부: 3명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 50,000천원 기업: 0천원 정부 외: 0천원 계: 50,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 3명 내부: 3명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:100,000천원 기업: 0천원 정부 외: 0천원 계:100,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한양대학교/기계공학과			-	
국제공동연구	-			-	
위탁연구	-			-	

본 연구를 통해 얻은 핵심적인 성과는 자율주행과 군집주행 기술, 보고서 면수

전용차선 운용 등의 차량 기술 및 도로 운용 기술의 적용이 가능한 고속도로 교통류 해석 모델과 에너지 분석이 가능한 차량 상세 모델임.

- ✓ 차량 모델의 경우, 내연기관 차량, HEV, PHEV, BEV 차량에 대해 차대 동력계 시험에서 평가된 연비의 95% 내외의 연비를 시뮬레이션 상에서 추종하는 차량 성능 상세 해석 모델을 확보.
- ✓ 사용자가 설정하는 다양한 미래 차량 기술과 도로 운용 기술의 적용이 가능하고, 지리 정보를 기반으로 구축된 교통류(교통 흐름) 해석이 가능한 모델 확보
- ✓ Mesoscopic 기반의 교통류 해석 모델을 통해 개별 차량의 주행 속도를 출력하고 이를 바탕으로 교통 시스템의 물류 능력 및 에너지 소모량을 정량적으로 평가할 수 있는 프로세스 확보 (시간당 10만대 해석 가능)

연구의 목적 및 내용	본 연구의 목표는 미래 차량 기술(자율주행차량 및 군집주행)과 다양한 동력 전달 계(내연기관 차량, 하이브리드 전기차, 전기차 등)를 차량에 적용하여 대단위 교통 시뮬레이션 상에서, 교통 흐름 및 전체 시스템의 에너지 소모량을 해석하는 플랫폼을 개발하는 것임. 이를 위해 세부적으로 다음 세 가지의 결과를 도출함. ✓ 교통 흐름(교통류) 해석 모델: 도로 상황 및 주행 환경에 따른 개별 차량 속도 도출이 가능한 교통 흐름 해석 모델 ✓ 차량 상세 모델: 내연 기관, 전기차, 하이브리드 자동차 등의 차량 적용 기술에 따른 개별 차량의 상세 연비 성능 해석 모델 및 제어 알고리즘 ✓ 고성능 연산 시스템: 대단위의 차량 상세 모델을 해석할 수 있는 병렬형 연산
----------------	--

	기반의 고성능 시뮬레이션 해석 환경 개발된 해석 프로세스를 활용도를 검증하기 위해, 특정 고속도로 모델에서 세 가지 교통 운용 조건(일반 자율주행, 자율주행+전용차선, 군집자율주행+전용차선)에 따른 교통 시스템의 성능을 정량적으로 평가한 결과를 도출함. 본 과제는 목표에 맞추어 크게 세 가지의 연구 개발 내용으로 진행됨. 첫 번째는 지리 정보를 활용하여 교통류 해석을 수행할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하는 것이며, 해당 모델은 다음과 같은 특징과 해석 능력을 갖출 수 있도록 연구를 진행함. ✓ 맵 기반의 정보를 활용하여 차선 수 등의 상세한 도로 정보를 입력할 수 있고, 해당 도로 상에서 사용자가 설정한 차량의 운용 조건에 따라 주행 상황 구현 가능. ✓ 개별 차량의 출발지 목적지 설정을 통해 세부적인 주행 경로를 설정할 수 있고, 시스템의 입출력 차량의 경계 조건을 개별적으로 혹은 일관된 값으로 정의할 수 있음. ✓ 임의 지점에서 신호 및 기타 중앙 통제 시스템에서 설정된 룰에 따라 개별 차량이 반응하는 기능을 적용할 수 있어, 교통 통제 상황을 구현할 수 있음. 두 번째 내용으로, 다양한 동력전달계 구성 및 미래 차량 기술 적용이 가능한 연비 성능 해석용 상세 차량 모델을 개발함. 충분한 신뢰도를 확보하기 위해 타 기관과의 협력을 통해 시험 결과를 확보하고 이를 바탕으로 다음의 차량에 대한 검증된 모델을 개발함. ✓ 일반 차량 모델: 차대 동력계 시험으로 검증된 내연기관 차량 모델 ✓ 친환경 전기차 모델: 현재 기술의 연비 및 주행 거리 성능을 충족하는 하이브리드, 플러그인 하이브리드, 전기차 ✓ 미국 에너지성의 기술 발전 로드맵에 기반한 미래 자동차 기술 적용 모델 (차량 모델 개발 상황에 따라 추가적으로 진행): 미국 에너지성이 작성한 차량 기술 개발 로드맵이 적용된 2020, 2025년의 미래 차량 모델 마지막으로, 개별 차량의 상세 성능 모델을 통해 해석을 수행하는 대단위 시뮬레이션을 위해 고성능 연산 환경을 구축함. 개발되는 고성능 연산 환경은 다음의 두 가지 기법을 활용하여 구축함. ✓ 상세 모델의 해석 시간을 단축시킬 수 있는 모델의 컴파일 기법 ✓ 네트워크 상의 컴퓨터를 활용하는 병렬형 연산 환경 최종적으로 연구개발 목표에 제시된 것과 같이 위 프로세스를 통합하여 모델 기반 해석 플랫폼을 구성하고 특정 시나리오를 적용한 비교 평가 연구를 수행함.
연구개발성과	본 연구를 통해 얻게 될 핵심적인 성과는 자율주행과 군집주행 기술, 전용차선 운용 등의 차량 기술 및 도로 운용 기술의 적용이 가능한 고속도로 교통류 해석 모델과 에너지 분석이 가능한 차량 상세 모델임. 먼저, 교통류 해석 모델 개발을 통해 다음과 같은 성과를 얻게 될 것임. ✓ 사용자가 설정하는 다양한 미래 차량 기술과 도로 운용 기술의 적용이 가능하고, 지리 정보를 기반으로 구축된 교통류(교통 흐름) 해석이 가능한 모델 확보 ✓ Mesoscopic 기반의 교통류 해석 모델을 통해 개별 차량의 주행 속도를 출력하고 이를 바탕으로 교통 시스템의 물류 능력 및 에너지 소모량을 정량적으로 평가할 수 있는 프로세스 확보 미시적(Microscopic) 기법을 통해 개별 차량의 상세 성능 모델 적용하던 기존의 방법에서 나아가서, 본 연구를 통해 중시적(mesoscopic) 기법을 활용하여 개별 차량의 해석이 1만대 수준, 혹은 그 이상이 가능한 교통류 해석 및 차량 성능 해석 프로세스를 확보하게 됨. 차량 모델의 경우, 목표를 달성하게 되면 내연기관 차량, HEV, PHEV, BEV 차량에 대해 차대 동력계 시험에서 평가된 연비의 95% 내외의 연비를 시뮬레이션 상에서 추종하는 차량 성능 상세 해석 모델을 확보하게 됨.
연구개발성과의 활용계획	서울 세종시간 고속도로의 자율주행 혹은 군집주행 전용차선의 도입에 대한 영향

(기대효과)	도 평가 및 운용 전략을 수립하는데 활용 가능함. 고속도로 상에서 군집주행의 성능을 극대화하기 위해 전용차선의 도입이 고려될 수 있는데, 본 과제로 개발된 해석 시뮬레이션 모델을 활용하여 자율주행 기술 또는 군집주행 기술이 적용되는 수준, 그리고 해당 기술 적용 차량의 시장 점유율 따른 교통 시스템의 성능을 다양한 조건에서 분석하는 것이 가능함. 한편, 본 과제에서 개발된 시뮬레이션 모델 및 해석 프로세스는 향후, 교통 시스템의 중앙 통제 시스템을 운용하는 전략을 개발하는데 활용될 수 있음. 나아가서는 중앙 통제 시스템의 운용 전략과 개별 차량의 제어 전략이 협조할 수 있도록 시스템의 분산 및 통합 제어 전략을 시뮬레이션 하는 등의 확장된 기능이 적용된 해석 플랫폼으로 진화될 수 있음. 또한, 병렬형 연산 환경을 활용하여 도로 교통 개발 전략, 시장 제어 전략, 혹은 기술 개발 전략을 수립할 때 필요한 대단위 교통 시스템의 성능 평가 결과를 도출할 수 있음.
핵심어 (5개 이내)	교통 시뮬레이션 자율주행 군집주행 전용차선 친환경 자동차

< SUMMARY >

Purpose & Contents	Development of an analysis tool that is able to evaluate the performances of a transportation system, such as traffic flow capability and energy consumption of entire vehicles when future vehicle technologies are applied to the transportation system In order to develop the analysis tool, it is needed to have i) a traffic flow model, ii) high fidelity vehicle models, and iii) high performance computing environment. Development of a high performance calculation environment, in which high fidelity vehicle models are applied, so that the fuel economies of electrified vehicles are calculated, and individual results of the vehicle simulation are aggregated in order to evaluate the energy consumption of the entire system. There are three steps to be accomplished for this project. The first one is to develop a traffic flow model that has functionalities, which are described below. ✓ The tool is able to utilize a geometric information for building a traffic flow model and to apply user defined conditions into the model ✓ Individual routes could be applied to the vehicles, and users could define the driving situation based on pre-defined routes. ✓ Vehicles in the flow model respond to the control demands from a central authority in the transportation system. High fidelity models will be developed to evaluate the energy consumption of the vehicles, so that the entire energy consumption of the transportation system could be calculated from the individual results, while the following configurations are considered for the models. ✓ Conventional vehicles: vehicle model using internal combustion engine only ✓ Electrified vehicles: advanced vehicles such as HEV, PHEV, or BEV ✓ Vehicles equipped with future technologies: vehicle models improved by assumptions based on future technology impacts High fidelity models developed in this project will show energy efficiencies that are very close to the real world behaviors obtained from vehicle tests. In the last step, high performance computing resource will be developed for the rapid calculation of the vehicle simulations, while the process has the following capabilities. ✓ Vehicle compilation will be used, so that rapid simulation is available for the high fidelity models.
--------------------	---

	✓ The high performance computing is possible by using parallel computing technology that combines machines on shared networks.				
Results	Impact of advanced vehicle technologies like automated vehicle technology and platoon driving technology on performances of a transportation system can be evaluated based on an integrated tool of a mesoscopic scale traffic flow model and a high fidelity vehicle model. The tool developed in this project will have following functionalities. ✓ It is possible to allow the users to apply different vehicle technologies and configurations in a transportation system to analyze traffic flow. ✓ The flow model utilizes mesoscopic scale in order to produce speed profiles from the simulation model. The tool developed in this project is an advanced tool, compared tools based on microscopic scale, in that a number of individual vehicles could be considered in the transportation system. When it comes to the vehicle model, the high fidelity modes will achieve very close fuel economies, by which the error of the simulation will be less than 5%, compared to the fuel economies obtained from the vehicle test.				
Expected Contribution	The integrated simulation platform can be utilized to analyze the impact of dedicated lanes for automated vehicles and to establish an optimized strategic plan for the operation of the transportation system. For instance, a highway driving model will be developed, and the different scenarios will be evaluated in the simulation platform, by which it is possible to establish a strategic plan optimizing the traffic flow and the energy consumption of the entire system according to the technology penetration. This could not only provide insights about the new technologies but also provide comparative results, which could be applied to the optimization process. The simulation and analysis platform developed in this project could be used to design a new process that uses microscopic scale, which is needed to evaluate the communication between individual vehicles and a control authority. By using the advanced model, the government will be able to build a road map of vehicle and transportation technology based on the impacts of the new technologies.				
Keywords	Traffic Simulation	Automated Driving	Platoon Driving	Dedicated Lane	Green Car

< Contents >

1. Outline of Research & Development Task	
2. Status of Domestic and Overseas Technology Development	
3. Research Performance and Achievements	
4. Achievement of Goal and Contribution to Relevant Field	
5. Plan to Utilize Research & Development Achievements	
6. Overseas Science Technology Information Collected During the Research Process ..	
7. Security Level of Research & Development Achievements	
8. Status of Research Facilities and Equipment Registered in the National Science and Technology Information System	
9. Implement Results of Safety Measures in Laboratory according to Performance of Research & Development Task	
10. Representative Research Achievements of Research & Development tasks	
11. etc	
12. Reference	

< 목 차 >

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

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 본 연구를 통해 특정한 고속도로 주행 상황에서 **자율주행 및 군집주행 기술**과 이러한 기술이 적용된 차량들이 주행하는 **전용차선 운용 기술**이 미치는 **교통 흐름의 영향도 및 시스템 전체의 에너지 효율 성능을 평가**할 수 있는 해석 플랫폼을 개발하고 제시된 기술의 영향도 평가를 수행함.
- 평가하고자 하는 교통 시스템의 성능은 다음과 같이 두 가지로 정의됨.
 - 1. **교통 흐름 성능**: 고속도로 주행 조건에서 개별 차량의 속도, 정체 상황을 해석하여 얻어진 시스템 전체의 차량 수송 능력 (정체 구간 발생 빈도, 차량의 평균 속도 활용)
 - 2. **시스템의 에너지 소모 성능**: 차량 적용 기술 및 차종 구성을 고려하여, 개별 차량의 연료 및 전기 에너지 소모량을 합산한 시스템 전체의 에너지 소모량 (개별 차량 상세 해석 모델 활용)
- 요구되는 성능을 평가할 수 있는 해석 프로세스를 개발하기 위해 다음 세 가지의 결과가 도출되며 이를 활용하여 통합된 해석 플랫폼이 구축됨. (그림 1-1 참조)
 - 1. **교통 흐름 해석 모델**: 도로 상황 및 주행 환경에 따른 개별 차량 속도 도출이 가능한 교통 흐름 해석 모델 (본 과제에서는 서울-세종 간 고속도로, 혹은 이에 상응하는 유사 고속도로 모델을 구축)
 - 2. **차량 상세 모델**: 내연 기관, 전기차, 하이브리드 자동차 등의 차량 적용 기술에 따른 개별 차량의 상세 연비 성능 해석 모델 및 제어 알고리즘
 - 3. **고성능 연산 시스템**: 대단위의 차량 상세 모델을 해석할 수 있는 병렬형 연산 기반의 고성능 시뮬레이션 해석 환경



그림 1-1 교통 시스템 성능 해석 플랫폼의 개념도

- 개발된 해석 플랫폼에서 고속도로 모델을 구성하고, 다음 세 가지의 경우의 교통 시스템 상황을 적용하여 각 경우에 대한 교통 시스템 성능을 평가하는 연구 결과를 도출함. (그림 1-2 참조)
- 1. 기본 모델: 전용차선 적용이 되지 않은 일반 자율주행 차량의 운행 상황 모델
- 2. 1단계 기술 적용 모델: 자율주행차량 전용차선이 운용되는 교통 상황 시뮬레이션
- 3. 2단계 기술 적용 모델: 자율주행차량 전용차선 및 군집주행(Platoon driving) 혹은 속도 동조화(Speed harmonizing) 기술이 적용된 교통 상황 시뮬레이션

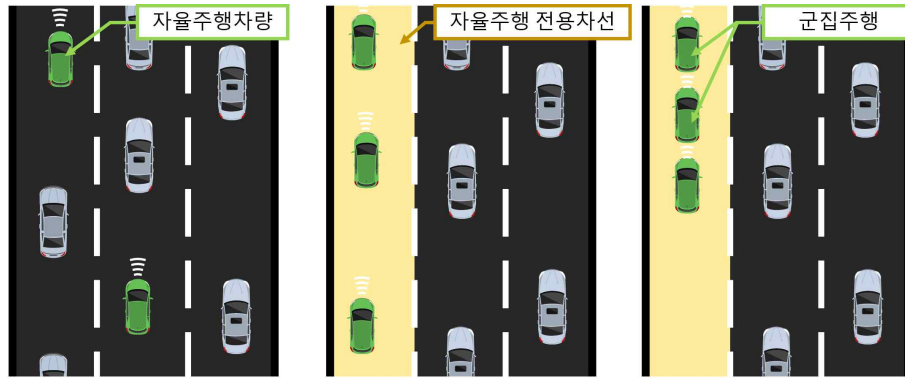


그림 1-2 자율주행 및 군집주행 기술, 이를 적용한 차량들을 위한 전용차선 적용의 예

위 해석의 결과로 각 미래 차량 기술 및 도로 운용 기술이 도입되었을 때, 교통 시스템의 차량 수송 능력이 어떻게 변화하고 시스템 전체의 에너지 소모 능력이 어떻게 나타나는지를 비교 평가함. 모델을 활용하여 다양하고 창의적인 형태의 비교 평가 연구 진행이 가능할 것으로 판단되지만, 현재 교통류 해석 모델 및 차량 에너지 평가 모델의 성능을 검증하기 위해 위의 세 가지 시나리오 상에서의 차량 에너지 해석 비교 연구를 수행함.

- 차세대 차량 기술 및 도로 운용 기술을 평가하기 위해 개발된 플랫폼을 활용하여 향후 국토 도로 개발 최적화를 위한 미래 차량 기술의 개발 전략을 수립하거나 도입된 기술의 운용을 최적화하는 교통 시스템 운용 최적화 연구를 수행하는데 활용할 수 있음.

2. 연구개발의 필요성

- 시뮬레이션을 통해 시스템의 거동을 구현하고 도출된 결과를 해석하는 기법은 시스템의 성능을 평가하고 그 성능을 최적화하는데 매우 효과적인 수단임. 본 과제에서 교통 시스템 성능을 평가하기 위해, 교통 흐름을 해석하는 시뮬레이션 모델과 차량 성능을 해석하는 시뮬레이션 모델을 개발하여 연동하고자 하는 이유는 다음 두 가지로 요약할 수 있음.
 - ✓ 자율주행, 군집주행과 같은 미래 차량 제어 기술은 현재의 기술이 활용되는 실제 환경에 적용하여 성능을 비교 평가하기가 매우 어려움. 따라서 검증된 모델을 바탕으로 미래 차량 기술을 적용함으로써 미래 기술의 영향도를 분석하는 것이 최선의 방법임.
 - ✓ 기술적으로 구현 가능한 상황에서도 교통 시스템의 운용 전략을 평가하기 위해 대단위 시스템을 대상으로 평가 시험을 진행하는 것은 막대한 비용과 시간을 필요로 함. 효과적인 방법으로 시뮬레이션 모델을 구성하고 일부 시험 결과를 바탕으로 검증하여 성능을 평가할 수 있음.
- 본 과제에서 제안하는 교통 흐름 모델 및 차량 모델의 통합 해석 프로세스를 통해 분석하고

자 하는 내용은 정량적으로 예측하기 힘든 복합적인 기술의 영향도임. 본 제안서의 책임 연구자자 국외에서 수행한 유사한 기초 연구 사례를 통해 그 중요성을 살펴볼 수 있음.

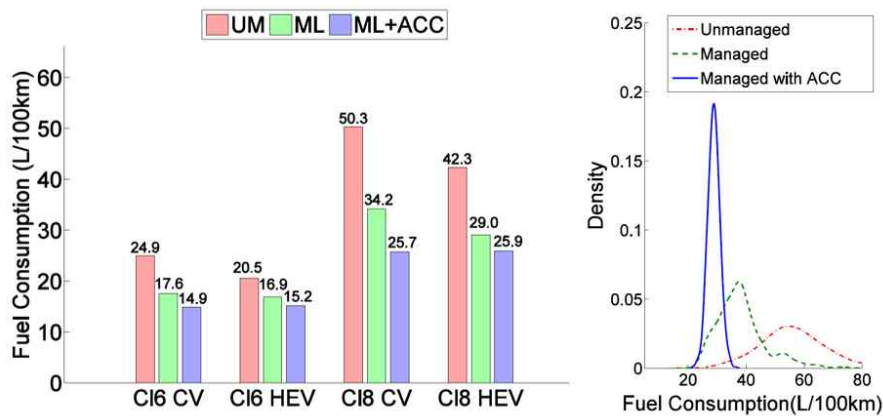


그림 1-3 고속도로에서 대형 트럭의 하이브리드 성능이 전용차선의 도입으로 저감되는 연구 결과 위 연구에서 고속도로 주행 상황에서 특정 차선을 Class 6 및 Class 8 트럭 전용으로 사용할 경우, 하이브리드 차량의 연비가 어떻게 되는지를 평가하였으며 해석 결과는 다음과 같이 요약됨.

- 전용차선(Managed Lane, ML)이 도입되면 일반상황(Unmanaged Lane)에 비해 하이브리드 트럭의 연비 향상도가 저감됨 - 회생 제동에 의한 연비 향상 여지가 감소하기 때문
- 전용차선(Managed Lane)에서 Adaptive Cruise Control을 활용하여 트럭의 속도가 동기화가 되면 하이브리드 차량의 연비가 오히려 나빠지는 결과가 도출 - 회생 제동의 여지가 크게 감소하는 상황에서 하이브리드 시스템으로 인한 무게 증가에 의한 연비 감소

위의 해석 결과를 바탕으로 대형 트럭의 경우 하이브리드 기술과 전용차선 기술 및 차속 동조화 기술이 서로 상충되는 영향을 미치는 것을 알 수 있음. 따라서 기술 개발에 있어 상충되는 기술의 이득을 시뮬레이션 기법을 통해 미리 정량적으로 예측하여 기술 개발 로드맵을 작성하는 것이 매우 중요함.

- 무인자율주행자동차 관련 기술이 성숙 단계에 이르고 산업 전반에 큰 파장을 예고하고 있고, 이에 따라 교통 시스템 내에서 커넥티드 카(Connected Vehicle) 및 자율주행차량(Autonomous Vehicle) 기술의 영향도를 평가하는 세부적인 해석 기술의 필요성이 점차 강조되고 있음. 국내에서는 신설되는 고속도로에 스마트카가 주행할 수 있도록 인프라를 구축하는 계획을 수립했는데, 이에 따라 고속도로의 운용 전략을 개발할 수 있도록 실제 스마트카 관련 기술의 영향도를 미리 정량적으로 예측하여 평가할 수 있는 기술을 개발하는 것은 시의적으로 매우 적절함.

3. 연구개발 범위

가. 1차년도

- 주관연구기관(한양대학교)

- **주행패턴 적용을 위한 자율주행 및 군집주행 이론 연구:** 교통류 해석 모델에 적용되는 교통 시스템 파라미터를 입력하기 위해 자율주행 및 군집주행 차량의 주행 패턴이 어떻게 변화하는지를 이해해야 함. 이를 분석하기 위해 자율주행 제어 알고리즘 및 군집주행 제어 알고리

들을 분석하여 수학적으로 구현하고 이를 교통류 해석 모델의 파라미터로 반영하여 해석을 수행할 수 있도록 함.

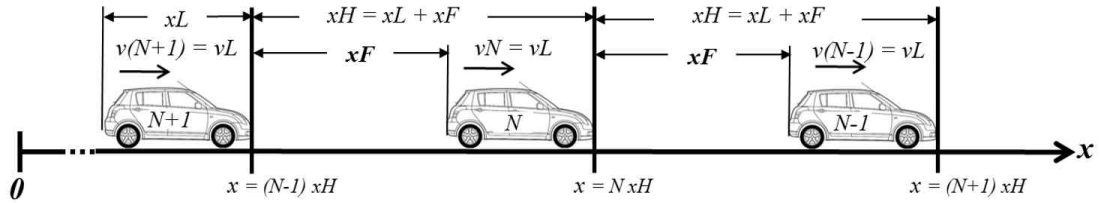


그림 1-4 군집주행 상황에서의 정상상태의 차량 추종 알고리즘을 위한 변수 정의
예를 들어 그림 1-4와 같은 상황에서 가운데 주행 차량의 속도는 다음과 같이 정의될 수 있으며 해당 방정식에 의한 주행 결과를 분석하여 패턴 분석이 가능함.

$$v_n = v_{n+1} + k_1(v_{n+1} - v_{n-1}) + k_2(L_{rxF} - L_{mxF})$$

여기서 v_n , v_{n+1} , v_{n-1} 은 각 차량의 속도를 나타내고, L_{rxF} 와 L_{mxF} 는 군집 주행 상황의 적정 차간 거리와 현재 차량 거리를 나타냄. 이 때, k_1 과 k_2 는 주행 상황을 나타내는 상수로 경험적으로 얻어질 수 있음. 자율주행과 군집주행 이론들을 바탕으로 주행 패턴으로 나타낼 수 있는 파라미터 분석 연구를 수행하고 이러한 주행 상황을 교통류 해석 모델에 적용할 수 있도록 함.

- 차량 시험 결과로부터 제어 성능 및 효율 성능을 분석하여 차량의 기본 성능 모델 개발: 차량의 상세 효율 성능을 얻을 수 있도록 차량 시험으로부터 얻어진 차량 시험 결과를 분석하여 제어 모델 및 성능 모델을 개발하고 개발된 모델을 통합하여 차량 시스템을 구축함. 상세 차량 모델의 완료는 2차 년도 초반에 이루어질 예정임. 시험 결과는 협동 연구 기관인 미국의 국립아르곤연구소에서 얻어지고 모델 공동 개발 과정에서 활용함.

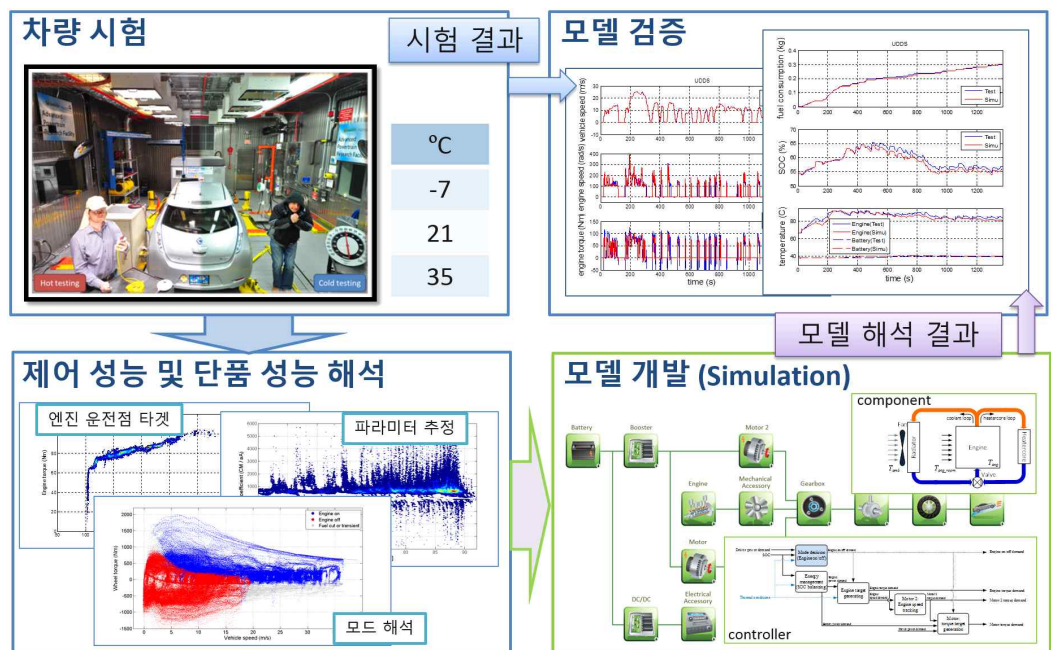


그림 1-5 차량의 시험 결과를 분석하여 얻은 성능 모델의 개발 및 검증 프로세스

- 병렬형 연산 환경을 위한 네트워크 시스템 구축: 1차년도에는 병렬형 연산 환경 준비를 위

한 네트워크 구축 및 고속 스토리지 구축을 주목표로 연구를 진행함. 가용한 클러스터를 최대한 확보하여 향후 대단위 시뮬레이션이 수행될 때 해석 시간을 단축할 수 있도록 고속 네트워크 환경을 구축함. 해당 클러스터를 확보하기 위해 중앙 관리 시스템과 고속 스토리지 시스템을 확보하고, 대학의 유휴 pc를 병렬형 연산 클러스터로 확보하여 야간에 활용하는 방안을 추진함.

- **교통류 해석 모델 개발을 위한 기본 정보 수집 및 주행패턴 분석:** 2차년도에 본격적으로 개발하게 될 고속도로 모델 개발에 필요한 기본적인 도로 정보 수집 및 관련 정보 수집 및 실도로 주행 정보를 분석한 도로 주행 패턴 분석. 그림 1-6에서 보여주는 것과 같이 현재, 활용할 수 있는 다양한 공공 데이터가 존재함. 이러한 정보를 활용하여 교통류 해석 모델에 활용할 수 있는 파라미터를 분석해 내고 해당 과정에서 가능할 경우 국내교통류 해석 전문가와 협력을 추진하고 관련 자문을 요청함.



그림 1-6 한국도로공사에서 고속도로 공공데이터로 공유된 교통량 정보의 예

- 협동연구기관(국립아르곤연구소)
- **차량 성능 시험 결과 공유 및 차량 모델 공동 개발:** 아르곤 연구소의 경우 연구 진행초기 한국을 방문하여 모델 개발 관련 자문을 수행하고 시험 결과를 분석한 공동 차량 모델 개발을 진행함.
 - **Polaris 기반의 교통류 해석 모델 개발 기법 전수:** 연구 기간 동안 한양대학교에서 파견된 연구원에게 Polaris를 활용한 교통 시스템 모델링 교육을 진행하고, 본 과제에서 제시된 고속도로 모델을 구축하도록 협조함. 한국의 지능형교통체계관리 시스템에서 제공하는 노드링크와 Polaris의 호환성 검토하여 노드링크 정보를 활용하는 인터페이스 구상.
- 협동연구기관(자동차부품연구원)
- **차량의 실도로 주행 시험 결과 공유 및 차량 성능 모델 개발을 위한 자문 수행:** 본 과제를 제안하는 주관연구기관과 협력 관계에 있는 자동차 부품 연구원은 그린넷 프로젝트를 수행하면서 다수 차량의 실도로 주행 정보를 3G 망을 통해 수집한 데이터를 확보하였음. (그림 1-7 참조) 본 과제가 진행되면 자동차 부품 연구원과의 협의를 통해 해당 실도로 주행 정보 해석을 통해 본 과제의 교통 흐름 해석을 검증할 수 있도록 자료 분석을 수행하고, 해당 연구원에서 관련 자문을 수행함. 가능할 경우, 같은 내용으로 대단위 실증 시험을 준비 중인

KT(주)와 협력 연구를 추진함.

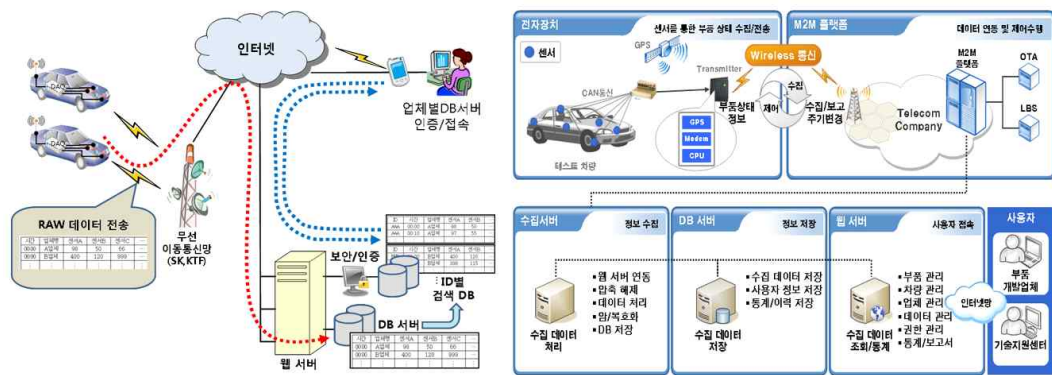


그림 1-7 그린넷 사업에서 수행된 실시간 도로주행 정보 수집 프로세스

나. 2차년도

- 주관연구기관(한양대학교):

- 서울-세종시 간 고속도로에 준하는 교통류 해석을 위한 고속도로 모델 개발 완료: 교통류 해석을 위한 고속도로 모델(가용한 정보가 있을 경우, 서울-세종시 간 도로를 모델링하고 그렇지 않을 경우 유사한 고속도로 모델 개발)을 Polaris 기반으로 구축하고 다양한 조건의 도로 운용 조건의 입력이 가능하도록 모델 개발.

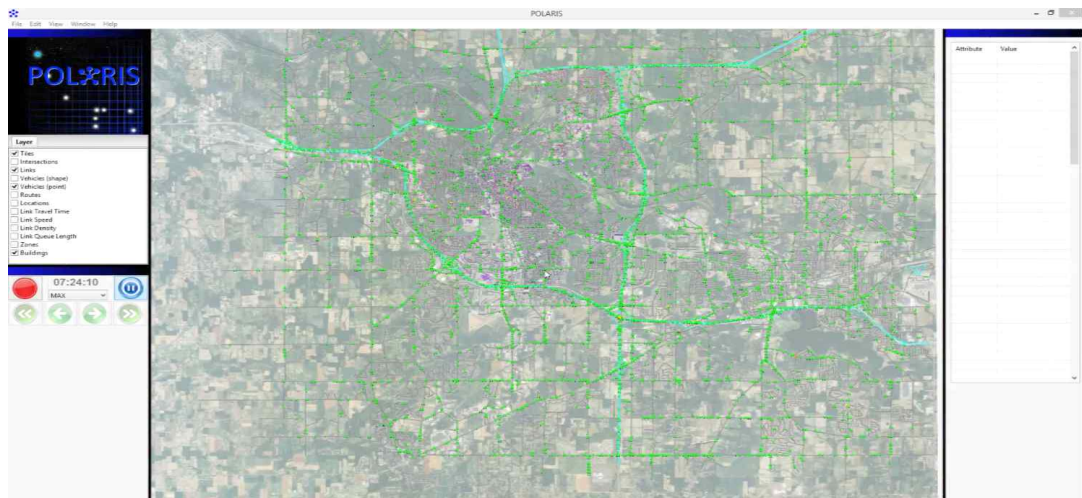


그림 1-8 Polaris 기반의 교통 시뮬레이션 모델의 예: 미시건 앤 아버 모델 (2015년 개발)

1차 년도 분석한 도로 주행 패턴을 바탕으로 입력 파라미터를 적용하여 교통류 해석이 가능하도록 모델 개발 완료

- 교통류 해석 모델의 검증 프로세스 개발: 본 연구 개발에서 가장 중요한 요소는 최종적으로 개발된 교통류 해석 모델의 신뢰성을 확보하는 것임. 우선적으로 국내의 기존 연구 기관에서 확보한 운전자의 주행 패턴, 고속도로에서의 교통량 흐름 데이터를 확보하고 이를 교통류 해석 모델에서 도출한 해석 결과와 비교 검증하는 방법으로 모델의 신뢰성을 확보하는 프로세스를 개발함. 그림 1-6과 같이 이미 고속도로의 교통량에 대한 통계적인 공공데이터가 존재하지만, 현재 개발되는 모델의 개별적인 차량의 주행 패턴까지 분석하는 모델을 기능을 목표로 하고 있으므로, 실제 고속도로 상에서 수집된 데이터를 바탕으로 분석을 하거나 기타, 상용화된 교통류 해석 모델의 미시적 해석 결과를 활용하는 방안을 검토할 수 있

을 것으로 판단됨. 이러한 검증 프로세스를 확보하기 위해, 국내의 관련 연구 성과를 확보하고 있는 연구 기관과 협력 관계를 유지하고, 본 과제의 성과물을 공유하여 모델의 활용도를 높이는 방안을 추진함.

- **내연기관, 하이브리드 전기차, 전기차 등의 에너지 효율 해석을 위한 차량 모델 개발 완료:** 다양한 차종의 성능을 구현하기 위해, 내연기관 차량, 하이브리드 전기차, 플러그인 전기차, 배터리 전기차, 이렇게 네 가지의 차량 모델의 개발을 완료하고 이를 시험 결과와 비교 검증함.



그림 1-9 Autonomie(Matlab Simulink) 기반으로 구성된 내연기관 차량, 하이브리드 전기차, 전기차 모델

- **차량 모델 컴파일링 기법 및 병렬형 연산 환경에서의 작업 관리 프로세스 개발:** 차량의 모델을 컴파일하여 라이선스의 영향을 받지 않고 병렬형 연산이 가능하도록 구성. 병렬형 연산을 수행하기 위한 작업 관리 프로세스(task management process)를 개발하여 네트워크 상에서 클러스터들이 일정량의 차량 모델 해석을 수행하고 결과를 취합하여 전체 시스템의 성능을 구현할 수 있도록 병렬형 연산 환경 및 해석 프로세스 구축
- **개발된 프로세스를 바탕으로 수행된 미래 차량 기술의 교통 시스템 성능 영향도 평가:** 최종적으로 개발된 위의 세 가지 성과물(교통 시뮬레이션 모델, 차량 성능 시뮬레이션 모델, 고성능 연산 환경)을 활용하여 본 과제의 최종 목표인 자율주행, 군집주행, 그리고 해당 기술이 적용된 차량을 위한 전용차선의 운용에 따른 교통 시스템의 흐름 성능, 에너지 소모 성능을 비교 평가하는 연구 수행.

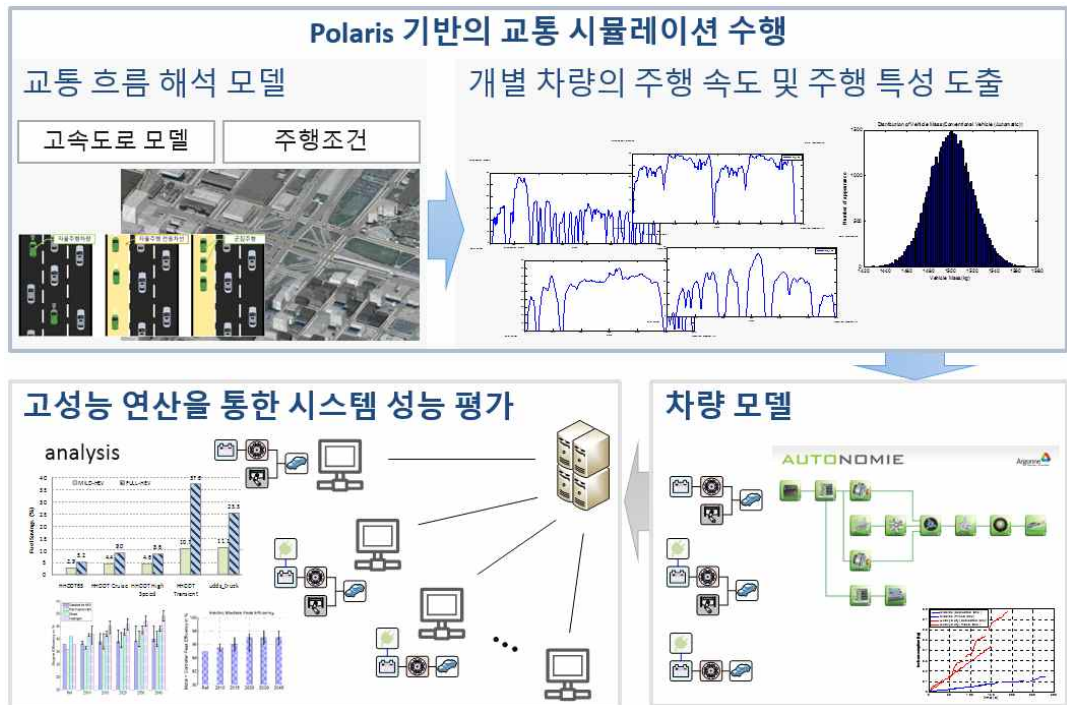


그림 1-10 개발된 해석 프로세스를 활용하여 미래 차량 기술이 교통 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하는 과정

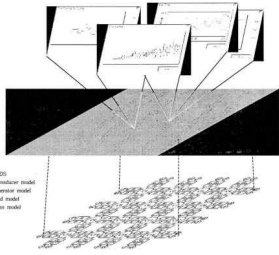
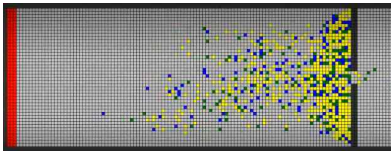
성능 평가를 위해, 차량의 모델이 완료되면 해당 차량의 합리적인 점유율을 설정(미국 에너지부의 미래 차량 기술 점유율 활용)하여 교통류 해석으로부터 얻어진 차량의 개별 주행 상황을 점유율을 바탕으로 배분하여 개별 차량의 연비 성능 해석을 수행

- 협동연구기관: 해당없음

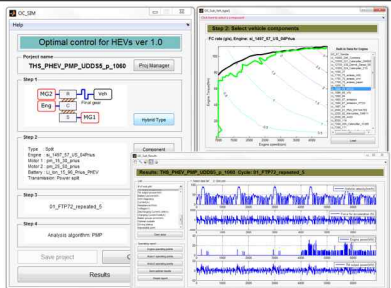
제2장. 국내외 기술 개발 현황

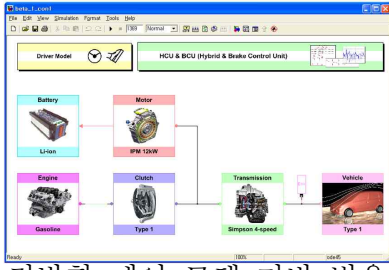
○ 국내 현황

- ✓ 교통류 해석을 위한 교통 시스템 시뮬레이션 관련 연구: 교통 흐름 해석 및 각종 영향도 분석을 위해 진행되는 연구의 경우, 통계적인 방법을 위한 거시적 모델 활용이 연구의 주를 이루고 있으나 미시적 모델을 활용한 연구 사례도 존재함. 일반적으로 교통 흐름 성능만을 주로 평가함.

연구수행기관	연구개발내용	연구개발성과의 활용현황
한국 항공대학교 지능형 교통시스템(ITS) 핵심 기반 기술 개발사업	 미시적 교통류 시뮬레이션 모델 개발	- 이산 사건 시스템 형식론 (Discrete Event System Specification) 에 기반한 미시적 교통류 해석 - ITS 시스템의 새로운 기술을 평가하는데 활용할 목적으로 개발되었으나 99년 개발 이후 개별적 연구 목적으로 활용되고 있음. 범용 적으로 사용되거나 유지 관리 되고 있지 않음
서울대학교 교통 빅데이터 분석 연구실	 동적복합체계를 활용한 교통 시뮬레이션 모델 개발	- 이산적 시공간 이론 기반의 동적 모델을 개발하여 차량 시뮬레이션과 연동을 계획 - 복합 모델 기반의 해석보다 빅데이터 분석 기반으로 연구 방향이 전환됨.
한양대학교 - 국토교통과학기술진흥원	차량-ICT 융·복합 교통류 분석/ 평가/ 설계를 위한 교통시뮬레이션 기술개발 기획	- 교통 혼잡을 최소화하고 도로용량 확대를 위한 막힘없는 첨단 교통 환경구축 분야인 Smart Mobility 연구개발 로드맵에 제시된 R&D 과제 기획연구 - 향후 연구 추진을 계획 중인 것으로 판단됨.

- ✓ 차량 성능 해석 모델 관련 연구: 국내의 다양한 기관에서 복잡한 기술의 상호 연관성과 차종의 다양화(HEV, PHEV, EV 등)를 고려한 차량의 연비 성능 해석 시뮬레이터가 개발이 되어 왔으나 검증할 수 있는 데이터의 부족, 지속적인 유지 관리 인력의 부재 등으로 현재 범용적으로 사용되는 해석 시뮬레이션 모델은 없는 상황임. 실질적으로 국외의 시뮬레이션을 통해 해석을 수행하고 있음.

연구수행기관	연구개발내용	연구개발성과의 활용현황
서울대학교, 서울과학기술대학교		- 최적화 기법을 적용한 후방향 제어 모델을 활용하여 차량의 연비 성능을 최적화하는 시뮬레이터 개발 - 개발 이후, 개발 기관에서 꾸준히 활용하고 있으나 차량 성능 검증 데이터의 부족 및 관리 비

	후방향 제어 기법을 활용한 차량 시뮬레이션 모델	용 부담으로 인해 개선이 이루어지지 않고 있음.
산업부 주관 대학 컨소시엄(서울대학교, 성균관대학교, 연세대학교, 한양대학교, 고려대학교)	 전방향 제어 모델 기반 범용 시뮬레이터 개발	- 공통 기반 기술 확보의 일환으로 국내의 차량 성능 평가 시뮬레이션 전문가 그룹을 구축하기 위해 범용 시뮬레이터 개발 - 마찬가지로 검증 데이터 및 유지 관리 비용의 이유로 지속적인 인터페이스 개발 및 모델 개선이 이루어지지 않고 있음.

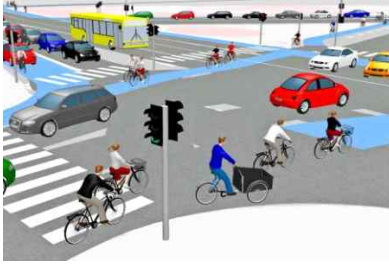
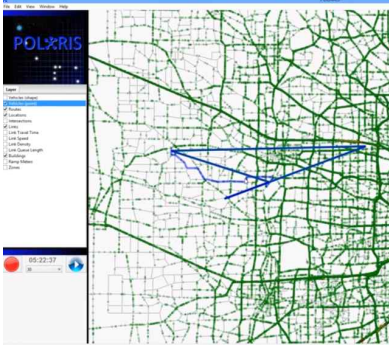
- ✓ 해당 연구를 수행하는데 있어 상세한 교통류 해석 모델 및 차량 성능 해석 모델이 요구됨. 두 상세 모델을 복합적으로 연동하여 해석하는 연구는 국내에서 진행되지 않았으며, 다양한 모델 관련 연구 결과를 축적하고 그 검증 방법을 확보하여 모델의 성능을 향상시키고 해석을 수행하는 연산 능력을 증대하여 관련 연구를 활발히 진행할 수 있을 것으로 생각됨.

○ 국외 현황

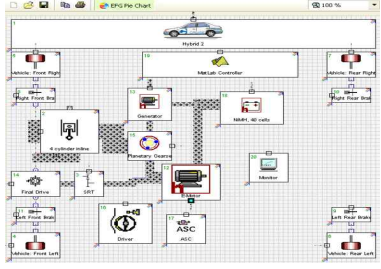
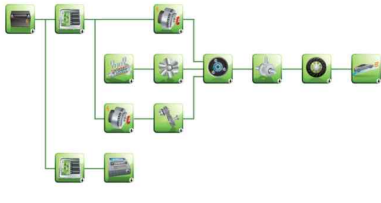
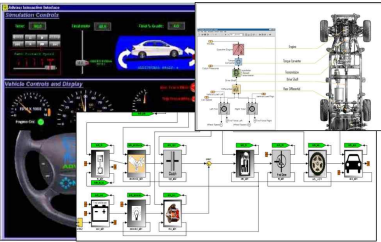
- ✓ 먼저, 미국의 경우 교통 시스템의 성능을 개별 차량의 기술 및 성능과 연동하는 관련 연구가 활발히 진행되고 있으며 2016년 2월 발표된 2016~2017년 미국 에너지성의 스마트 모빌리티(Smart Mobility) 분야의 기술 개발 과제 목표를 요약하면 다음과 같음.
 - 커넥티드 및 자율주행 - 관련 잠재 기술이 유발할 수 있는 에너지 영향도를 평가하고 분석하는 기법 개발
 - 이동 수단 결정 기법 개발 - 다양한 교통수단이 제공될 경우 에너지 관점에서 교통수단을 선택하도록 하는 사용자의 의사 결정 방법론 개발
 - 도시 공학 - 교통 시스템과 모빌리티에 기반한 도시화 진행의 복잡성을 이해하고 분석하는 기법 개발
 - 복합연구 - 교통 시스템 인프라 개발, 직장에서 배터리 충전 기법, 경제 이득 효과 분석, 전기 자동차 사용자의 기회비용 분석 등의 다양한 분야의 잠재적인 기술에 대한 평가를 수행함에 있어, 효율적이고 효과적인 분석 기법을 수립하며, 소프트웨어 및 하드웨어 연구, 개발 및 시연을 목표로 함.

설정된 연구 주제를 수행하는데 있어 통합된 교통 시스템 해석 기법이 강조되고 있으며 상세한 조건의 적용이 가능한 시뮬레이션 모델을 활용하여 위의 문제들을 해결할 수 있기 때문에 해석 툴의 개발을 중요하게 다루고 있고 중장기적인 투자를 지속적으로 진행하고 있음.

- ✓ 교통류 해석을 위한 시뮬레이션 관련 연구: 국외의 경우 다양한 형태의 교통류 해석 시뮬레이터가 개발되어 활발히 사용되고 있으며, 상용화된 툴도 다수 존재함. 그러나 교통류 해석 모델을 통해 교통 시스템의 에너지 성능을 연동하여 평가하는 플랫폼은 아직 개발되지 않은 것으로 파악됨.

연구수행기관	연구개발내용	연구개발성과의 활용현황
Caliper (미국)	 TransModeler	- 하이브리드 모드(Mesoscopic & Macroscopic)로 해석 가능한 해석 시뮬레이션 플랫폼 개발 - 대단위 네트워크 모델이 가능하나 에너지 시스템과 연동하여 해석하는 일반적인 프로세스 등이 존재하지는 않음. - 상용화된 툴로 커스터마이징이 어려움.
PTV Group (독일)	 VisSim	- 미시적 모델을 사용하는 교통류 해석 프로그램으로 소규모 혹은 중규모 네트워크 해석에 용이함. - 다양한 교통 환경 조건 입력이 가능하지만 마찬가지로 차량의 성능 해석과 연동한 해석 프로세스는 제공하지 않음. - 상용화된 툴로 역시 커스터마이징이 어려움.
Tass International (네덜란드)	 PreScan	- Matlab 기반의 차량 제어 모델과 연동이 가능한 유저 인터페이스 및 주행 환경을 모델링하는 프로세스 제공. - 차량의 제어를 정밀하게 평가할 수 있는 장점이 있으나 수십 대 이내의 소규모 네트워크에서만 활용 가능함. - 역시 상용화된 툴임.
아르곤 국립 연구소 (미국)	 Polaris	- 구글 맵 기반의 지리 정보와 노드 링크 정보를 바탕으로 교통류 해석 환경 구축 가능 - 차량의 속도 프로파일을 출력할 수 있는 수준의 중시적 (mesoscopic) 모델 구현 - 오픈 소스로 개발 중이며 커스터마이징이 가능함.

- ✓ 차량 성능 해석 모델 관련 연구: 차량 시뮬레이션의 경우 다양한 해석 툴이 개발되어 경쟁해 왔으나 현재는 소수의 해석 툴이 연구 및 개발 목적으로 범용성을 가지고 활용되고 있음.

연구수행기관	연구개발내용	연구개발성과의 활용현황
AVL (오스트리아)	 Cruise	- 전 세계적으로 가장 널리 쓰이는 차량 시뮬레이션 모델 개발 툴 - Matlab 등의 프로그램과 연동하여 매우 상세한 제어로직 개발 및 성능 해석이 가능함. - 고가임에도 기본적으로 공급되는 라이브러리가 거의 없음. - 커스터마이징이 어려움.
아르곤 국립 연구소 (미국)	 Autonomie	- Matlab 시뮬링크 기반의 차량 성능 해석 툴로 개별 모델의 소스가 오픈되어 있음. - 차량의 성능을 지속적으로 해석하여 모델의 정도를 개선시키고 있음. - 상용화된 툴이지만 Matlab 기반으로 모델이 구성이 되어 커스터마이징이 가능한 장점이 있음.
기타 해석 프로그램	 Advisor, PSAT, SimDriveline 등	- 다양한 차량 성능 해석 시뮬레이션 프로그램이 개발되어 활용이 되어왔음. - 모델 개선에 필요한 차량의 성능 시험 결과 부재, 지속적인 유지 관리 실패 등으로 인해 대다수의 해석 프로그램이 적극적으로 활용되지 않고 있음.

- ✓ 교통류 해석을 통해 교통 시스템의 기술 영향도를 분석하기 위한 노력으로 미국의 미시건 대학교에서는 커넥티드 카 기술 검증에 위한 실증 시험을 통해 방대한 양의 데이터를 확보하고 있으며, M-city 건설 등의 자율주행차량 관련 프로젝트를 성공적으로 수행하고 있음. 이 과정에서 관련 기술 개발을 위한 교통 시스템 시뮬레이션 플랫폼으로 미국 아르곤 연구소의 시뮬레이션 툴(Polaris, 위 표 참고)을 선택하여 실제 실증 시험이 이루어진 Ann Arbor 시를 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였음.(그림 2-1 참조) 해당 시뮬레이션 결과를 바탕으로 상세 차량 모델을 적용하여 시스템 에너지 분석을 수행하려는 연구 계획이 존재함.



그림 2-1 미국 미시건 대학교의 스마트 모빌리티 프로젝트 및 교통 시뮬레이션 적용 예 (Ann Arbor)

- ✓ 미국의 경우 다음과 같은 교통류 모델과 차량 성능 해석 모델의 연동 연구 사례가 존재함. 미국 아르곤 연구소에서 개발된 교통 시뮬레이터인 Polaris를 활용하여, 고속도로 주행 상황에서 대형트럭 전용차량의 운용에 따른 연비 변화를 해석하여 분석한 결과를 발표한 예가 있음. 그림 2-2에서, 시카고 지역 고속도로를 교통 시뮬레이션 상에서 모델링한 후, 다양한 차종 구성을 적용했을 때, 전용차선의 활용에 따른 대형 트럭의 에너지 소모량을 평가하였음.

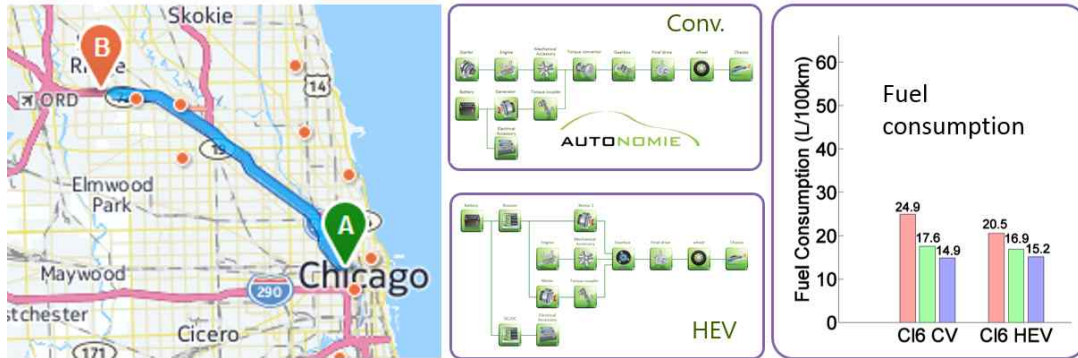


그림 2-2 해의 A 연구소에서 수행한 교통 시뮬레이션과 차량 시뮬레이션 연계 연구 해당 연구의 특징은 전용차선이 운용될 때, 트럭(Class 6 혹은 Class 8)의 경우 하이브리드 자동차의 연비가 내연기관 차량의 연비보다 더 좋지 않다는 결과가 도출되었다는 점임. 이 부분은 본 제안서의 연구의 중요성에서 좀 더 상세히 다루고 있음.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 차량 모델링

가. 주행저항 식 도출

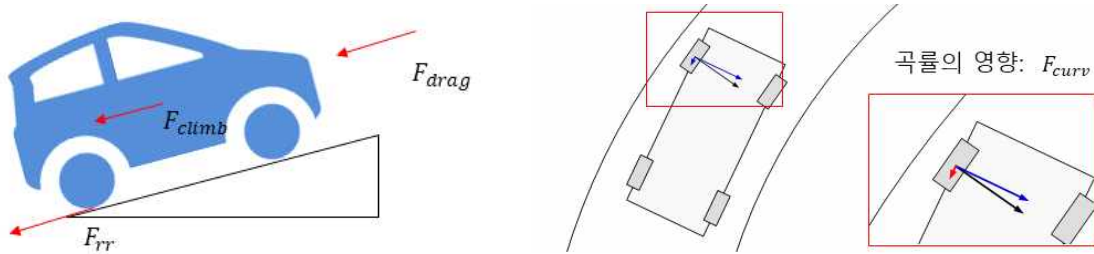
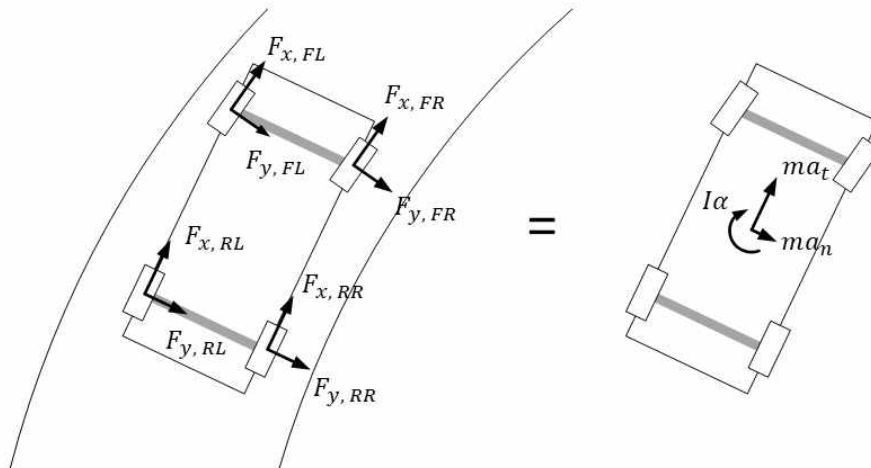
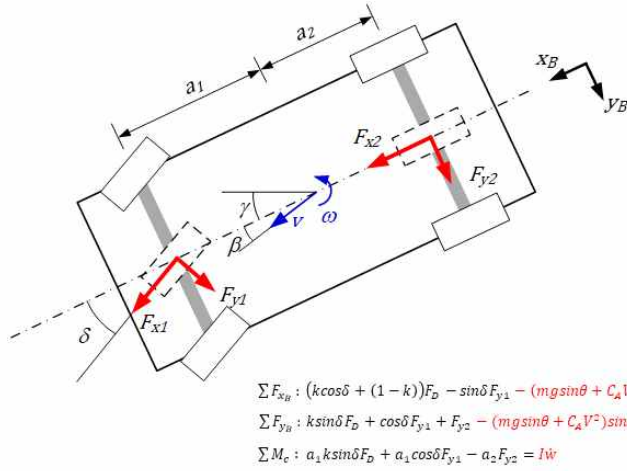


그림 3-1 구배 및 곡률 등을 고려한 주행저항

차량 주행 시 발생하는 저항은 크게 구름저항, 공기저항, 등판저항, 구배저항 및 곡률저항으로 표현될 수 있음. 일반적으로 현재 사용되는 많은 상용 시뮬레이터에서는 직선도로를 가정하고 곡률저항을 제외한 구름저항, 공기저항, 등판저항, 구배저항만을 사용하여 주행부하를 계산하고 있으나, 본 연구에서는 실도로 주행환경을 최대한 비슷하게 모사하여 자율주행 차량과 일반주행 차량의 연비 영향도를 정확히 분석하기 위해 추가적으로 도로 곡률에 의한 저항이 고려된 차량 상세 해석모델을 개발하였음.

(1) 곡률 저항 모델링





• Equations of Motion

$$F_{x1} = kF_D, F_{x2} = (1-k)F_D$$

$$k = 0 \quad \text{rear wheel drive}$$

$$0 < k < 1 \quad \text{all wheel drive}$$

$$k = 1 \quad \text{front wheel drive}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_{xB} : (k \cos \delta + (1-k))F_D - \sin \delta F_{y1} - (mg \sin \theta + C_A V^2) \cos \beta &= -\frac{mv^2}{R} \sin \beta + m \dot{v} \cos \beta \\ \Sigma F_{yB} : k \sin \delta F_D + \cos \delta F_{y1} + F_{y2} - (mg \sin \theta + C_A V^2) \sin \beta &= \frac{mv^2}{R} \cos \beta + m \dot{v} \sin \beta \\ \Sigma M_c : a_1 k \sin \delta F_D + a_1 \cos \delta F_{y1} - a_2 F_{y2} &= l \dot{\omega} \end{aligned}$$

그림 3-2 차량 동역학을 통한 곡률저항 계산

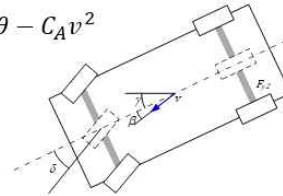
(2) 곡률저항을 포함한 차량 주행부하 모델링

$$m \dot{v} = k_1 F_{fd} - k_2 \mu_{rr} mg - k_3 \frac{mv^2}{R} - k_4 l \dot{\omega} - mg \sin \theta - C_A v^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{공기저항: } F_{drag} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot S_{veh}^2 \\ \text{구름저항: } F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \\ \text{등판저항: } F_{climb} = m \cdot g \cdot \sin \theta \end{array} \right. C_A$$

$$k_1 = k_2 = \frac{((1-k)(a_1+a_2)\cos\delta + k(a_1+a_2))}{(a_1+a_2)\cos\beta\cos\delta + a_2\sin\beta\sin\delta}, k_3 = \frac{(a_2\sin\delta\cos\beta - (a_1+a_2)\cos\delta\sin\beta)}{(a_1+a_2)\cos\beta\cos\delta + a_2\sin\beta\sin\delta}, k_4 = \frac{\sin\delta}{(a_1+a_2)\cos\beta\cos\delta + a_2\sin\beta\sin\delta}$$

$$m \dot{v} = k_1 F_{fd} - k_2 \mu_{rr} mg - k_3 \frac{mv^2}{R} - k_4 l \dot{\omega} - mg \sin \theta - C_A v^2$$

다양한 주행 조건에서의 간편식 (문헌 비교)



$$(R \rightarrow \infty, \delta = \beta = 0) \quad \longrightarrow \quad F_{fd} = m \dot{v} + \mu_{rr} mg + mg \sin \theta + C_A v^2$$

$$(\dot{v} = \dot{\omega} = 0, \theta = 0) \quad \longrightarrow \quad F_{fd} = \mu_{rr} mg + C_A v^2 + \frac{\frac{a_2}{a_1+a_2} \cos \beta \sin \delta - \sin \beta \cos \delta}{k + (1-k) \cos \delta} \frac{mv^2}{R} \quad [1]$$

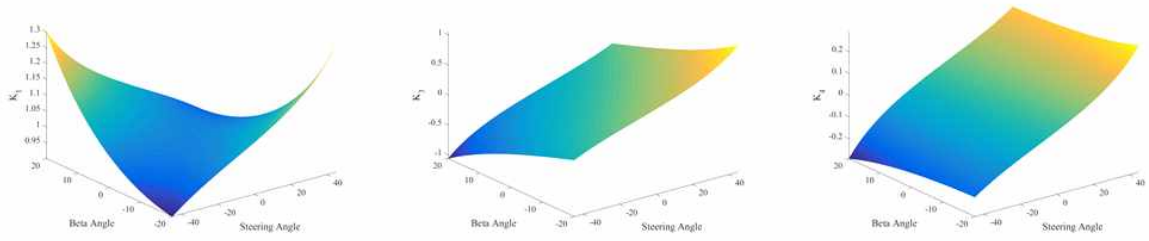
$$(\dot{\omega} = 0, \delta \ll 1, \beta \ll 1) \quad \longrightarrow \quad F_{fd} = m \dot{v} + \mu_{rr} mg + mg \sin \theta + C_A v^2 + \frac{m^2}{2l^2} \left(\frac{l_2^2}{c_{y1}} + \frac{l_1^2}{c_{y2}} \right) \frac{v^4}{R^2} \quad [2]$$

[1] Hill, Georg, "Vehicle dynamics," Hochschule Regensburg, University of Applied Sciences [2009]

[2] Fujimoto, H. et al, "Range Extension Autonomous Driving for EVs Considering Road Shape Information," 公益社団法人自動車技術会 2016年春季大会学術講演会講演予稿集

그림 3-3 곡률저항을 포함한 차량 주행부하 계산

본 연구에서는 실도로에서 곡률과 구배를 포함한 차량 주행부하를 구하기 위해 차량 동역학을 기반으로 주행저항 식을 도출하였고, 도출된 주행저항 식의 신뢰성 확보를 위해 다양한 논문 및 문헌을 참고하여 검증절차를 진행하였음 (그림 3-3).

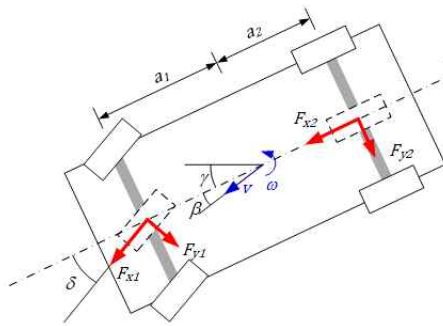


- $k_1 = k_2$ ($-45 \leq \delta \leq , -20 \leq \beta \leq 20$)
- k_3 ($-45 \leq \delta \leq , -20 \leq \beta \leq 20$)
- k_4 ($-45 \leq \delta \leq , -20 \leq \beta \leq 20$)

그림 3-4 상세 주행저항 모델 계수의 영향도 분석

도출된 주행저항 식은 곡률 및 구배를 모두 반영하고 있는 상세 주행저항 모델로, 시뮬레이션 시 많은 계산량을 요구함. 많은 계산량을 요구하는 상세 주행저항 모델은 TCU의 성능 문제로 실제 차량에 적용하기 힘든 문제가 있음. 따라서 본 연구에서는 상세 주행저항 모델 계수의 영향도를 분석하여 실제 차량에 적용할 수 있도록 상세 주행저항 모델을 고도화 함 (그림 3-4).

(3) 자율주행 차량의 조향각 예측기법



- Applied force on Tires

$$F_y = c_s s_y \rightarrow F_{y1} = c_{s1} s_{y1}, F_{y2} = c_{s2} s_{y2}$$

c_s : tire stiffness
 s_y : tire slip ratio

- Constant Vehicle Speed, $\dot{v} = 0$

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-c_{s1} + c_{s2}}{mv} & \frac{a_2 c_{s2} - a_1 c_{s1}}{mv^2} - 1 \\ \frac{a_2 c_{s2} - a_1 c_{s1}}{I} & -\frac{a_1^2 c_{s1} + a_2^2 c_{s2}}{Iv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_{s1}}{mv} \\ \frac{a_1 c_{s1}}{I} \end{bmatrix} [\delta]$$

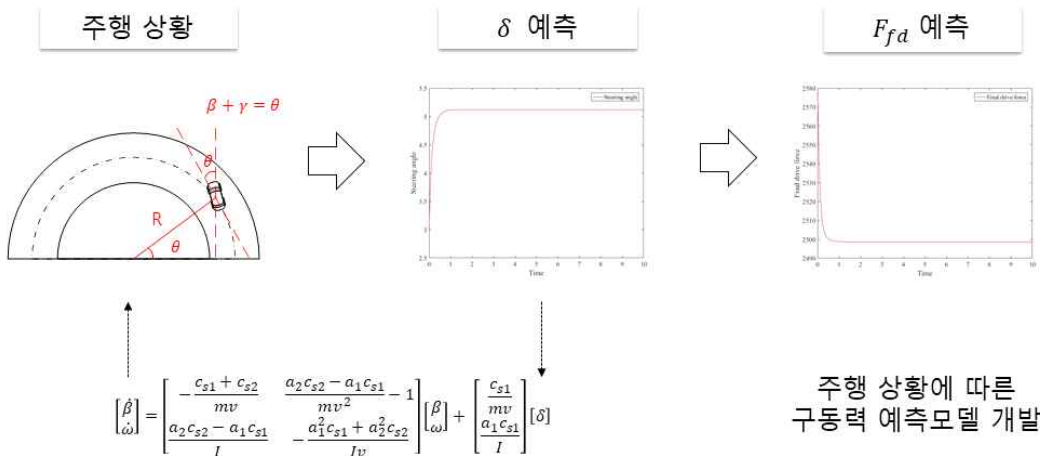


그림 3-5 자율주행 차량의 조향각 예측 및 구동력 예측

본 연구의 가장 핵심적인 부분은 일반차량 대비 자율주행 차량 등 미래 차량 기술이 적용되었을 경우 다양한 동력전달계 차량에 대한 연비 영향도를 평가하는 것이므로,

자율주행 차량의 조향각 예측이 매우 중요함. 자율주행 차량은 일반 차량과 달리, 운전자의 의지가 반영되지 않아 곡률이 주어졌을 경우 차량의 조향각을 예측할 수 있는 여지가 있음. 본 연구에서는 차량 동역학 및 수치계산을 기반으로 차량의 가속하지 않는 상황에서 차량의 조향각을 예측할 수 있는 기법을 개발하였음(그림3-5).

나. 연비평가를 위한 차량 상세 해석모델 개발



그림 3-6 다양한 동력전달계 차량 모델

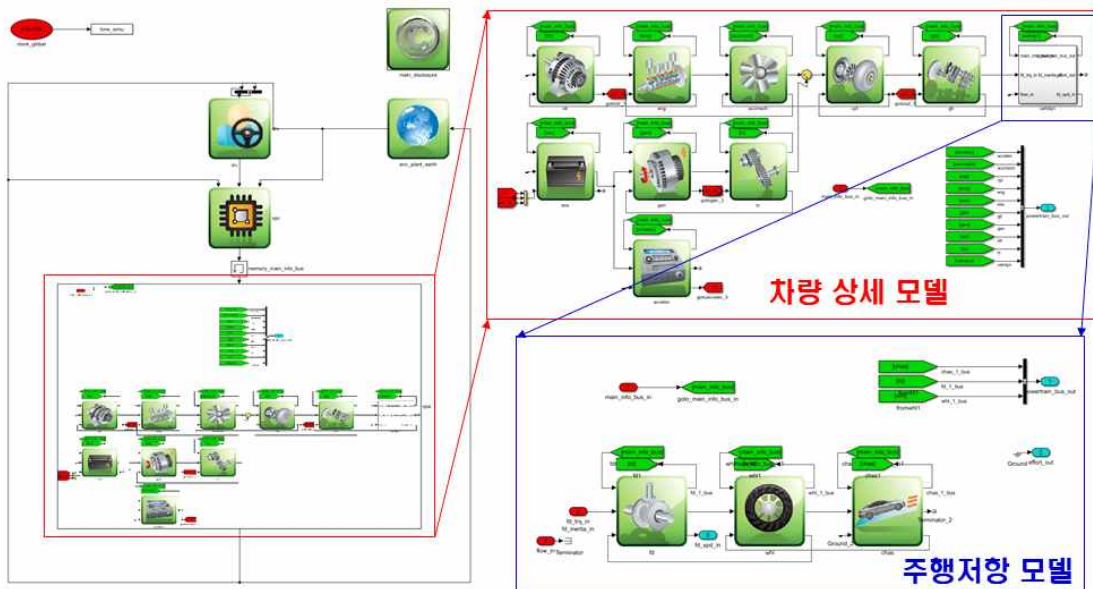


그림 3-7 차량 상세 해석 모델 개발

본 연구의 목표는 미래 차량 기술과 다양한 동력 전달계(내연기관 차량, 하이브리드 차량, 전기차)를 차량에 적용하여 대단위 교통 시뮬레이션 상에서, 교통 흐름 및 전체 시스템의 에너지 소모량을 해석하고 미래 차량 기술에 따른 연비 영향도를 평가하는 것이므로 연비 평가를 위한 차량상세 해석모델이 매우 중요한 상황임. 따라서 본 연구에서는 미국 아르곤 국립 연구소에서 개발한 오토노미 시뮬레이터를 기반으로 개발된 주행저항 모델을 적용하여 정확한 연비 평가를 할 수 있는 차량 상세 해석모델을 개발하였음(그림 3-6, 3-7).

2. 미시적 교통류 모델

가. Gipps Model



$$v_{n+1}^a(t+T) \leq v_{n+1}(t) + 2.5a_{n+1}T \left(1 - \frac{v_{n+1}(t)}{V_{n+1}}\right) \left(0.025 + \frac{v_{n+1}(t)}{V_{n+1}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$v_{n+1}^b(t+T) \leq b_{n+1}T + \sqrt{b_{n+1}^2T^2 - b_{n+1}(2[x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)] - v_{n+1}(t)T - \frac{v_{n+1}^2(t)}{b})} \quad (2)$$

$$v_{n+1}(t+T) = \min\{v_{n+1}^a(t+T), v_{n+1}^b(t+T)\} \quad (3)$$

a_{n+1} : Maximum acceleration which the driver of vehicle n wishes to undertake

b_{n+1} : the most severe braking that the driver of vehicle n wishes to undertake

L_n : effective size of vehicle n

T : reaction time

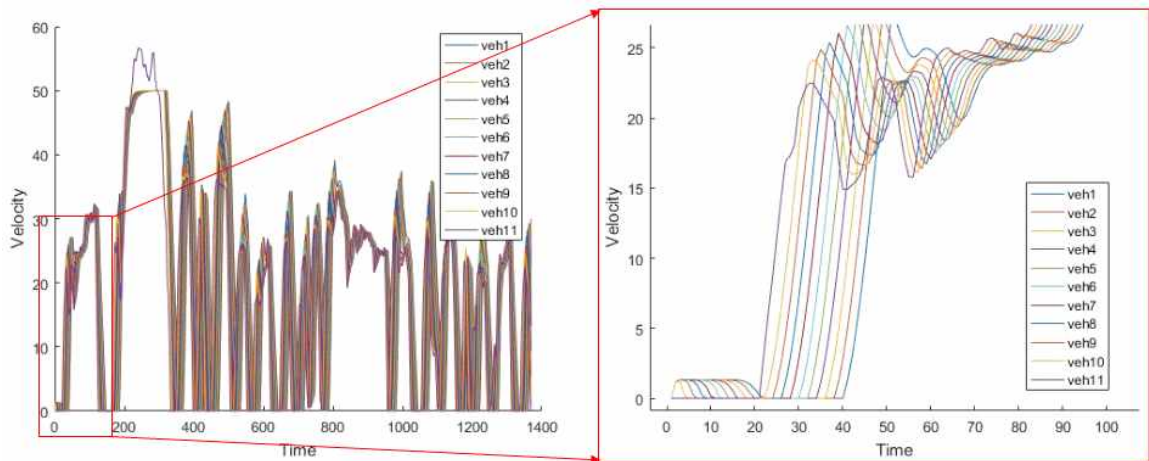
V_{n+1} : Speed at which the driver of vehicle n wishes to travel

$v_{n+1}(t)$: speed of vehicle n at time t

$x_{n+1}(t)$: Location of the front of vehicle n at time t

그림 3-8 Gipps Model

대단위 교통 시스템 모델을 개발하기 위해서는 자율주행 차량과 일반주행 차량 각각의 속도 프로파일을 예측할 수 있어야 함. 본 연구에서는 교통 흐름 상황에 따라 차량 각각의 속도를 예측할 수 있는 미시적 교통류 모델 중 하나인 깁스 모델을 사용하였음. 깁스 모델은 총 세 개의 식으로 구성되어 있으며, 앞차와의 거리가 멀어지면 가속 식을 사용하고 앞차와의 거리가 가까워지면 감속식을 사용하는 메커니즘임. 또한 깁스 모델은 전방에 특정 이벤트가 발생하였을 경우 운전자가 인지할 수 있는 시간을 반영하고 있다는 점에서 다른 교통류 해석 모델과 차이를 보임. 본 연구에서는 많은 논문 및 문헌을 통해 사람의 적절한 인지시간을 반영하였음. 다른 대표적인 교통류 해석 모델로는 IDM(Intelligent Driver Model)이 있는데, 이 모델의 경우 식의 유도과정이 상세히 나와있지 않고 실험식으로 도출되었음. 깁스 모델의 감속식 경우 물리적인 유도과정을 통해 도출되어 보다 신뢰성이 있다고 판단하여 본 연구에서는 깁스 모델을 사용하였음.



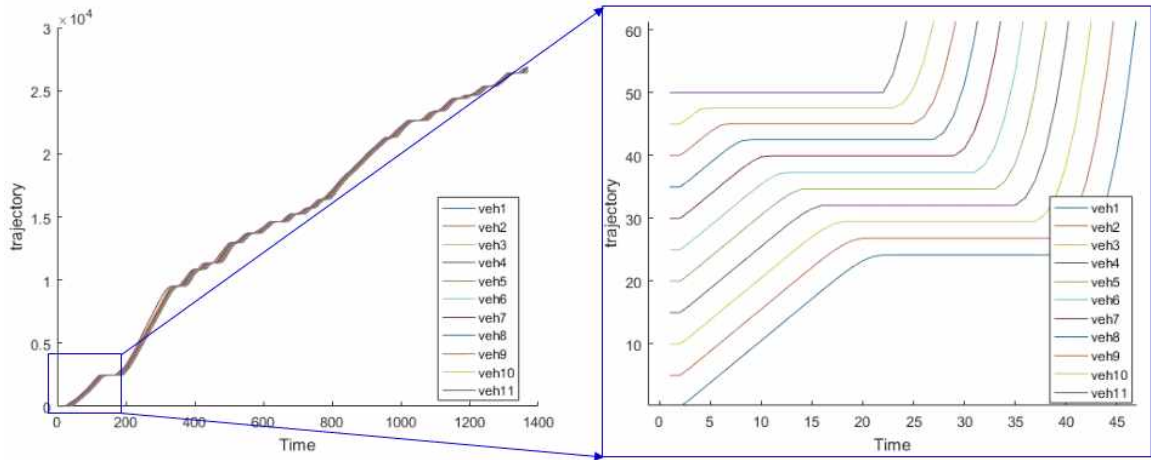
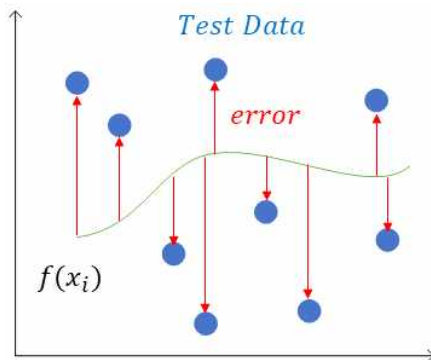


그림 3-9 Gipps Model을 기반으로 차량 속도프로파일 및 차량 궤적 예측

대단위 교통시뮬레이션 해석에 앞서, 모델의 타당성을 검증하기 위해 깁스 모델을 기반으로 11개의 차량에 대한 속도 프로파일과 차량의 궤적을 예측해보았음.(그림3-9) 맨 앞차의 기준 속도 프로파일은 연비 평가에 사용되는 도심 주행 사이클인 UDDS 사이클을 사용하였음. 예측된 속도프로파일과 차량 궤적을 분석한 결과, 전방 차량과 충돌 없이 후 차량이 전 차량을 잘 따라가며 후 차량이 원하는 속도로 수렴하는 결과를 얻을 수 있었음.

나. Parameter Estimation



$$RMSE = \min \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{n}} \right)$$

$f(x_i)$: 추정 Equation – Gipps Model

y_i : Test 데이터

n : 데이터 개수

그림 3-10 Parameter Estimation

미시적 교통류 모델은 교통 흐름에 따라 차량 각각의 속도프로파일을 예측해야하기 때문에 매우 복잡하고 많은 파라미터를 갖고 있음. 보다 정확한 교통 흐름 해석 모델을 개발하기 위해서는 운전자들의 성향을 분석하고 그 성향에 맞는 최적의 파라미터를 추정하는 연구를 진행해야 함. 본 연구에서는 운전자의 성향을 분석하지는 못했지만, 추후 연구를 위해 운전자 성향에 따라 파라미터 추정을 할 수 있는 기법을 연구했음.

3. 세종-서울IC 속도프로파일 실측

가. Vehicle Spy



그림 3-11 실측 고속도로 구간 & Vehicle Spy ECU

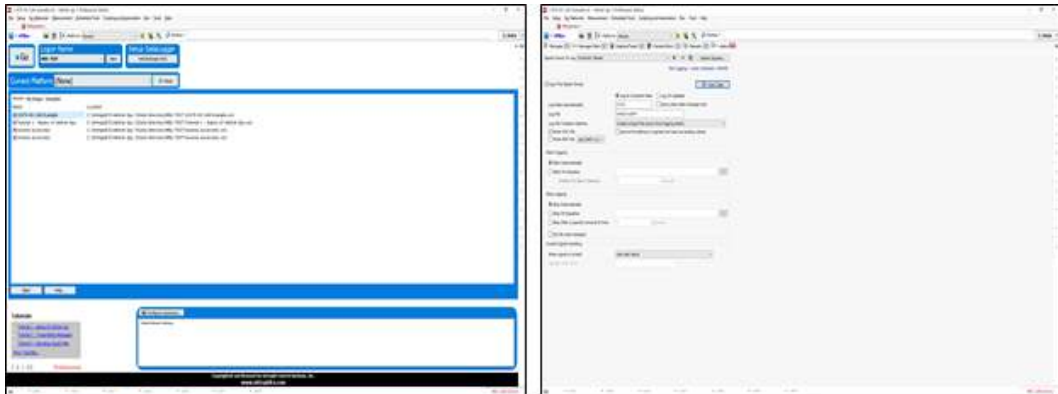


그림 3-12 Vehicle Spy Logon & Logging Option Window

본 연구에서 미래 차량 기술 영향도 평가를 할 수 있는 정확한 플랫폼을 개발하기 위해 Vehicle Spy ECU를 이용하여 서울IC에서 세종IC 간 고속도로에서의 차량 속도 프로파일과 실측함. 총 주행거리는 약 125km, 총 주행 시간은 약 1시간 20분으로 예상되었으며, Vehicle Spy에서 사용한 Diagnostics system으로는 SAE J1979에 정의된 표준 OBD-II PID를 사용함. 로깅 옵션은 common values를 사용하였고 log rate는 0.01초 단위로 데이터를 로깅 하였음. 기본적으로 Time, Vehicle Speed, Engine RPM, Accelerator Pedal Position 등의 데이터를 받아 올 수 있음. 그림 3-13과 같이 Graphical Panel과 Scripting 기능을 사용하여 사용자가 필요로 하는 맞춤형 시뮬레이션 환경을 구성할 수 있음. Vehicle Spy를 통해 차량 네트워크에서 발생하는 메시지를 받아 저장 및 분석할 수 있고, 또한 차량으로부터 받은 메시지를 Signal plot창을 통해 그래프로 실시간으로 확인할 수 있음.

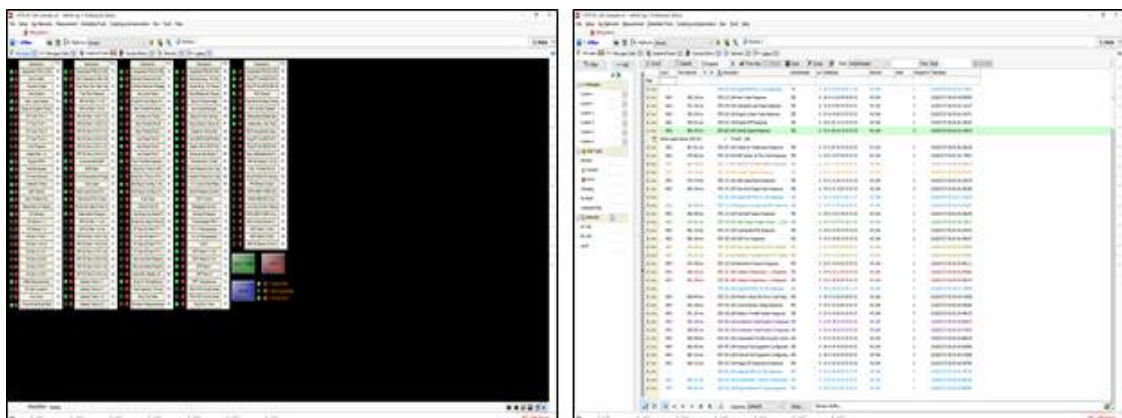


그림 3-13 Vehicle Spy Graphical Panel & Message window

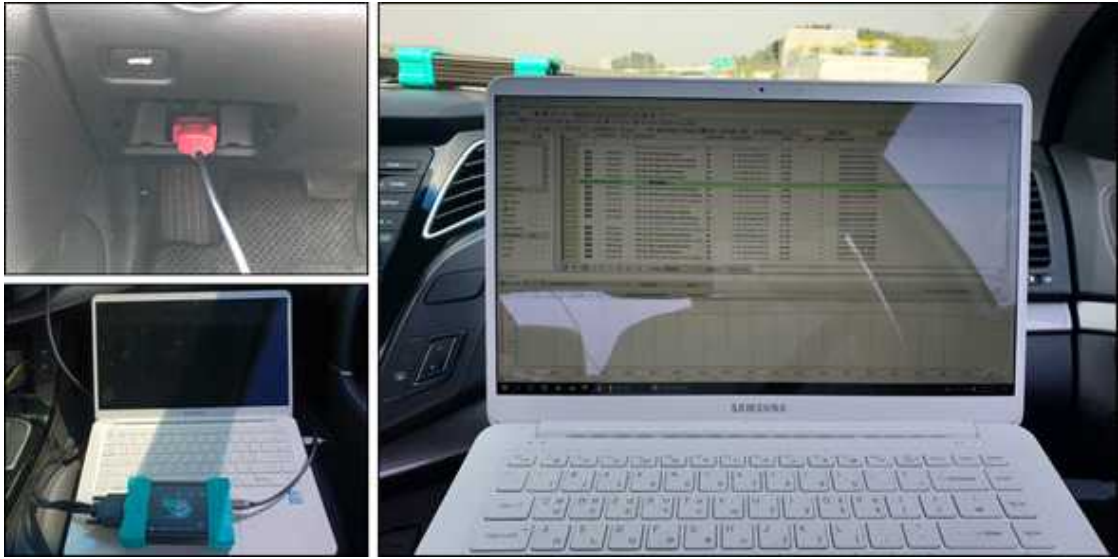


그림 3-14 차량 내 실험 환경 구축

실험 환경은 그림 3-14와 같이 구축하였음. 차량의 ECU 단자와 Vehicle Spy를 OBD connector를 이용하여 연결하고, Vehicle Spy와 노트북을 연결하여 실시간으로 데이터를 볼 수 있도록 실험 환경을 구축함. 서울IC를 기점으로 데이터 로깅을 시작하였고 세종IC를 종점으로 데이터 로깅을 마쳤음. 총 주행시간 약 1시간18분, 총 주행거리 약 110km의 결과를 도출하였으며, 결과적으로 그림 3-15와 같은 고속도로 속도 프로파일을 얻을 수 있었음.

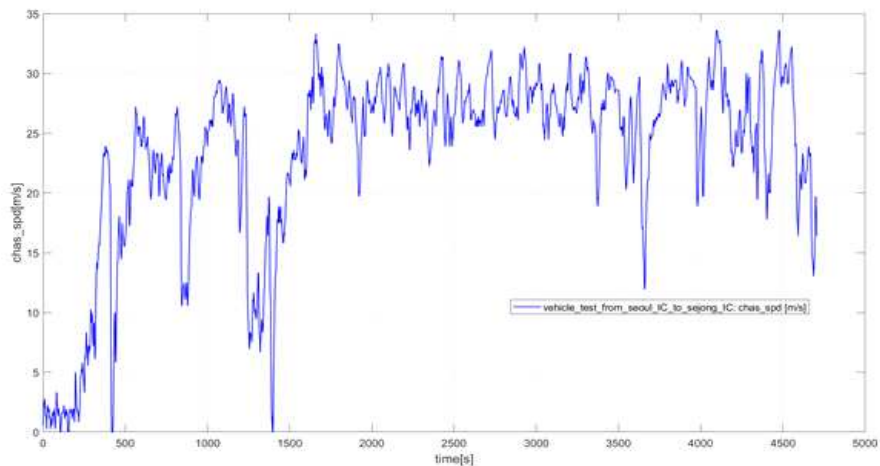


그림 3-15 서울IC-세종IC 고속도로 속도 프로파일

위 실험 결과를 바탕으로 도로 상황 및 주행 환경에 따른 개별 차량 속도를 도출하여 교통 흐름 해석 모델을 구성할 수 있음. 또한 자율주행, 군집주행과 같은 미래 차량 제어 기술을 검증된 모델에 적용하여 시뮬레이션 해석 시, 실측 고속도로 속도 프로파일을 적용함으로써 좀 더 실제 환경에 유사한 플랫폼에서 성능을 평가할 수 있음. 본 연구에서는 실측된 속도프로파일과 공식적으로 연비 평가에 사용되는 고속도로 속도프로파일을 참고하여 보다 더 현실적인 속도프로파일을 만들어 교통 흐름 해석 모델에 적용하였음. 추후 다양한 실험을 통하여 특정 고속도로에서의 개별 차량의 속도, 개별 주행 패턴, 정체 구간 발생 빈도, 차량의 평균 속도 등의 데이터를 얻어 후속 연구에 활용할 수 있을 것으로 예상됨.

4. 고성능 연산 시스템

가. 라지스케일 시뮬레이션 (Large Scale Simulation)

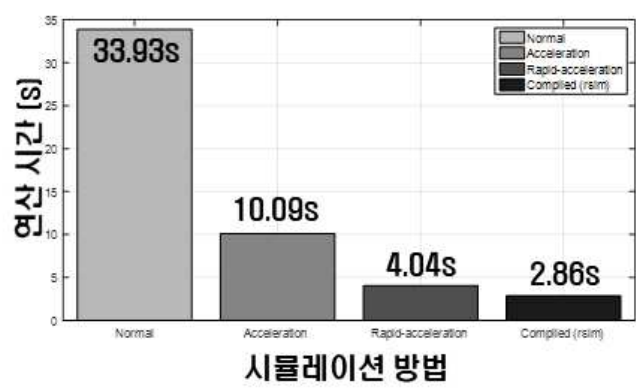


그림 3-16 Simulink 모델 Compilation 시 연산속도 개선 정도

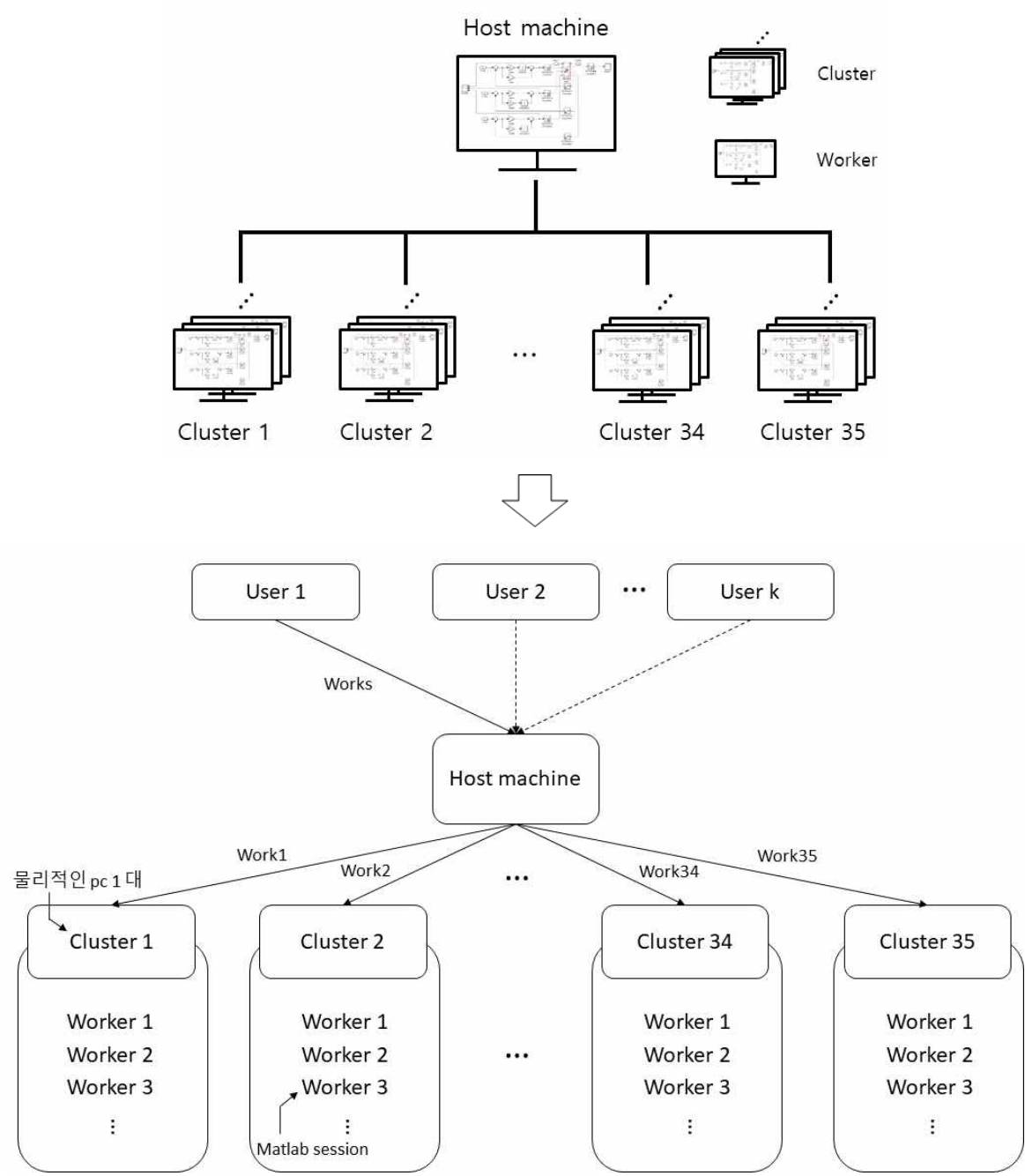


그림 3-17 라지스케일 시뮬레이션 환경 구축

본 과제에서 타겟으로 선정된 서울-세종 고속도로는 하루당 평균 21만대의 차량이 이용하는 상황이며, 일반적인 네트워크 환경에서 21만대의 차량을 해석하기 위해서는 매우 많은 시간을 요구함. 따라서 대단위 교통 시뮬레이션 해석을 위해서는 고성능 연산 시스템 환경을 구축하는 것이 매우 중요함. 본 연구에서는 Simulink 모델의 컴파일 기법을 사용하여 차량 한 대당 시뮬레이션 시간을 10배 이상 개선하였으며 라지스케일 시뮬레이션 환경을 구축하여 전체 시뮬레이션 시간을 현저히 감소시킬 수 있었음.(그림 3-16, 3-17) 라지스케일 시뮬레이션 환경이란, Host Machine에서 각각 Cluster에 수행해야 할 일을 분배하고 일을 분배받은 Cluster에서 다시 각각 Worker에 일을 분배하여 병렬형 연산이 가능한 환경임. 결과적으로, 라지스케일 환경을 기반으로 35개의 Cluster, 140개의 Worker를 확보하여 1시간당 10만대 이상의 차량을 해석할 수 있음.

5. 대단위 교통시뮬레이션 해석 결과

가. 서울-세종 고속도로



그림 3-18 미래 차량 기술 영향도 분석 시나리오 (서울IC-세종IC)

자율주행과 균집주행 전용차선의 도입에 대한 영향도를 평가하기 위해 서울-세종시에서 실험을 통해 실측한 속도프로파일과 연비평가를 위해 사용되는 고속도로 주행 속도프로파일을 참고하여 기준 속도프로파일을 생성하였음. 서울-세종시 고속도로는 통계상 거리 약 110km, 편도 4차선이고 시간당 약 1만대의 차량이 이용하며, 보다 정확한 기술 영향도 평가를 위해 이를 최대한 반영하였음. 생성된 속도프로파일을 기준으로 깃스 모델을 적용하여 다음과 같은 시나리오에서 미래 차량 기술 영향도를 평가하였음. (최초 연구계획서 시나리오 상 비교 시 불명확한 부분이 있어 시나리오를 조금 변경함)

- 1단계 : 일반 주행차량 (2500대 * 4차선)
- 2단계 : 일반 주행차량 (1875대 * 4차선), 자율주행차량 (625대 * 4차선)
- 3단계 : 일반 주행차량 (2500대 * 3차선), 균집주행차량 (2500대 * 1차선)

나. 교통 시뮬레이션 해석 결과

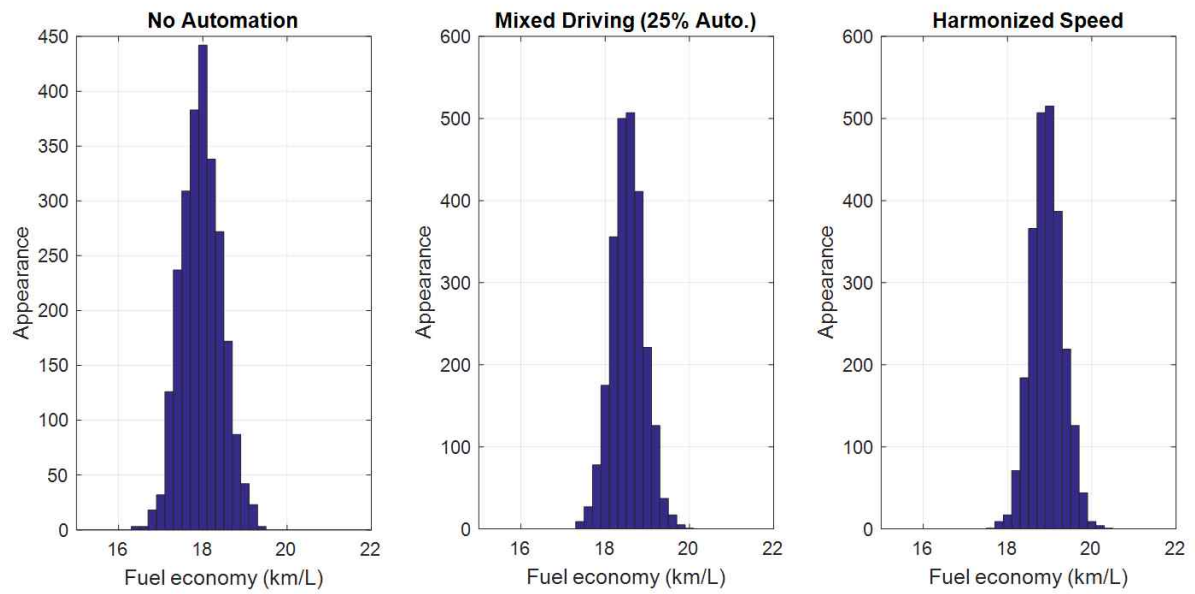


그림 3-19 각 시나리오 별 연비 당 차량 대수 (1차선, 2500대)

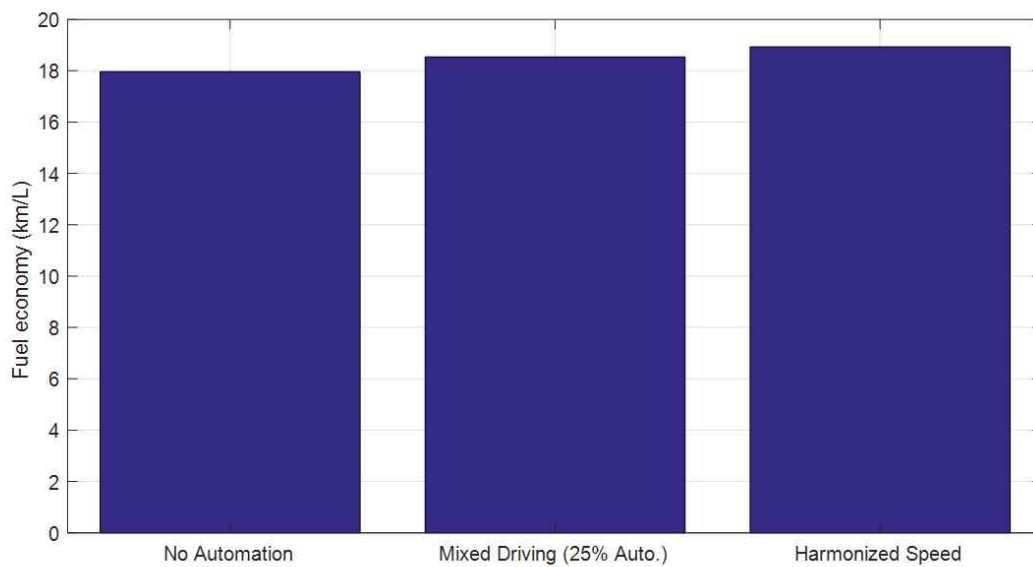


그림 3-20 각 시나리오 별 평균 연비 (1차선, 2500대)

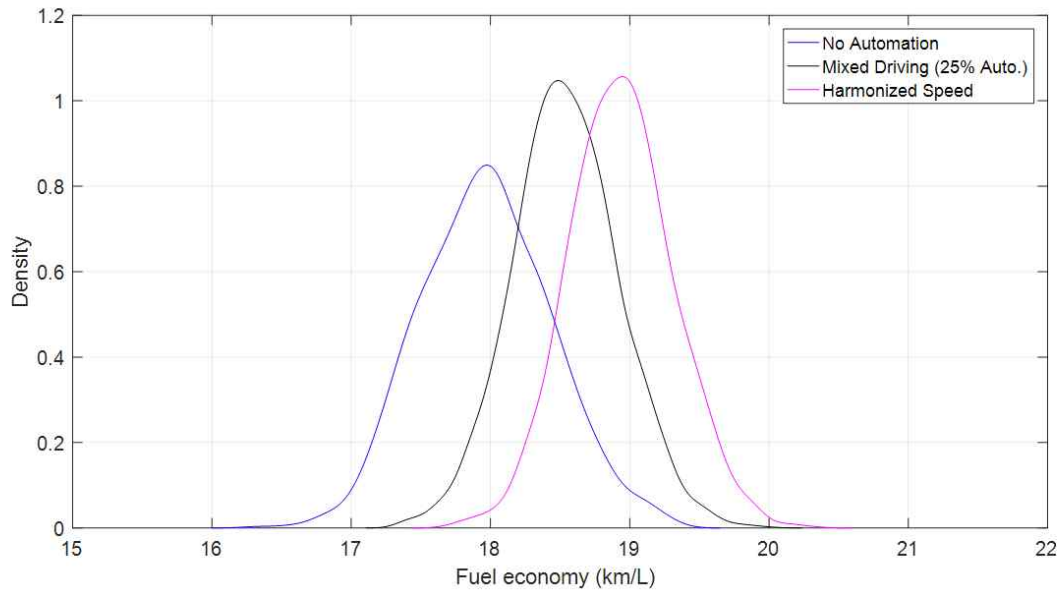


그림 3-21 각 시나리오 별 연비 확률밀도 함수 (1차선, 2500대)

먼저, 서울-세종시 고속도로 4개 차선에 대해 분석하기 전, 한개 차선에 대해 미래 차량 주행기술에 대한 영향도를 평가하기 위해 다음과 같은 시나리오로 시뮬레이션 해석을 진행하였음.

- No Automation : 일반 주행차량 (2500대 * 1차선)
- Mixed Driving : 일반 주행차량 (1875대 * 1차선), 자율주행차량 (625대 * 1차선)
- Harmonized Speed : 군집주행차량 (2500대 * 1차선)

그림 3-19의 그래프는 각 차량의 연비 당 차량대수를 나타내고 있으며 그림 3-20의 그래프는 각 시나리오 별 2500대 차량의 평균 연비를 나타내고 있음. 또한 그림 3-21은 그림 3-19, 20의 결과를 확률밀도 함수로 나타내고 있음. 그림 3-19, 3-20, 3-21의 분석결과, 일반 주행차량만 다니는 경우보다 자율주행이 25%섞인 경우 연비가 약 3.2% 향상된 결과를 보였고 군집주행을 할 경우 일반 주행차량만 다니는 경우 대비 연비가 약 5.4% 향상됨을 보였음. 일반 주행차량과 자율주행차량의 가장 큰 차이점은 특정 이벤트 발생 시 이벤트를 인지할 수 있는 시간이라고 볼 수 있는데 일반적으로 자율주행차량의 인지시간이 사람의 인지시간 보다 더 빠르다고 볼 수 있음. 따라서 자율주행차량이 섞인 경우 일반 주행차량보다 앞차의 속도를 더 잘 따라갈 수 있어 급가속과 급브레이크의 발생 확률이 현저하게 떨어지며 속도 프로파일 형상이 매끄러워 분석결과 연비가 향상된 결과가 나왔음. 자율주행 차량과 군집주행 차량의 가장 큰 차이점은, 속도 동기화이다. 군집주행이 가능한 경우 차량과 차량의 신호를 통해 모든 차량의 속도가 동기화 되어 주행할 수 있다.(Speed Harmonizing) 이러한 사실은 이미 미국 아르곤연구소의 사전연구에서 밝혀진 바가 있음. 이와 같이 군집주행의 경우 모든 차량이 동일속도로 달릴 수 있기 때문에, 급가속과 급브레이크 발생 확률이 거의 없음. 즉, 군집주행의 경우 차량이 목표 속도에 도달하면 모든 차량의 속도가 동기화될 수 있기 때문에 정체구간이 발생하지 않고 모든 차량의 가감속도가 0에 근접할 수 있음. 차량이 브레이크를 밟는 경우 가속을 통해 연료를 소모하며 얻은 운동에너지를 열에너지로 변환, 즉 손실로 변환되기 때문에 연비가 안 좋아 짐. 즉, 군집주행의 경우 자율주행 차량과 일반주행 차량이 섞여있는 조건보다 분석결과 연비가 더 좋게 나왔음.

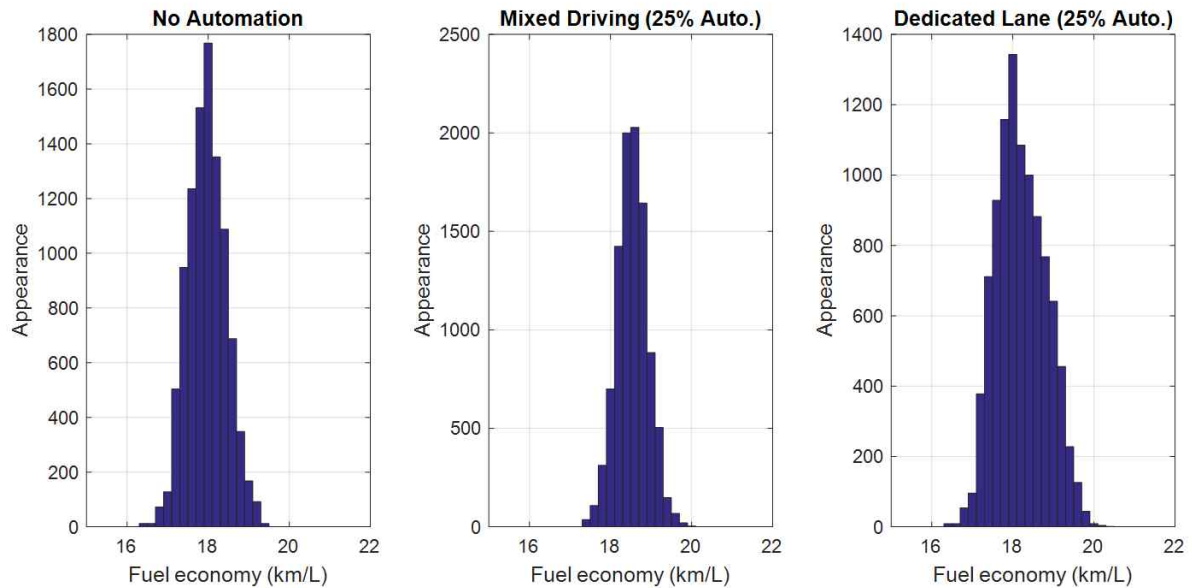


그림 3-22 각 시나리오 별 연비 당 차량 대수 (4차선, 10000대)

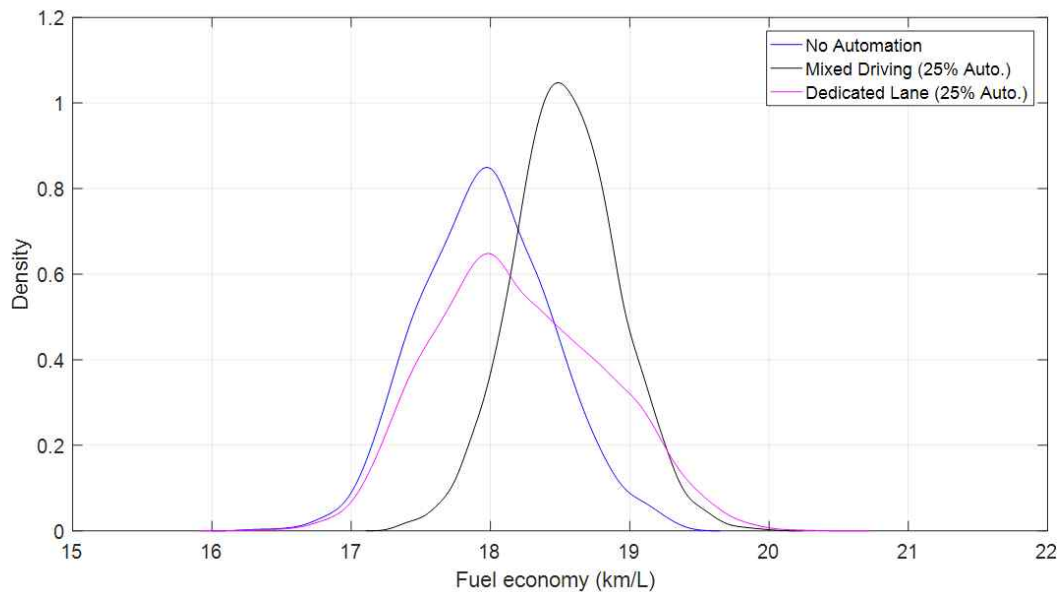


그림 3-23 각 시나리오 별 연비 확률밀도 함수 (4차선, 10000대)

다음으로, 서울-세종시 고속도로의 4개 차선에 대해 다음과 같은 시나리오로 미래 차량 주행 기술에 대한 영향도를 분석하였음.

- No Automation : 일반 주행차량 (2500대 * 4차선)
- Mixed Driving : 일반 주행차량 (1875대 * 4차선), 자율주행차량 (625대 * 4차선)
- Dedicated Lane : 일반 주행차량 (2500대 * 3차선), 군집주행차량 (2500대 * 1차선)

분석 결과 일반주행과 자율주행 차량이 섞여있는 Mixed Driving 조건의 연비가 가장 좋고 자율주행 전용차선 1개를 주어 군집주행을 하고 3개의 차선에서는 일반주행을 하는 Dedicated Lane 조건이 2번째로 좋으며 일반주행 차량만 다니는 경우가 가장 안 좋은 결과가 나왔음. 자율주행 차량이 일반주행 차량과 섞여있는 경우 4개의 차선 모두 연비가 향상되지만 자율주행 전용차선을 주어 군집주행을 실시할 경우, 자율주행 전용

차선의 연비는 크게 향상되지만 일반 주행차량이 다니는 3개의 차선의 경우 연비 향상도가 존재하지 않음. 따라서 모든 차선에 있는 차량의 연비를 향상시키기 위해서는 전용차선을 주는 것 보다 자율주행 차량이 일반주행 차량과 섞여있는 경우가 더 유리하다고 볼 수 있음. 물론, 이 과제의 목적이 미래 주행 기술의 영향도를 분석하는 플랫폼을 만드는 것이기 때문에 추후에 해석된 시뮬레이션 결과에 대해 정밀한 검증이 필요함.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
교통 흐름 해석 모델	40	100	미시적 교통류 모델을 기반으로 교통 흐름 해석 모델을 구축하였음
차량 상세 모델	40	100	연비 평가를 위해 개발된 차량모델의 신뢰성을 확보하였음
고성능 연산 시스템	20	100	시간당 10만대 이상의 차량을 해석할 수 있는 고성능 연산환경을 구축하였음
합계	100점		

2. 관련 분야 기여도

전 세계적으로 환경규제가 강화되면서, 현재 자동차 산업분야에서는 CO2배출량을 줄이고 연비를 향상시킬 수 있는 친환경기술과 4차산업혁명을 기반으로 개발된 커넥티드 및 자율주행 등 다양한 미래 차량 기술이 핵심기술로 떠오르고 있음. 본 연구에서는 이러한 미래 차량 기술과 다양한 동력 전달계(내연기관 차량, 하이브리드 전기차, 전기차 등)를 차량에 적용하여 대단위 교통 시뮬레이션 상에서 교통 흐름 및 체 시스템의 에너지 소모량을 해석하는 플랫폼을 개발하였음. 개발된 플랫폼을 사용하여 미래에 커넥티드 카의 시대가 되었을 때, 중앙 통제 시스템의 제어 최적화 전략과 개별 차량의 대응 제어전략이 충돌 할 경우, 운전자에게 최적 운전기법에 대한 시뮬레이션 해석 결과를 인식시켜 중앙 통제의 제어전략을 따르게 하고, 결과적으로는 시스템의 교통 흐름을 개선하고 에너지 효율을 높이는 것에 기여할 수 있음. 더 나아가, 미래 차량기술의 영향도를 정량적으로 평가한 결과를 도출하여 국가 차원에서 기술 도입 속도를 제어하고 도로 교통 및 차량 관련 산업의 기술 개발 로드맵을 구축하는 것에 기여할 수 있음.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

서울 세종시 간 고속도로의 자율주행 혹은 군집주행 전용차선의 도입에 대한 영향도 평가 및 운용 전략을 수립하는데 활용함. 고속도로 상에서 군집주행의 성능을 극대화하기 위해 전용차선의 도입이 고려될 수 있는데, 어느 정도 수준의 기술이 어떠한 시장 진입속도로 적용될 지는 예측하기 어려움. 본 과제로 개발된 해석 시뮬레이션 모델을 활용하여 자율주행 기술 또는 군집주행 기술이 적용되는 수준, 그리고 해당 기술 적용 차량의 시장 점유율 따른 교통 시스템의 성능을 다양한 조건에서 분석하는 것이 가능함.

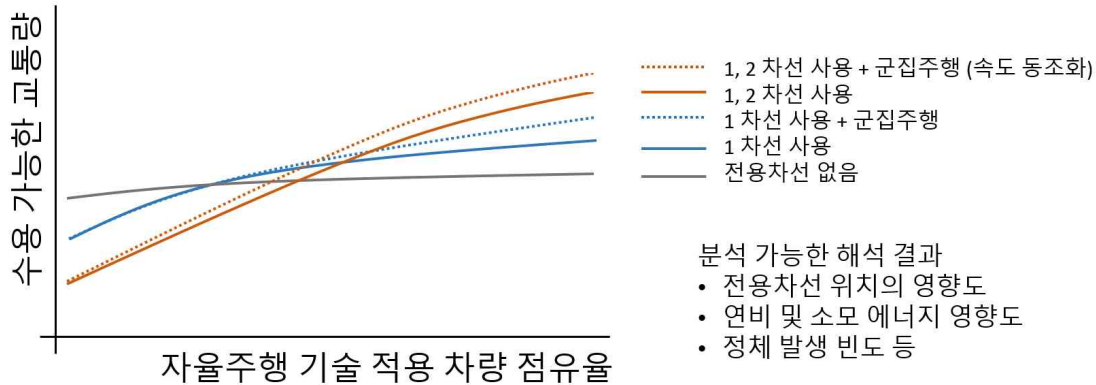


그림 5-1 개발된 시뮬레이션 모델을 통해, 교통 시스템의 성능과 자율주행차량 기술의 점유율의 관계를 분석한 결과의 활용 예 (실제 해석 결과 아님)

그림 5-1은 그러한 활용 예로, 수용 가능한 교통량, 즉 교통 흐름의 정도를 성능지표로 도출하여 기술 점유율 증가에 따른 최적의 전용차선 도입 시기와 전용차선의 확대시기를 결정할 수 있을 것으로 생각됨. 개발되는 해석 플랫폼은 시스템의 에너지를 평가할 수 있으므로 에너지 역시 성능지표로 활용될 수 있음.

- 커넥티드 카가 상용화될 경우를 가정하여, 실제 기술을 2단계(전용차선, 전용차선 + 군집주행)로 구분하여 도로 운용 전략을 수립하고 개선하는데 활용함. 군집주행의 경우 Pulse & Glide 와 같이 차량의 연비 성능을 극대화하는 수준의 속도 동조화를 적용하여 운용할 가능성도 존재하는데, 이러한 교통 흐름 최적 제어 기술의 성능을 평가하기 위해 상세 개별 차량의 동적 거동과 연비 해석이 가능한 시뮬레이션 모델이 필요함.



그림 5-2 중앙 통제 시스템의 미래 교통 시스템 제어 개념도

그림 5-2는 커넥티드 카가 상용화된 수준에서 필요한 중앙 통제 시스템의 제어 개념도를 나타내고 있는데, 최상위 수준의 자율주행 기술과 네트워크 기술이 적용된 차량들을 제어하기 위한 교통 시스템의 중앙 통제 시스템을 운용하는 전략을 개발해야 함. 이를 위한 개발 과정에서 본 과제에서 개발된 시뮬레이션 모델 및 해석 환경이 적극적으로 활용될 수 있음. 나아가서는 중앙 통제 시스템의 운용 전략과 개별 차량의 제어 전략이 협조할 수 있도록 시스템의 분산 및 통합 제어 전략을 시뮬레이션 하는 등의 확장된 기능이 적용된 해석 플랫폼

으로 진화될 수 있음.

- 도로의 교통 상황과 차량의 연비 등의 성능을 연계하여 평가할 수 있는 합리적 근거를 도출하여 교통 관련 기술 개발의 로드맵을 작성하는데 활용함. 국토 개발의 핵심적인 요소인 도로 교통 개발은 자율주행차량 등의 새로운 기술의 등장으로, 중앙 통제 시스템을 개발하거나 전용도로 인프라를 구축하는 등 새로운 국면을 맞이하고 있음. 관련 기술에 막대한 투자가 필요한 만큼 시의 적절한 연구 개발 투자를 위해 합리적인 기술 개발 로드맵이 수립되어야 함. 본 과제에서 개발된 교통 및 차량 시뮬레이션 모델 연계 해석 기법은, 이러한 기술 개발 로드맵을 구축하는데 필요한 교통 물류 측면 및 에너지 효율 측면의 영향도를 상세하고 정량적으로 평가하여 예측하는 것을 가능하게 함. 이를 바탕으로 합리적인 기술 개발 로드맵을 구축하는 통합 시뮬레이션 플랫폼으로 활용될 수 있음.
- 병렬형 연산을 이용하는 대단위 교통 시스템의 성능 해석 환경을 다양한 연구에 활용할 수 있음. 그림 4-3은 개별 차량의 연비 성능을 바탕으로 지역, 혹은 국가 전체의 도로 교통 시스템에서 에너지 소모량을 평가하는 미국의 연구 사례를 보여주고 있음.

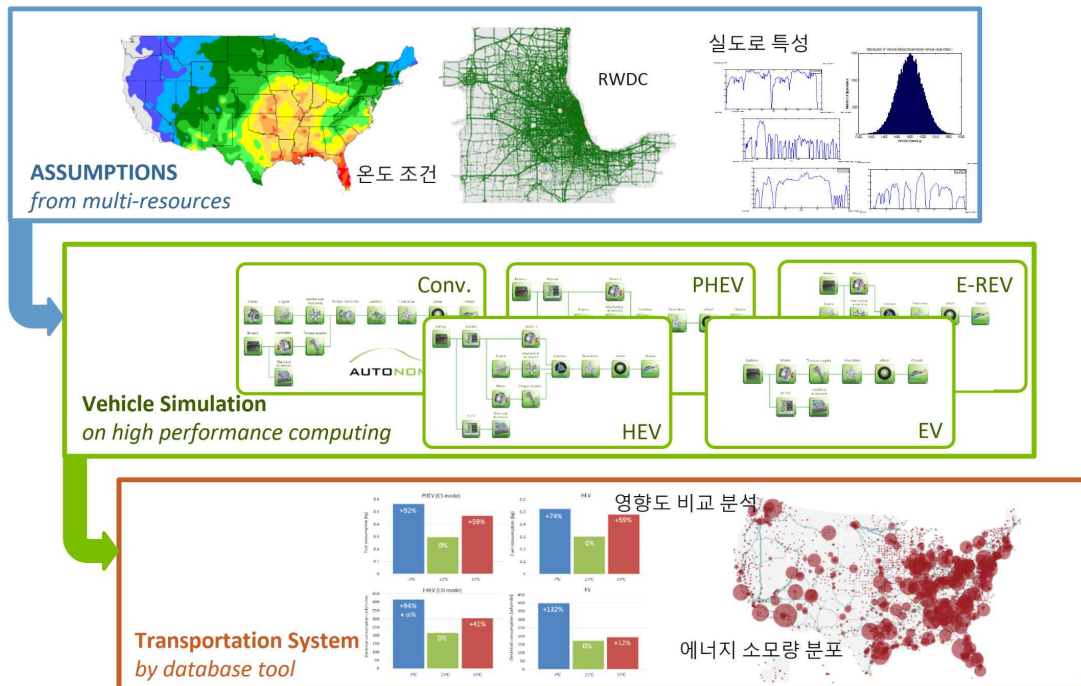


그림 5-3 차량의 성능 모델을 바탕으로 온도 조건, 실도로 주행 조건 등을 적용하여 교통 시스템의 기술 영향도를 분석하는 포괄적 해석 프로세스의 예

국내의 경우, 세계 시장에 비해 친환경 자동차 시장이 상대적으로 느린 속도로 확대되고 있는 상황이고, 관련 기술의 에너지 영향도에 다소 덜 민감한 편이지만, 향후 친환경 자동차 시장의 확대에 맞추어 국가 차원에서 교통 시스템의 성능을 에너지 관점에서 평가할 필요가 있을 것으로 생각됨. 이러한 요구가 생겼을 때, 본 과제에서 개발된 고성능 연산 프로세스를 활용하여 국가에서 주도하는 도로 교통 개발 전략, 시장 제어 전략, 혹은 기술 개발 전략을 수립할 때 필요한 대단위 교통 시스템의 성능 평가 결과를 도출할 수 있음.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		O
결정 사유		

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

기술적 위험 요소 분석, 안전 관리 대책

- ✓ 본 과제의 주관기관인 한양대학교는 학기당 1회의 안전 교육을 실시하고 있고, 상시적인 안전 점검을 실시하여 문제가 발견된 연구실 관리자에게 주의, 경고, 징계 등의 불이익을 주었음.
 - ✓ 본 과제의 경우 주로 인적 자원이 투입되는 시뮬레이션 모델 개발에 주 업무가 집중되어 있는 만큼, 안전하고 지속적인 연구 수행을 위해 참여 연구원의 업무 강도를 정량적으로 관리하고 업무 환경을 개선하는 노력을 기울였음.
-

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

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/인용 횟수 등)
1	논문	Adaptive Energy Management Strategy for Plug-In Hybrid Electric Vehicles with Pontryagin's Minimum Principle Based on Daily Driving Patterns	-	-	Internatio nl Journal of Precision Engineeri ng and Manufactu ring-Gree n Technolo gy	3.774	Accepted (2018.03.04.)	단독 사사	SCIE

제11장. 기타 사항

-

제12장. 참고 문헌

- ✓ Kanagaraj, V., Asaithambi, G., Kumar, C.N., Srinivasan, K.K., and Sivanandan, R.: 'Evaluation of different vehicle following models under mixed traffic conditions', *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, 104, pp. 390-401
 - ✓ Spyropoulou, I.: 'SIMULATION USING GIPPS'CAR-FOLLOWING MODEL—AN IN-DEPTH ANALYSIS', *Transportmetrica*, 2007, 3, (3), pp. 231-245
 - ✓ Treiber, M., and Kesting, A.: 'Microscopic calibration and validation of car-following models—a systematic approach', *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, 80, pp. 922-939
 - ✓ Punzo, V., Montanino, M., and Ciuffo, B.: 'Do we really need to calibrate all the parameters? Variance-based sensitivity analysis to simplify microscopic traffic flow models', *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, 16, (1), pp. 184-193
 - ✓ Spiliopoulou, A., Papamichail, I., Papageorgiou, M., Tyrinopoulos, Y., and Chrysoulakis, J.: 'Macroscopic traffic flow model calibration using different optimization algorithms', *Operational Research*, 2017, 17, (1), pp. 145-164
 - ✓ Kuang, X., Xu, L., Wu, C., and Wu, Y.: 'Multi-Agent Based Microscopic Simulation Modeling for Urban Traffic Flow', *Sensors & Transducers*, 2014, 180, (10), pp. 117
 - ✓ Mensing, F., Bideaux, E., Trigui, R., and Tattegrain, H.: 'Trajectory optimization for eco-driving taking into account traffic constraints', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2013, 18, pp. 55-61
 - ✓ Yang, Y., Hu, X., Pei, H., and Peng, Z.: 'Comparison of power-split and parallel hybrid powertrain architectures with a single electric machine: dynamic programming approach', *Applied Energy*, 2016, 168, pp. 683-690
 - ✓ Sortomme, E., Hindi, M.M., MacPherson, S.J., and Venkata, S.: 'Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses', *IEEE transactions on smart grid*, 2011, 2, (1), pp. 198-205
 - ✓ Grewe, T.M., Conlon, B.M., and Holmes, A.G.: 'Defining the general motors 2-mode hybrid transmission', in Editor (Ed.)^(Eds.): 'Book Defining the general motors 2-mode hybrid transmission' (SAE Technical Paper, 2007, edn.), pp.
 - ✓ Choi, J., Jeong, J., Park, Y.-i., and Cha, S.W.: 'Evaluation of regenerative braking effect for E-REV bus according to characteristic of driving cycle', *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2015, 2, (2), pp. 149-155
 - ✓ Emadi, A., Lee, Y.J., and Rajashekara, K.: 'Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles', *IEEE Transactions on industrial electronics*, 2008, 55, (6), pp. 2237-2245
 - ✓ Conlon, B.: 'Comparative analysis of single and combined hybrid electrically variable transmission operating modes', in Editor (Ed.)^(Eds.): 'Book Comparative analysis of single and combined hybrid electrically variable transmission operating modes' (SAE Technical Paper, 2005, edn.), pp.
-

주 의

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

비매품/무료



ISBN 978-89-7218-602-1