



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0117666
(43) 공개일자 2024년08월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B60W 40/12 (2006.01) B60W 30/045 (2012.01)
B60W 30/18 (2006.01) B60W 40/101 (2012.01)
B60W 40/114 (2012.01)

(52) CPC특허분류

B60W 40/12 (2013.01)
B60W 30/045 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0009184

(22) 출원일자 2023년01월25일

심사청구일자 2023년01월25일

(71) 출원인

한국기술교육대학교 산학협력단

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)

(72) 발명자

유승한

서울특별시 강남구 도곡로78길 22, 108동 2006호 (대치동, 대치삼성아파트)

(74) 대리인

이관호, 문종화

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치 및 방법

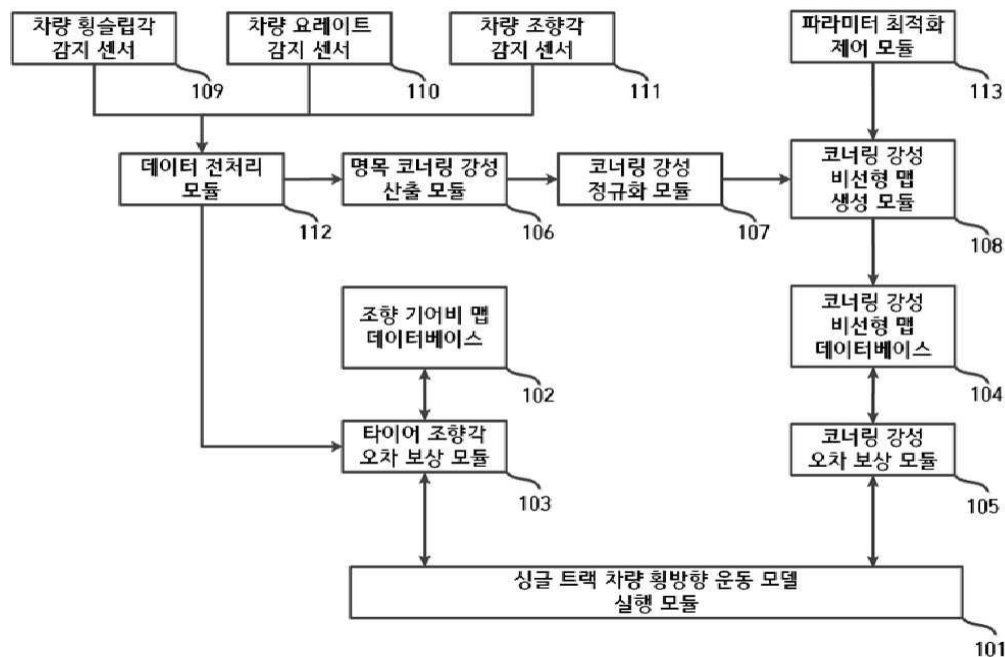
(57) 요약

차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치 및 방법이 개시된다. 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 실행하여 차량의 횡방향 운동값을 산출하는 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈; 운전자 조향각 대비 기어비가 미리 저장되는 조향 기어비 맵 데이터베이스; 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

100



되는 횡방향 운동값에 대해 상기 차량의 전륜에 대해서 상기 조향 기어비 맵 데이터베이스에 미리 저장된 운전자 조향각과 해당 기어비를 곱하여 타이어 후륜 조향각의 오차를 산출하여 보상하고, 상기 차량의 후륜에 대해서는 타이어 후륜 조향각을 0으로 고정하는 타이어 조향각 오차 보상 모듈; 상기 차량의 코너링 강성 오차가 미리 저장되는 코너링 강성 비선형 맵 데이터베이스; 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 상기 코너링 강성 비선형 맵 데이터베이스에 미리 저장된 코너링 강성 오차를 이용하여 코너링 강성 오차를 보상하는 코너링 강성 오차 보상 모듈을 구성한다. 상술한 데이터 구동 차량 횡방향 운동 모델의 정확도 개선 장치 및 방법에 의하면, 기존의 싱글 트랙 횡방향 운동 모델에 대해 타이어 조향각과 코너링 강성 오차를 보상하도록 구성됨으로써, 기존에 상수로만 적용되던 코너링 강성의 비선형 오차를 보상하여 횡방향 운동의 정확도를 개선시킬 수 있는 효과가 있다.

(52) CPC특허분류

B60W 30/18145 (2013.01)

B60W 40/101 (2013.01)

B60W 40/114 (2013.01)

B60W 2050/0005 (2013.01)

B60W 2520/14 (2013.01)

B60W 2520/26 (2013.01)

B60W 2540/18 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 실행하여 차량의 횡방향 운동값을 산출하는 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈;

상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 타이어 조향각 오차를 보상하는 타이어 조향각 오차 보상 모듈을 포함하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 코너링 강성 오차를 보상하는 코너링 강성 오차 보상 모듈을 더 포함하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 코너링 강성 오차는,

상기 차량의 하중 전이에 의해 발생되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 코너링 강성 오차는,

상기 차량의 타이어 슬립각에 의해 발생되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서,

주행 중 상기 차량의 횡슬립각을 감지하는 차량 횡슬립각 감지 센서;

주행 중 상기 차량의 요레이트를 감지하는 차량 요레이트 감지 센서;

주행 중 상기 차량의 운전자 조향각을 감지하는 차량 조향각 감지 센서를 더 포함하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 차량 횡슬립각 감지 센서에서 감지된 횡슬립각, 상기 차량 요레이트 감지 센서에서 감지된 요레이트 및 상기 차량 조향각 감지 센서에서 감지된 운전자 조향각의 데이터 전처리를 수행하는 데이터 전처리 모듈을 더 포함하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 명목 코너링 강성 산출 모듈은,

상기 데이터 전처리 모듈에서 데이터 전처리가 수행된 횡슬립각, 요레이트 및 운전자 조향각을 이용하여 상기 명목 코너링 강성을 산출하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 코너링 강성 오차 보상 모듈은,

상기 명목 코너링 강성 산출 모듈에서 산출된 명목 코너링 강성을 이용하여 코너링 강성 오차를 보상하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치.

청구항 9

싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈이 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 실행하여 차량의 횡방향 운동값을 산출하는 단계;

타이어 조향각 오차 보상 모듈이 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 타이어 조향각 오차를 보상하는 단계를 포함하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

코너링 강성 오차 보상 모듈이 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델에 의해 산출되는 횡방향 운동값에 대해 코너링 강성 오차를 보상하는 단계를 더 포함하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 데이터 기반 정확도 개선 장치 및 방법에 관한 것으로서, 구체적으로는 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치 및 방법에 관한 것이다.

[0002] 이 특허는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A2C1004405).

배경 기술

[0004] 기존에는 차량의 횡방향 제어를 위해서 싱글 트랙(single track) 모델 또는 기준 모델(reference model)이 사용되고 있다.

[0005] 기존의 싱글 트랙 모델은 널리 사용되고 있지만, 타이어의 특성을 선형으로 가정하여 차량의 횡방향 제어에 사용하고 있기 때문에 그 단순성으로 인해 모델의 정확도가 보장되는 영역이 매우 제한적이라는 문제점이 있다.

[0006] 한편, 대부분의 다른 모델들은 모델 정확도 개선을 위해 선형 타이어 모델이 아닌 비선형 타이어 모델이 이용되고 있다. 그러나, 이러한 비선형 타이어 모델은 정확도가 높은 반면, 모델의 복잡도가 매우 높다는 단점이 있다. 이에, 실차에서는 연산 효율이 낮아 제어에 어려움이 많게 되는 문제점이 있다.

- [0007] 이에, 실차 시험을 통해 계측된 데이터를 이용해 모델 오차 요인을 보상하여 기존 싱글 트랙 모델의 단순성을 유지하면서도 정확도가 개선된 횡방향 모델이 요구된다.
- [0008] 그러나, 위 싱글 트랙 모델의 오차를 분석한 연구나 실차 수준에서 이를 분석하여 모델 정확도를 개선한 연구들은 매우 미비한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 등록특허공보 10-0771003
(특허문헌 0002) 공개특허공보 10-2018-0066363

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명의 목적은 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치를 제공하는 데 있다.
- [0012] 본 발명의 다른 목적은 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0014] 상술한 본 발명의 목적에 따른 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치는, 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 실행하여 차량의 횡방향 운동값을 산출하는 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈; 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 타이어 조향각 오차를 보상하는 타이어 조향각 오차 보상 모듈을 포함하도록 구성될 수 있다.
- [0015] 여기서, 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 코너링 강성 오차를 보상하는 코너링 강성 오차 보상 모듈을 더 포함하도록 구성될 수 있다.
- [0016] 그리고 상기 코너링 강성 오차는, 상기 차량의 하중 전이에 의해 발생되도록 구성될 수 있다.
- [0017] 그리고 상기 코너링 강성 오차는, 상기 차량의 타이어 슬립각에 의해 발생되도록 구성될 수 있다.
- [0018] 그리고 주행 중 상기 차량의 횡슬립각을 감지하는 차량 횡슬립각 감지 센서; 주행 중 상기 차량의 요레이트를 감지하는 차량 요레이트 감지 센서; 주행 중 상기 차량의 운전자 조향각을 감지하는 차량 조향각 감지 센서를 더 포함하도록 구성될 수 있다.
- [0019] 그리고 상기 차량 횡슬립각 감지 센서에서 감지된 횡슬립각, 상기 차량 요레이트 감지 센서에서 감지된 요레이트 및 상기 차량 조향각 감지 센서에서 감지된 운전자 조향각의 데이터 전처리를 수행하는 데이터 전처리 모듈을 더 포함하도록 구성될 수 있다.
- [0020] 그리고 상기 명목 코너링 강성 산출 모듈은, 상기 데이터 전처리 모듈에서 데이터 전처리가 수행된 횡슬립각, 요레이트 및 운전자 조향각을 이용하여 상기 명목 코너링 강성을 산출하도록 구성될 수 있다.
- [0021] 그리고 상기 코너링 강성 오차 보상 모듈은, 상기 명목 코너링 강성 산출 모듈에서 산출된 명목 코너링 강성을 이용하여 코너링 강성 오차를 보상하도록 구성될 수 있다.
- [0022] 상술한 본 발명의 목적에 따른 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 방법은, 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈이 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 실행하여 차량의 횡방향 운동값을 산출하는 단계; 타이어 조향각 오차 보상 모듈이 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 타이어 조향각 오차를 보상하는 단계를 포함하도록 구성될 수 있다.
- [0023] 그리고 코너링 강성 오차 보상 모듈이 상기 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운

동값에 대해 코너링 강성 오차를 보상하는 단계를 더 포함하도록 구성될 수 있다.

발명의 효과

- [0025] 상술한 데이터 구동 차량 횡방향 운동 모델의 정확도 개선 장치 및 방법에 의하면, 기존의 싱글 트랙 횡방향 운동 모델에 대해 타이어 조향각과 코너링 강성 오차를 보상하도록 구성됨으로써, 기존에 상수로만 적용되던 코너링 강성의 비선형 오차를 보상하여 횡방향 운동의 정확도를 개선시킬 수 있는 효과가 있다.
- [0026] 구체적으로는, 타이어의 종/수직 방향 힘, 최대 노면 마찰계수 또는 타이어 슬립각의 크기 변동 그리고 차량의 횡거동으로 인한 횡방향 하중 전이와 타이어 슬립각에 의한 코너링 강성의 변화를 그대로 반영하여 보상할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치의 블록 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 타이어 수직항력 대비 횡력의 그래프이다.
- 도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 타이어 슬립각 대비 횡력의 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 코너링 강성 비선형 맵의 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 시험예에 따른 파라미터 최적화를 위한 데이터 샘플 분포 그래프이다.
- 도 7는 본 발명의 시험예에 따른 파라미터 최적화 프로세스를 위한 데이터 전처리 과정의 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 시험예에 따른 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델의 파라미터 최적화 과정의 모식도이다.
- 도 9는 본 발명의 시험예에 따른 파라미터 최적화에 의한 횡방향 가속 코너링 강성 결과 그래프이다.
- 도 10 내지 도 15는 본 발명의 시험예에 따른 시나리오별 횡슬립각과 요레이트의 비교 결과 그래프이다.
- 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0030] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0031] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0032] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포

함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0033] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0034] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치의 블록 구성도이다. 그리고 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 설명하기 위한 도면이고, 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 타이어 수직항력 대비 횡력의 그래프이고, 도 4은 본 발명의 일 실시예에 따른 타이어 슬립각 대비 횡력의 그래프이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 코너링 강성 비선형 맵의 그래프이고, 도 6은 본 발명의 시험예에 따른 파라미터 최적화를 위한 데이터 샘플 분포 그래프이고, 도 7는 본 발명의 시험예에 따른 파라미터 최적화 프로세스를 위한 데이터 전처리 과정의 그래프이고, 도 8은 본 발명의 시험예에 따른 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델의 파라미터 최적화 과정의 모식도이고, 도 9는 본 발명의 시험예에 따른 파라미터 최적화에 의한 횡방향 가속 코너링 강성 결과 그래프이고, 도 10 내지 도 15는 본 발명의 시험예에 따른 시나리오별 횡슬립각과 요레이트의 비교 결과 그래프이다.

[0036] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 장치(100)는 싱글 트랙(single track) 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈(101), 조향 기어비 맵 데이터베이스(102), 타이어 조향각 오차 보상 모듈(103), 코너링 강성(cornering stiffness) 비선형 맵 데이터베이스(104), 코너링 강성 오차 보상 모듈(105), 명목 코너링 강성 산출 모듈(106), 코너링 강성 정규화 모듈(107), 코너링 강성 비선형 맵 생성 모듈(108), 차량 횡슬립각(lateral slip angle) 감지 센서(109), 차량 요레이트(yaw rate) 감지 센서(110), 차량 조향각(steering angle) 감지 센서(111), 데이터 전처리 모듈(112), 파라미터 최적화 제어 모듈(113)을 포함하도록 구성될 수 있다.

[0037] 이하, 세부적인 구성에 대하여 설명한다.

[0038] 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈(101)은 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 실행하여 차량의 횡방향 운동값을 산출하도록 구성될 수 있다.

[0039] 도 2를 참조하면, 기존의 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델은 다음의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$\begin{aligned}\dot{\beta} &= -r + \frac{C_f}{mv_x} \left(\delta_f - \beta - \frac{l_f}{v_x} r \right) + \frac{C_r}{mv_x} \left(\delta_r - \beta + \frac{l_r}{v_x} r \right) \\ \dot{r} &= \frac{l_f C_f}{I_z} \left(\delta_f - \beta - \frac{l_f}{v_x} r \right) - \frac{l_r C_r}{I_z} \left(\delta_r - \beta + \frac{l_r}{v_x} r \right)\end{aligned}$$

[0040]

[0041] 여기서, β 는 차량 횡슬립각(vehicle sideslip angle), $\dot{\beta}$ 는 차량 횡슬립각의 미분치, m 은 차량 질량(vehicle mass), C 은 코너링 강성(cornering stiffness), l 은 질량 중심까지의 거리(distance to mass center), v 는 차량 속도(vehicle velocity), r 은 차량 요레이트(vehicle yawrate), $\dot{r}$ 은 차량 요레이트의 미분치, δ 은 휠 각도(wheel angle), 첨자 f, r 은 전륜/후륜(front/rear), 첨자 x, y, z 는 종방향/횡방향/수직방향(longitudinal/lateral/vertical direction)을 의미한다.

[0042] 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델은 플레인러 모션(planar motion)을 가정하여 차량의 횡적 거동을 표현한 모델

로서 위 수학식 1에서 보듯이 횡방향 힘 평형식과 수직방향 모멘트 평형식으로 도출되며, 차량의 횡슬립각 (lateral slip angle) β 와 요레이트(yawrate) r 에 대한 미분 방정식으로 표현된다.

[0043] 기존의 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델은 주요 모델 오차 요인으로서, 타이어 조향각과 코너링 강성 (cornering stiffness)을 갖고 있다.

[0044] 타이어 조향각은 운전자의 조향휠(steering wheel) 조작 즉, 운전자 조향각에 의해 결정되면, 차량 전륜 서스펜션(suspension) 지오메트리(geometry) 구조로 인해 발생하는 롤/컴플라이언스(roll/compliance) 조향의 영향을 받는다.

[0045] 또 다른 주요 오차는 코너링 강성으로서, 코너링 강성은 타이어의 특성을 나타내는 변수로서 주행 상황에 따라 변화되어야할 변수이지만 기존의 싱글 트랙 모델에서는 상수로 사용되어 모델 오차를 발생시킨다. 모델이 단순화되지만 오차를 발생시키는 가장 큰 요인이 된다.

[0046] 조향 기어비 맵 데이터베이스(102)는 운전자 조향각 대비 기어비가 미리 저장되도록 구성될 수 있다.

[0047] 타이어 조향각 오차 보상 모듈(103)은 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델에서 타이어 조향각 오차를 보상하도록 구성될 수 있다.

[0048] 구체적으로 타이어 조향각 오차 보상 모듈(103)은 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈(101)에서 산출되는 횡방향 운동값에 대해 차량의 전륜에 대해서 조향 기어비 맵 데이터베이스(102)에 미리 저장된 운전자 조향각과 해당 기어비를 곱하여 타이어 후륜 조향각의 오차를 산출하여 보상하고, 차량의 후륜에 대해서는 타이어 후륜 조향각을 0으로 고정하도록 구성될 수 있다.

[0049] 코너링 강성 비선형 맵 데이터베이스(104)는 차량의 코너링 강성 오차가 미리 저장되도록 구성될 수 있다.

[0050] 코너링 강성 오차 보상 모듈(105)은 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델에서 코너링 강성 오차를 보상하도록 구성될 수 있다.

[0051] 구체적으로 코너링 강성 오차 보상 모듈(105)은 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈(101)에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 코너링 강성 비선형 맵 데이터베이스(104)에 미리 저장된 코너링 강성 오차를 이용하여 코너링 강성 오차를 보상하도록 구성될 수 있다.

[0052] 코너링 강성 오차를 좀 더 살펴보면 다음과 같다.

[0053] 먼저 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델에서는 타이어 횡력과 횡슬립 관계를 선형으로 가정하였기 때문에 전/후륜 타이어 횡력은 수학식 2와 같이 코너링 강성과 타이어 슬립각의 곱으로 표현될 수 있다.

수학식 2

[0054]
$$F_{yf} = C_f \alpha_f, F_{yr} = C_r \alpha_r$$

[0055] 여기서, F 는 힘(force), C 은 코너링 강성(cornering stiffness), α 는 타이어 슬립각(tire slip angle), 첨자 f, r 은 전륜/후륜(front/rear), 첨자 x, y, z 는 종방향/횡방향/수직방향(longitudinal/lateral/vertical direction)을 의미한다.

[0056] 코너링 강성은 타이어 슬립 각 변화에 따른 횡방향 힘의 변화 정도를 나타내는 타이어의 특성 지수이다. 타이어는 비선형적 특성을 갖기 때문에 타이어의 종/수직 방향 힘, 최대 노면 마찰 계수 또는 타이어 슬립각의 크기가 변할 경우 코너링 강성의 크기는 달라진다. 그 중에서도 특히, 차량의 횡거등으로 인한 횡방향 하중 전이와 타이어 슬립각에 의한 코너링 강성의 변화가 지배적이다.

[0057] 도 3은 동일한 타이어 슬립각 $\alpha = 1deg$ 에서의 타이어 수직 항력 F_z 변화에 따른 횡력 F_y 변화에 대한 곡선이고, 도 4는 동일한 타이어 수직 항력에서의 타이어 슬립각 α 과 횡력 관계를 나타내고 있다.

[0058] 도 3에서는 타이어의 수직 항력과 횡력이 비선형적인 관계임을 나타내고 있다. 이러한 비선형적 관계로 인해

실제 차량이 선회할 경우 동일한 타이어 슬립각이 발생해도 좌/우 하중 전이로 인해 횡력이 감소하게 된다. 예를 들어, 도 3에서의 직진 주행 중에 선회로 인한 하중 전이가 발생하지 않기 때문에 좌/우 수직 항력은 4000 [N]으로 동일하다. 이 상황에서 타이어 슬립각이 발생한다면 C 의 크기만큼 횡력이 발생한다. 그러나, 선회 상황에서는 동일한 타이어 슬립각이라 해도 좌/우 하중 전이로 인해 실제 횡력은 A 와 B 의 평균 합력인 D 만큼 발생하게 된다. 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델은 좌/우를 하나로 간주하기 때문에 C 처럼 평균 합력이 계산되어 모델 오차의 원인이 된다. 따라서 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델의 정확도 개선을 위해서는 횡방향 하중 이동에 의해 발생하는 오차를 보상하여야 한다. 이를 위해 횡방향 하중 전이에 대한 식을 살펴보면 다음 수학적 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 3

$$\Delta F_z = k a_y$$

여기서, F 는 힘(force), k 는 게인(gain), a_y 는 횡가속도이다.

수학적 식 2는 차량의 롤 동역학 모델을 통해 도출되며, 좌/우 하중 전이에 대하여 횡가속도 a_y 와 게인 k 의 곱으로 표현된다. 즉, 횡가속도가 클수록 횡방향 하중 전이량의 크기가 크기 때문에 좌/우 타이어 횡력의 평균 합력이 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델과 같이 좌/우 하나로 간주한 상황보다 감소하게 된다. 이에, 횡가속도가 클수록 평균적인 코너링 강성이 크게 감소하고, 이러한 영향을 적절히 보상하여 코너링 강성을 결정하면 전체적인 모델 오차를 개선할 수 있게 된다.

한편, 명목 코너링 강성 산출 모듈(106)은 차량의 명목 코너링 강성을 산출하도록 구성될 수 있다. 그리고 코너링 강성 정규화 모듈(107)은 명목 코너링 강성 산출 모듈(106)에서 산출된 명목 코너링 강성을 노면 마찰계수를 이용하여 정규화하도록 구성될 수 있다.

도 4를 참조하면, 명목 코너링 강성 산출 모듈(106)은 타이어 슬립각과 횡력 또한 비선형적인 관계임을 알 수 있다. 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델에 사용되는 코너링 강성은 타이어가 선형적인 특성을 보이는 구간 즉, 도 4를 기준으로 타이어 슬립각이 0에 가까운 영역에서의 기울기를 명목값으로 결정하도록 구성될 수 있다.

하지만, 도 4에서처럼 타이어 슬립각이 증가함에 따라 코너링 강성에 해당하는 기울기가 감소됨을 알 수 있다. 즉, 도 4에서 빨간선들은 각각 명목 코너링 강성의 100%인 경우 명목 코너링 강성의 35%인 경우에 대해 선형으로 가정된 횡력 $F_y = C_\alpha$ 을 의미하며, 슬립각에 대해 비선형성을 보이는 횡력을 표현하기 위해서는 슬립각이 커질수록 코너링 강성이 명목 코너링 강성보다 작아져야 한다. 따라서, 코너링 강성을 명목 코너링 강성에 해당하는 상수로 반영한 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델은 급격한 주행으로 타이어 슬립각이 커지는 경우 모델 오차가 발생하게 된다. 그런데, 타이어 슬립각은 차량 횡슬립각이 포함되어 차량에서 정확한 측정이 어려운 측면이 있다. 한편, 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 유도할 때 횡력의 합력은 전/후륜 코너링 강성과 슬립각의 곱으로서 다음 수학적 식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 4

$$m a_y = C_f \alpha_f + C_r \alpha_r$$

여기서, m 은 차량 질량(vehicle mass), C 은 코너링 강성(cornering stiffness), α 는 타이어 슬립각(tire slip angle), a_y 는 횡가속도이고, 첨자 f, r 은 전륜/후륜(front/rear), 첨자 x, y, z 는 종방향/횡방향/수직 방향(longitudinal/lateral/vertical direction)을 의미한다.

[0067] 일반적인 주행 상황에서는 슬립각이 클수록 횡가속도도 크다. 이에, 횡가속도가 큰 경우 횡력-슬립각 곡선에서 보이고 있는 오차 요인을 횡가속도가 증가함에 따라 코너링 강성을 감소시키므로 모델 오차 개선이 가능하다고 볼 수 있다. 아울러, 마찰 계수는 횡력-슬립각 곡선의 기울기에 영향을 미치는데, 노면 마찰 계수에 따라 횡력이 포함되는 피크(peak) 슬립각 또한 변화한다. 노면 마찰계수에 따른 피크 슬립각은 브러시 타이어(Brush tire) 모델에 근거하면 다음 수학적 식 5와 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 5

$$\alpha_{peak,i} = \frac{3\mu F_{z,i}}{C_{i,nom}}$$

where $i = front, rear$

[0068]

[0069] 여기서, α 는 타이어 슬립각(tire slip angle), μ 는 피크 마찰 계수(peak friction coefficient), F 는 힘(force), C 은 코너링 강성(cornering stiffness), 첨자 f, r 은 전륜/후륜(front/rear), 첨자 x, y, z 는 종방향/횡방향/수직방향(longitudinal/lateral/vertical direction)을 의미한다.

[0070] 수학적 식 5에서 피크 슬립각은 노면 마찰 계수가 작아짐에 따라 감소하므로 횡력-슬립각 곡선의 기울기 변화는 노면 마찰 계수에 따라 기울기 변화가 이루어지는 슬립각의 범위가 달라지게 된다. 따라서, 횡력-슬립각 곡선의 기울기 변화에 의한 오차 요인 개선을 위해서는 노면 마찰 계수도 함께 고려하여 횡가속도에 따라 코너링 강성을 가변하여야 한다.

[0071] 이에, 도 3에 나타난 횡방향 하중 전이에 의한 좌/우 횡력의 합력 감소 특성과 도 4에서 보이는 슬립각 증가에 따른 횡력-슬립각 곡선의 기울기 감소 특성으로 인한 모델 오차 요인을 보상할 필요가 있다.

[0072] 이를 위해 노면 마찰 계수로 정규화한 횡가속도 a_y/μ 를 입력으로 하는 전/후륜의 코너링 강성 비선형 맵을 통해 코너링 강성을 가변하여 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델의 정확도를 개선할 수 있다.

[0073] 코너링 강성 오차 보상 모듈(105)은 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델에 오차 보상을 반영한 다음의 수학적 식 6을 이용하여 코너링 강성 오차를 보상할 수 있다.

수학적 식 6

$$\begin{aligned}\dot{\beta} &= -r + \frac{\eta_f C_{f,nom}}{m v_x} \left(\delta_f - \beta - \frac{l_f}{v_x} r \right) + \frac{\eta_r C_{r,nom}}{m v_x} \left(-\beta + \frac{l_r}{v_x} r \right) \\ \dot{r} &= \frac{l_f \eta_f C_{f,nom}}{I_z} \left(\delta_f - \beta - \frac{l_f}{v_x} r \right) - \frac{l_r \eta_r C_{r,nom}}{I_z} \left(-\beta + \frac{l_r}{v_x} r \right) \\ \eta_i &= map_i(a_y/\mu) \\ \text{where } i &= Front, Rear\end{aligned}$$

[0074]

[0075] 여기서, β 는 차량 횡슬립각(vehicle sideslip angle), $\dot{\beta}$ 는 차량 횡슬립각의 미분치, m 은 차량 질량(vehicle mass), C 은 코너링 강성(cornering stiffness), l 은 질량 중심까지의 거리(distance to mass center), v 는 차량 속도(vehicle velocity), r 은 차량 요레이트(vehicle yawrate), $\dot{r}$ 은 차량 요레이트의 미분치, δ 은 휠 각도(wheel angle), μ 는 피크 마찰 계수(peak friction coefficient), a 는 가속도(acceleration), η 은 코너링 강성을 위한 보상 인자(compensate factor for cornering stiffness), 첨자

f, r 은 전륜/후륜(front/rear), 첨자 x, y, z 는 종방향/횡방향/수직방향(longitudinal/lateral/vertical direction)을 의미한다.

이때, $C_{f,nom}$ 과 $C_{r,nom}$ 은 전/후륜의 명목 코너링 강성으로서, 선형 영역에서의 코너링 강성을 의미하고, n_f 와 n_r 은 타이어의 비선형성을 보상하기 위한 전/후륜의 코너링 강성 비선형 맵을 의미한다. 이때, 전/후륜 코너링 강성 비선형 맵에서 노면 마찰 계수로 정규화된 횡가속도를 입력으로 하는 이유는 도 4에서 보이고 있는 노면 마찰 계수에 따른 횡력-슬립각 곡선의 기울기 변화를 고려하기 위함이다. 전/후륜 코너링 강성 비선형 맵은 도 5와 같이 보일 수 있으며, 노면 마찰 계수로 정규화된 횡가속도가 커질수록 코너링 강성 보상 인자 η_i 가 작아지도록 설계되고 0에서 1 사이 값을 가진다. 추가로 타이어 종방향 힘 F_x 에 따른 실패율에 의한 영향과 차량 에어로다이내믹스(aerodynamics)에 의한 수직항력 F_z 또한 도 4의 횡력-슬립각 곡선에 영향을 미치지만, 타이어 슬립각에 대한 영향이 지배적이기 때문에 이 영향들을 무시할 수 있다.

코너링 강성 비선형 맵 생성 모듈(108)은 코너링 강성 정규화 모듈(107)에서 정규화된 명목 코너링 강성을 이용하여 코너링 강성 오차를 보상하기 위한 코너링 강성 비선형 맵을 생성하도록 구성될 수 있다.

차량 횡슬립각 감지 센서(109)는 주행 중 차량의 횡슬립각을 감지하도록 구성될 수 있다.

차량 요레이트 감지 센서(110)는 주행 중 차량의 요레이트를 감지하도록 구성될 수 있다.

차량 조향각 감지 센서(111)는 주행 중 차량의 운전자 조향각을 감지하도록 구성될 수 있다.

데이터 전처리 모듈(112)은 차량 횡슬립각 감지 센서(109)에서 감지된 횡슬립각, 차량 요레이트 감지 센서(110)에서 감지된 요레이트 및 차량 조향각 감지 센서(111)에서 감지된 운전자 조향각의 데이터 전처리를 수행하도록 구성될 수 있다.

명목 코너링 강성 산출 모듈(106)은 데이터 전처리 모듈(112)에서 데이터 전처리가 수행된 횡슬립각, 요레이트 및 운전자 조향각을 이용하여 명목 코너링 강성을 산출하도록 구성될 수 있다.

여기서, 코너링 강성 비선형 맵 생성 모듈(108)은 다양한 시나리오의 실차 주행 시험들을 통해 정밀 계측된 차량 횡슬립각과 요레이트의 참값을 싱글 트랙 모델의 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델의 출력과 비교하여 명목 코너링 강성과 타이어의 비선형성을 보상하는 코너링 강성 비선형 맵을 도출하도록 구성될 수 있다.

코너링 강성 비선형 맵 생성 모듈(108)은 1) 주행 시나리오 선정 및 계측, 2) 데이터 전처리, 3) 파라미터 최적화의 순서로 코너링 강성 비선형 맵을 도출하도록 구성될 수 있다.

1) 주행 시나리오 선정 및 계측과 2) 데이터 전처리 과정은 파라미터 최적화를 위한 데이터 확보 과정이고, 최종적으로 3) 파라미터 최적화 과정을 통해 명목 코너링 강성과 기존 싱글 트랙 모델에서 고려되지 않은 횡방향 하중 전이와 타이어 슬립각에 의한 코너링 강성의 감소 특성을 고려한 코너링 강성 비선형 맵을 도출하여 모델 정확도를 개선할 수 있다.

1) 주행 시나리오 선정 및 계측

차량에 적합한 코너링 강성의 명목값과 비선형성을 보상하는 코너링 강성 비선형 맵을 설계하기 하기 위해서는 다양한 횡가속도 영역에 대해 데이터가 분포하는 정상상태(steady-state) 원선회 주행과 이중 차선 변경(double lane change, DLC)과 같은 과도 주행 상황이 모두 요구가 된다. 특히, 정상상태 원선회 주행 데이터의 중요도가 높는데, 평상적인 선회에 해당되는 낮은 횡가속도 범위에서부터 마찰한계 근처의 높은 횡가속도 범위에서부터 마찰한계 근처의 높은 횡가속도 범위까지 정상상태에 있는 차량 횡슬립각과 요레이트 계측치와의 크기를 비교하여 코너링 강성 계수의 명목값과 전반적으로 가속도에 따라 감소하는 코너링 강성 비선형 맵의 형태를 대부분 도출할 수 있기 때문이다. 이중 차선 변경과 같은 과도 주행 상황 데이터의 경우도 과도 상태에서의 모델 정확도를 제고하기 위해 사용된다.

시험예로서 국내 자동차사의 후륜 구동 대형 세단을 이용하여 정상상태 원선회, 이중 차선 변경, 유턴과 같이 다양한 상황 아래 주행 데이터를 계측하였다. 시험 차량의 차속, 횡슬립각, 요레이트는 OxtS사의 RT-3100을 이

용하여 계측하였고, 이외의 신호들(차량 IMU, 운전자 조향각, 차량 휠속도 등)은 차량의 CAN 통신을 통해 데이터를 계측하였다. 차속과 노면 마찰계수의 경우 별도의 추정 방법을 통해 비교적 정확히 알 수 있다고 가정하였다. 본 실험에서 사용된 계측 데이터 중 횡가속도의 데이터 분포는 도 6과 같다. 물론, 데이터의 선정은 코너링 강성 최적화 결과에 영향을 끼치고 있는 차량 모델의 정확도를 결정하는 바 결국 차량 모델의 용도나 요구되는 특성에 맞게 결정될 수 있다.

[0090] 최적화를 위한 주행 데이터는 모두 드라이 아스팔트(dry asphalt) 노면의 주행에서 계측되었다. 계측된 시나리오는 총 46,200개의 샘플로 구성되며 정상상태 원선회(63%), Slalom 주행(27%), 유턴 주행(10%)의 비율로 구성되어 있다. 도 6에서 확인할 수 있듯이 횡가속도가 클수록 데이터의 분포는 감소함을 볼 수 있다. 데이터는 일상 주행 영역에 해당하는 0~0.2G 영역 데이터가 다수 존재하는데, 이는 명목 코너링 강성을 도출하기 위해서 다른 횡가속도 영역의 데이터 대비 많이 요구된다. 더불어 횡가속도가 클수록 모델 오차가 증가하므로 높은 횡가속도를 가지는 주행 데이터를 최적화 과정에 포함시키는 것이 모델 정확도 개선을 위해 요구된다. 따라서 본 시험예에서는 일반적인 주행 상황뿐만 아니라 마찰한계 영역까지 주행하는 데이터를 포함하여 명목 코너링 강성과 코너링 강성 비선형 맵을 설계하기 위해 사용하였다.

[0092] 2) 데이터 전처리

[0093] 다양한 횡가속도 범위의 주행 데이터가 계측된 후, 코너링 강성 오차 개선을 위한 파라미터 최적화 문제를 해결하기 위해 계측 데이터에 대한 전처리가 요구된다. 우선 계측 데이터를 모두 연결하여 하나의 데이터로 통합한다. 싱글 트랙 모델은 수학적 1과 같이 횡슬립각과 요레이트에 대한 미분 방정식이므로 데이터의 전/후 관계가 중요하다. 따라서, 정차, 선회, 정차의 과정으로 구성된 시험 데이터에서 각 정차 시점을 연결하여 하나의 연속적 데이터로 구성하였다. 이 데이터는 직진주행, 정차상황과 같이 차량의 횡적 거동이 존재하지 않는 상황들도 존재한다. 언급한 두 상황은 코너링 강성의 오차 개선을 위한 파라미터 최적화에는 불필요하므로 최적화 연산 시 배제되어야 한다. 따라서, 모델 연산은 전 영역에 대해 실시하지만, 차속과 횡가속도 계측치가 일정 값 이상, 일정 시간이 유지 시에만 차량의 횡거동이 있다고 판단하여 해당 상황의 데이터만을 최적화 과정에 고려하였다. 도 7과 같이 차량의 횡거동이 있는 경우만 최적화 과정에 계측값과 모델 출력 간의 에러가 고려되고 그렇지 않는 경우, 계측된 횡슬립각/요레이트와 모델 출력값을 0으로 설정하여 최적화 과정에 고려하지 않도록 모델을 설계 및 데이터 전처리를 실시하였다.

[0095] 3) 파라미터 최적화

[0096] 본 시험예에서 제안하는 방법은 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 정확도 향상을 위해 다양한 주행 시나리오 아래 실차에서 계측한 횡슬립각/요레이트의 참값과 모델 출력값을 비교하며 설계한 전/후륜 타이어 코너링 강성의 명목값과 코너링 강성 비선형 맵을 통해 모델 정확도 향상을 이끌어 내는 것이다. 이를 위해 수학적 7과 같은 최적화 문제를 구성하여 해당 목적함수를 최소화하는 파라미터들을 도출하였다.

수학적 7

$$\begin{aligned} \min_X \sum_{k=1}^N & \left(k_1 (\beta_{measured}(k) - \beta_{model}(k))^2 + \right. \\ & \left. k_2 (r_{measured}(k) - r_{model}(k))^2 \right) \\ s. t \\ X = & [C_{f,nom}, C_{r,nom}, \eta_{f,5}, \eta_{f,6} \dots \eta_{f,n}, \eta_{r,5}, \eta_{r,6} \dots \eta_{r,n}] \\ 1.5 \times 10^5 N/rad \leq & C_{f,nom}, C_{r,nom} \leq 3.0 \times 10^5 N/rad \\ 0.3 \leq \eta_{f,i} \leq & \eta_{f,i-1} \leq 1 \\ 0.3 \leq \eta_{r,j} \leq & \eta_{r,j-1} \leq 1 \\ where N : Total \# of sample, & i, j : 5, \dots 20 \end{aligned}$$

[0097]

[0098] 여기서, β 는 차량 횡슬립각(vehicle sideslip angle), η 은 코너링 강성을 위한 보상 팩터(compensate factor for cornering stiffness)이고, 첨자 f, r 은 전륜/후륜(front/rear)을 의미한다.

[0099] 위 정의한 파라미터 최적화 문제는 모델 출력값(β_{model}, r_{model})과 실제 측정값($\beta_{measured}, r_{measured}$)과의 에러로 구성된 목적함수를 최소화하는 것을 목적으로 하며, 2) 전처리 과정에서 설명한 바와 같이 특정 조건에 대해서만 모델과 측정값과의 에러로 구성된 목적함수를 고려한다. 이때, 가중치, k_1, k_2 는 횡슬립각과 요레이트의 스케일을 고려하여 결정되고 본 시험예에서는 $k_1 = 2, k_2 = 1$ 로 설정하였다. 수학적 6의 최적화 문제에서 도출하고자 하는 최적 파라미터는 전/후륜 타이어 명목 코너링 강성($C_{f, nom}, C_{r, nom}$), 전/후륜 코너링 강성 비선형 맵 내부인 자(η_f, η_r)로 구성하였다. 이중 전/후륜 각각의 코너링 강성 비선형 맵은 횡가속도 0~1.1 G 범위에 균일하게 20개의 인자로 구성하였다. 하지만, 싱글 트랙 모델의 경우 저횡G 영역에서는 명목 코너링 강성만으로도 모델이 비교적 정확하므로 최적화 파라미터 개수를 감

소하기 위해 0.2~1.1G 영역의 인자들만 최적화 문제에 고려하였다. 즉, $\eta_{f,1} \dots \eta_{f,4}$ 와 $\eta_{r,1} \dots \eta_{r,4}$ 는 모두 1로 고정하였다. 따라서, 총 최적화 파라미터 개수는 명목 코너링 강성 2개, 전/후륜 개별 0.2~1.1G 영역에 대항하는 코너링 강성 비선형 맵 인자 32개로 총 34개의 파라미터를 최적화한다. 최적화를 위한 제약 조건은 현실적인 코너링 강성의 명목 값의 범위와 코너링 강성 비선형 맵 내부 인자들의 범위를 설정하였다. 특히, 코너링 강성 비선형 맵 내부 인자들은 횡가속도가 커짐에 따라 감소하는 경향을 따르도록 부등식 조건을 최적화 문제에 고려하였다. 정의한 파라미터 최적화 문제를 해결하기 위해 본 시험예에서는 MATLAB/Simulink 기반으로 개발 환경을 구축하였고, 해당 프로그램의 Optimization Toolbox에서 제공하는 비선형 프로그래밍 Solver 중 'fmincon'을 사용하여 오프라인 상에서 파라미터 최적화를 실시하였다. 최적화 과정에 대한 모식도는 도 8과 같다. 오프라인 최적화는 i7-8700K, 16GB 램(RAM) 기준으로 약 10분 정도 소요되었다.

[0100] 최적화 과정을 통해 도출된 전/후륜 명목 코너링 강성과 코너링 강성 비선형 맵은 서로 곱하여 도 9와 같이 표현되었다. 이때, 타이어 정보를 기반으로 제로(zero) 슬립 근처에서 계산한 명목 코너링 강성과 이를 기반으로 경험적인 방법으로 코너링 강성 비선형 맵을 직접 수동으로 튜닝 설계한 결과도 도 9에서 비교를 위해 표현하였다.

[0101] 도 9에서 명목 코너링 강성은 고정된 상수이므로 전반적인 횡가속도 영역에 대해 동일한 값을 가진다. 수동으로 설계한 결과는 해당 분야의 전문가가 여러 실차 데이터에 근거하여 모델 오차가 줄어드는 방향으로 코너링 강성 비선형 맵의 내부인자들을 수동으로 튜닝 설계하였다. 이러한 이유로 코너링 강성 비선형 맵 내부 인자들은 정규화된 횡가속도에 균등하게 분할이 되어 있지 않는 특징을 보이고 설계를 위한 시간이 제안 방법 대비 길게 소요된다. 전체적인 형태는 최적화 결과물과 유사하다. 최적화 결과물을 살펴보면, 0~0.2G 영역에 해당하는 명목 코너링 강성은 전륜은 타이어 정보로 산출한 값보다 크게, 후륜은 유사하게 도출되었다. 전륜 코너링 강성은 0.2G 이상부터 서서히 감소하기 시작하며, 0.7G 이상의 영역부터 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 후륜 코너링 강성은 0.4G 이상 영역부터 서서히 감소하며, 0.6G 이상 영역부터 급격한 변화를 보인다. 이러한 원인은 횡가속도 큰 영역에서는 코너링 강성이 보이는 비선형성이 횡가속도가 작은 영역 대비 크기 때문이다. 본 시험예에서 사용한 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델에 사용된 입력은 운전자 조향 입력에 기어비를 곱한 전륜 타이어 조향각만 사용되었기에 차량의 전/후륜 조향각에 존재하는 롤/컴플라이언스 조향각이 배제되어 사용되었다. 조향각 오차도 함께 보상하여 코너링 강성 비선형 맵을 설계하는 경우 수학적 6의 최적화 과정에서 사용된 모델 대비 전륜 조향 입력은 감소하고, 후륜 조향 입력은 고려되므로 횡가속도 전반적인 영역에 대해 전륜 타이어 코너링 강성은 작게, 후륜 타이어 코너링 강성은 크게 결과가 도출된 것이다. 이러한 코너링 강성의 최적화 결과는 최적화에 사용된 데이터 셋의 종류, 차량 종류(세단, SUV 등), 타이어 종류, 차량의 구동 형태(전륜구동, 후륜구동 등)에 따라 달라지게 된다.

[0102] 4) 실차 검증

[0103] 파라미터 최적화 과정을 통해 도출된 코너링 강성을 싱글 트랙 모델에 적용하여 실차 데이터에 대한 모델 검증을 수행하였다. 기본 방법들 대비 모델 정확도 개선을 확인하기 위해 전/후륜 타이어 코너링 강성을 명목값으로만 사용한 모델(conventional 모델)과 엔지니어가 데이터에 기반하여 경험적인 방법으로 수동 튜닝 설계한 코너링 강성 비선형 맵을 적용한 모델(manual 모델), 그리고 본 시험예에서 제안하고 있는 최적화 방법을 통해 도출된 결과를 적용한 차량 모델(제안 모델)의 횡슬립각과 요레이트를 정밀 센서의 계측값과 비교하였다. 이때, 각 모델의 출력값과 계측값의 에러를 별도로 표현하였다. 다음 표 1은 모델 정확도 개선을 검증하기 위해 정의된 시나리오 목록이다.

표 1

Case	Speed (kph)	Maneuver	μ	$ a_{y,max} (G)$
1	0~80	Circle	1	0.98
2	120	Slalom	1	0.86
3	40	U-Turn	1	0.96

[0104]

[0105] 표 1에서 case 1은 반시계 방향으로 서서히 가속 주행하며 마찰 한계 영역까지 가혹하게 주행하는 상황, case 2는 고속 Slalom 주행 상황, case 3은 유턴 상황 주행 상황이다. 3가지 주행 상황 모두 드라이 아스팔트(dry asphalt) 노면에서 실시되었다.

[0106] 도 10 내지 도 11은 case 1인 원선회 주행 상황에 대한 차량 횡슬립각과 요레이트의 비교 결과이다. 정상 상태에 준하게 서서히 가속 주행하며 원선회가 이뤄지고 37초 부근에서 계측 횡가속도 기준으로 최대 횡가속도 0.98G를 보인다. 도10에서 횡슬립각에 대한 결과를 살펴보면, 기존 모델(conventional model)의 경우 마찰 한계에 근접해지는 30~40초 구간에서 절댓값 기준 최대 4.2deg 정도로 오차가 크게 발생하였다. Manual은 기존 모델 대비 25~300초 구간에 대해서는 참값과 유사한 결과를 보이지만, 37초 구간과 같이 노면 한계 가속도인 1G에 준하는 구간의 경우 2deg 내외의 오차를 보이고 있다. 본 시험예에서 제안하고 있는 파라미터 최적화 결과를 적용한 모델은 전체적인 구간에 대해 최대 1도 미만의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 수동으로 코너링 강성의 오차를 보상하는 방법 대비 제안하고 있는 방법이 좀 더 높은 정확도 개선을 보이고 있음을 보인다. 도 11은 요레이트에 대한 결과 비교이다. 도 10에서 보이고 있는 횡슬립각 비교 결과와 유사하게 기존 모델은 횡가속도 증가하고 있는 25~40초 구간에 대해 절댓값 기준 최대 15 deg/s 정도 오차가 발생한다. Manual과 제안 모델은 기존 모델 대비하여 에러가 감소되어 정확도가 개선되었다. 제안 모델은 Manual과 비교할 때 유사한 결과를 보이고, 마찰 한계에 근접하는 35~37초 구간에서 제안 모델이 성능적으로 우세를 보임을 확인할 수 있다. 제안 모델은 전체적으로 절댓값 기준 2 deg/s 미만의 요레이트 에러를 가지며, 최대 요레이트 에러는 8 deg/s 정도로 기존 모델이 보이고 있는 10 deg/s 대비하여 감소하였기에 전반적인 성능 개선을 확인하였다. 도 12 내지 도 13은 case 2에 속하는 고속 주행에서의 Slalom 주행을 통해 횡슬립각과 요레이트를 비교하였다. 도 12에서 횡슬립각에 대한 결과를 비교하면, 기존 모델은 피크 지점들에 대해서 절댓값 기준 대비 항상 작게 결과를 도출하는 것을 확인할 수 있다. Manual과 본 발명의 모델은 유사한 정확도를 보이며 기존 모델 대비 오차를 개선하였음을 보인다. 기존 모델은 최대 0.8 deg의 에러를 보이고 있지만, Manual과 제안 모델은 최대 0.7 deg 미만을 보이며 정확도가 소폭 상승하였다. 도 13은 요레이트에 대한 비교 결과이다. 기존 모델의 경우 최대 7 deg/s의 오차를 보이면 Slalom 주행 시 피크 영역에서 절댓값 기준 계측값 대비 항상 큰 값을 보인다. Manual과 제안 모델은 피크 영역에 대해 기존 모델 대비 오차가 크게 감소하여 정확도 향상이 되었음을 확인하였다. 두 모델 모두 유사한 결과를 도출하지만, 전반적인 영역에 대해 Manual 대비 제안 모델이 오차가 작음을 보이고 있다. 추가적으로 case 2에서 제안 모델의 정확도 향상율은 case 1 대비하여 낮음을 보이는데, case 2와 같은 고속 주행 상황에서는 case 1 대비 제안 방법에서 고려하지 않은 차량 에어로다이내믹스에 의한 수직항력의 영향이 크기 때문이다. 따라서, 타이어 수직방향 힘을 추가로 고려하여 코너링 강성 오차를 보상하는 경우 정확도 향상을 높일 수 있다.

[0107] 도 14 내지 도 15는 case 3의 유턴 상황에 대한 횡슬립각/요레이트 비교 결과이다. Case 3은 case 2와 유사하게 급격한 조향으로 인한 과도 상황에서의 검증을 위해 진행되었다. 도 14에서 보이고 있는 횡슬립각에 대한

결과를 비교하면, 기준 모델은 과도 주행 상황이 발생하는 6, 16, 26초 구간에 대해 큰 오차를 보이고 있다. 기준 모델은 코너링 강성 오차를 보상하지 않아 정확도가 떨어짐을 보인다. 한편, Manual은 기준 모델 대비하여 정확도는 상승하였으나, 코너링 강성 비선형 맵 내부 인자들 간의 변화가 잘 고려되지 않아 6, 16, 26 초 구간에서 오차를 보이고 있다. 하지만, 논문에서 제안하는 방법을 적용한 모델은 파라미터 최적화를 실시할 때 case 2~3과 같은 과도 조향 상황도 고려되어 제안 모델이 오차가 작음을 확인할 수 있다. 도 15는 요레이트에 대한 비교 결과이다. 도 14에서 보인 횡슬립각과 달리 요레이트는 과도 조향에도 차량의 조향각 입력과 비슷한 양상을 보인다. 따라서 기준 모델의 요레이트 형태는 큰 오차를 보이지 않으나, 피크 지점에 속하는 7, 17, 27 초 구간에 대해서는 최대 15 deg/s 정도의 큰 오차를 보이고 있다. 한편, Manual과 제안 모델은 큰 정확도 향상을 도출하였다. 두 모델은 유사한 결과를 보이지만, 제안 모델인 Manual 대비 오차가 작음을 확인할 수 있다. 특히, 15초 구간에서 Manual은 최대 7 deg/s의 오차를 보이지만, 제안 모델은 3 deg/s의 오차를 보인다. 이러한 횡슬립각과 요레이트에 대한 비교 결과를 볼 때, 본 발명에 따른 실험 계측 데이터를 활용한 파라미터 최적화 기반의 방법이 싱글 트랙 모델의 정확도를 대폭 향상시키며 Manual보다 설계 시가이 단축되었고 정량적인 정확도 개선을 가지고 옴을 확인하였다. 본 발명에서는 최적화에 사용되는 데이터나 목적함수의 가중치에 따라 결과는 달라질 수 있으며, 용도에 맞게 개발자의 정의가 가능하다.

- [0108] 본 발명에서 제안한 싱글 트랙 모델의 정확도 개선 방안은 계측 데이터를 활용하여 차량의 횡거동에 의한 코너링 강성 계수 오차만을 고려한 방법이지만, 전/후 조향각 오차와 종방향 힘 또는 수직 방향 힘에 대한 영향을 고려할 경우 더욱 오차 개선이 가능하다.
- [0109] 파라미터 최적화 제어 모듈(113)은 코너링 강성 비선형 맵 생성 모듈(108)이 코너링 강성 오차를 보상하기 위한 코너링 강성 비선형 맵을 반복하여 생성하고 코너링 강성 비선형 맵 데이터베이스(104)에 갱신하여 저장하도록 제어할 수 있다.
- [0110] 도16은 본 발명의 일 실시예에 따른 차량 횡방향 운동 모델의 데이터 기반 정확도 개선 방법의 흐름도이다.
- [0111] 도16을 참조하면, 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈(101)이 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델을 실행하여 차량의 횡방향 운동값을 산출한다(S101).
- [0112] 다음으로, 타이어 조향각 오차 보상 모듈(103)이 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 산출되는 횡방향 운동값에 대해 타이어 조향각 오차를 보상한다(S102).
- [0113] 다음으로, 코너링 강성 오차 보상 모듈(105)이 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈에 의해 산출되는 횡방향 운동값에 대해 코너링 강성 오차를 보상한다(S103).
- [0114] 이상 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

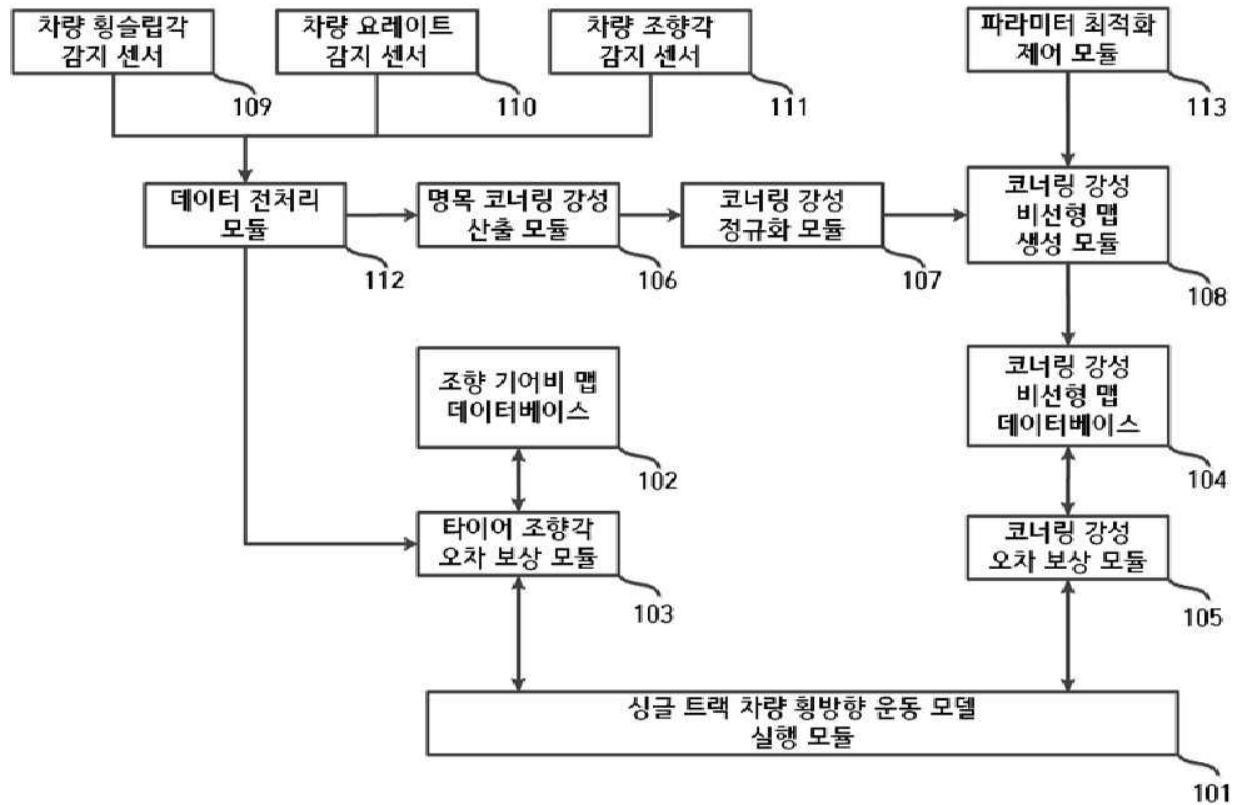
- [0116] 101: 싱글 트랙 차량 횡방향 운동 모델 실행 모듈
- 102: 조향 기어비 맵 데이터베이스
- 103: 타이어 조향각 오차 보상 모듈
- 104: 코너링 강성 비선형 맵 데이터베이스
- 105: 코너링 강성 오차 보상 모듈
- 106: 명목 코너링 강성 산출 모듈
- 107: 코너링 강성 정규화 모듈
- 108: 코너링 강성 비선형 맵 생성 모듈
- 109: 차량 횡슬립각 감지 센서
- 110: 차량 요레이트 감지 센서

- 111: 차량 조향각 감지 센서
- 112: 데이터 전처리 모듈
- 113: 파라미터 최적화 제어 모듈

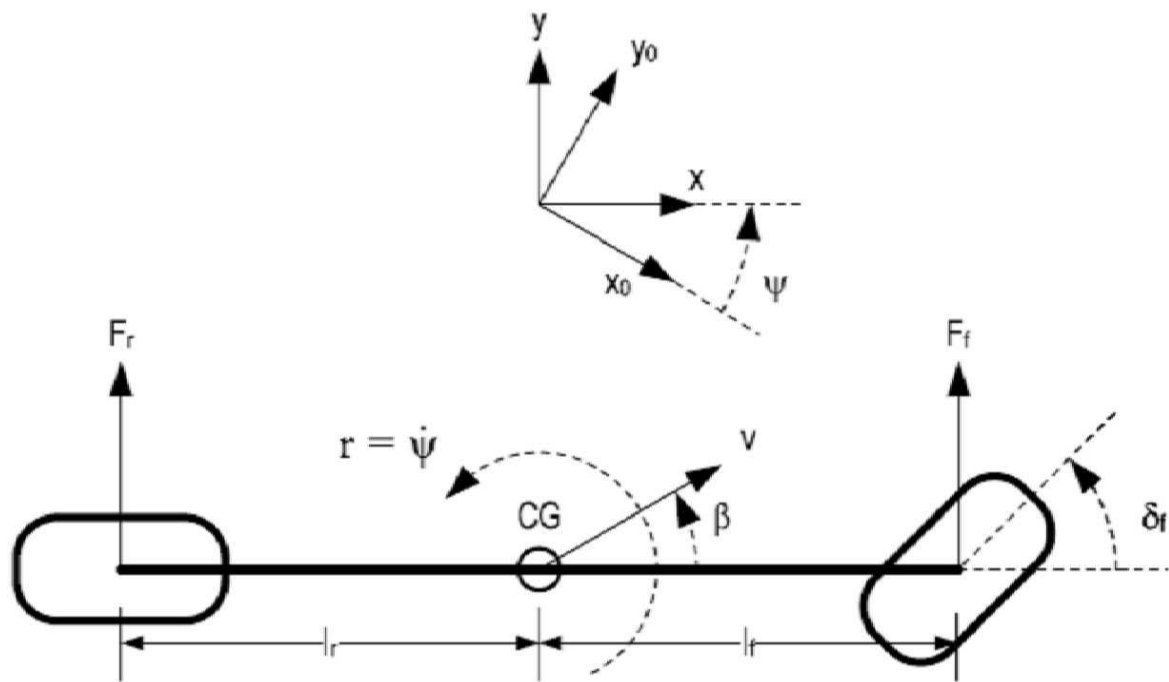
도면

도면1

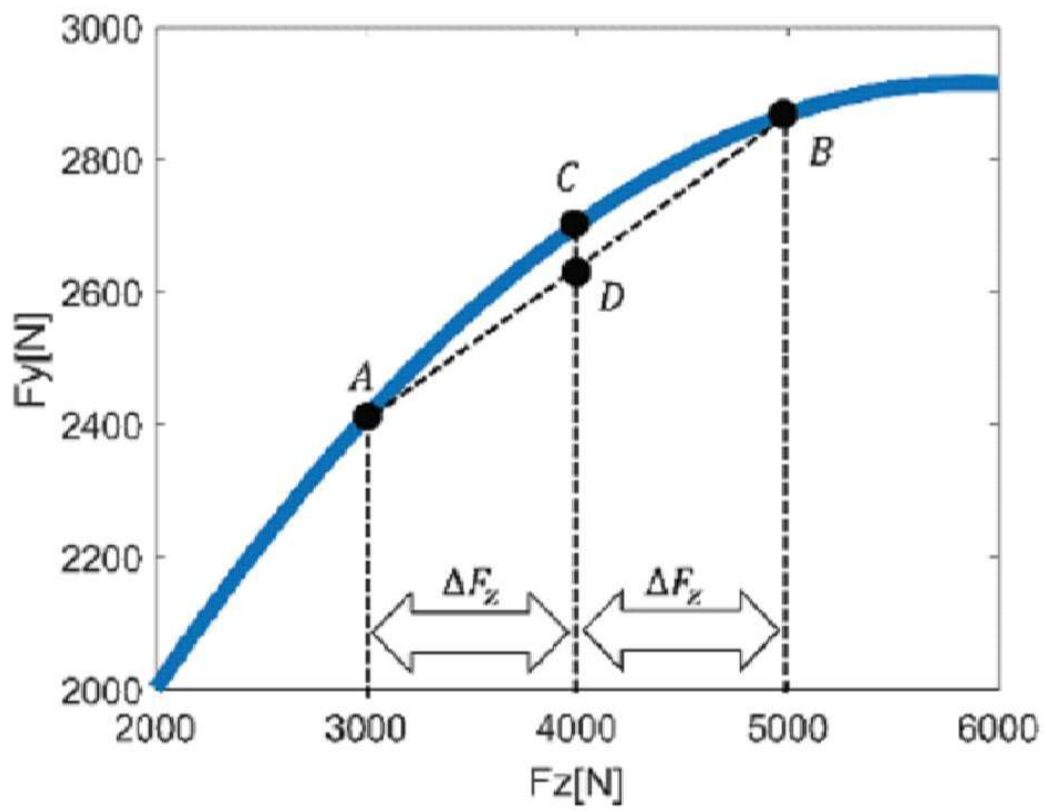
100



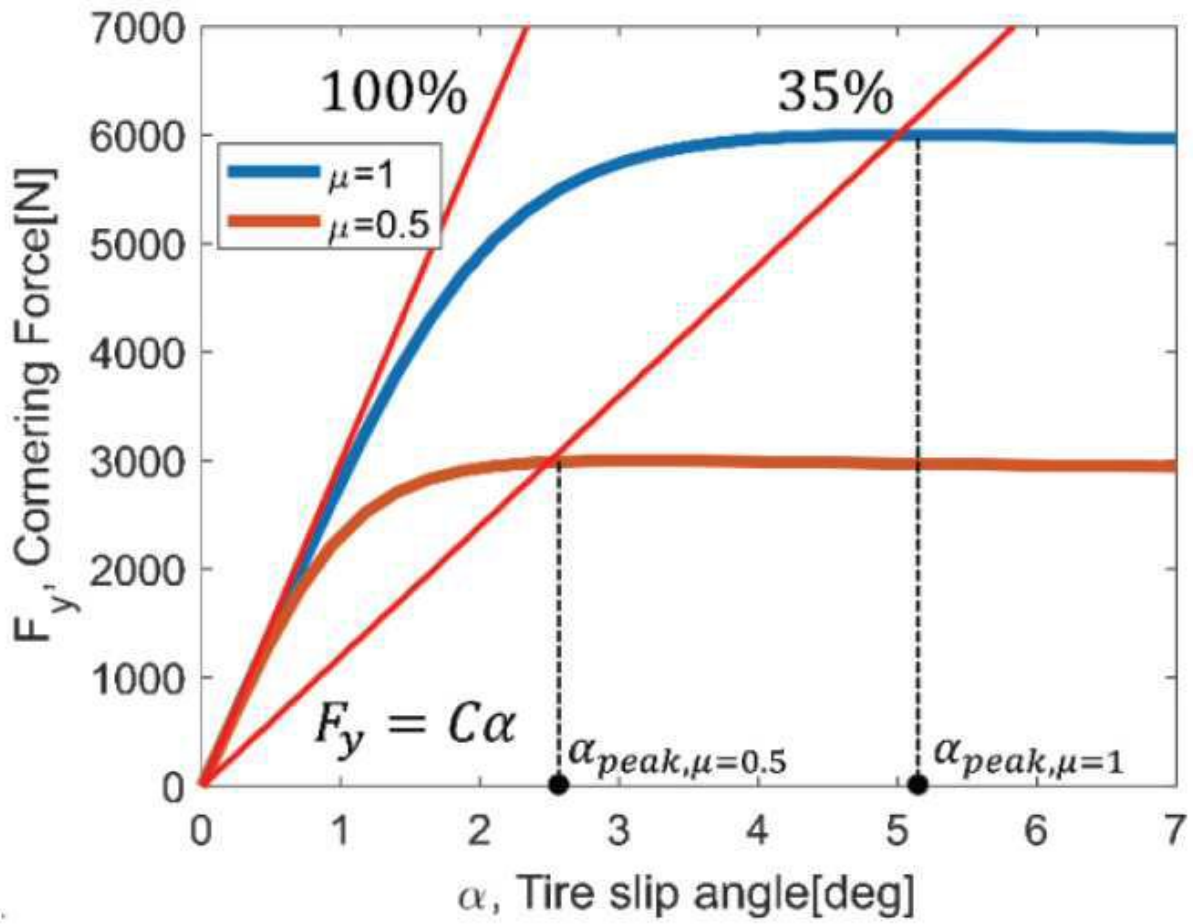
도면2



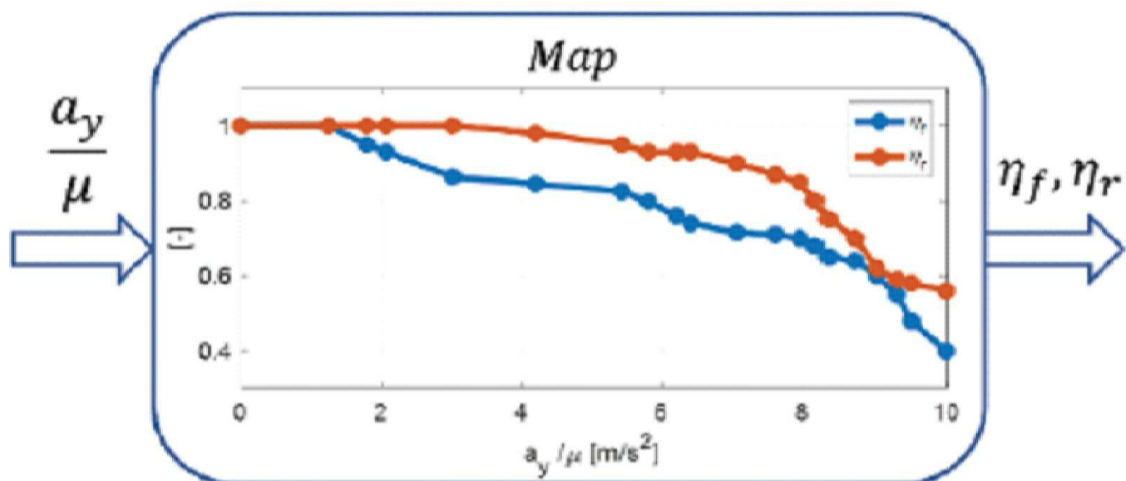
도면3



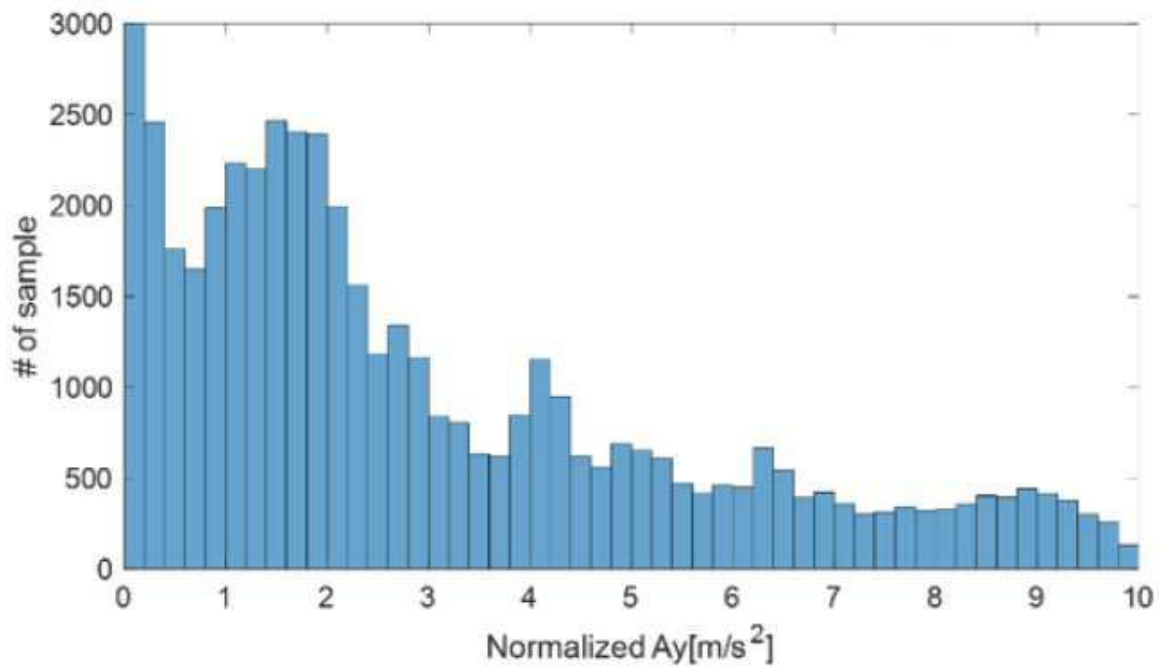
도면4



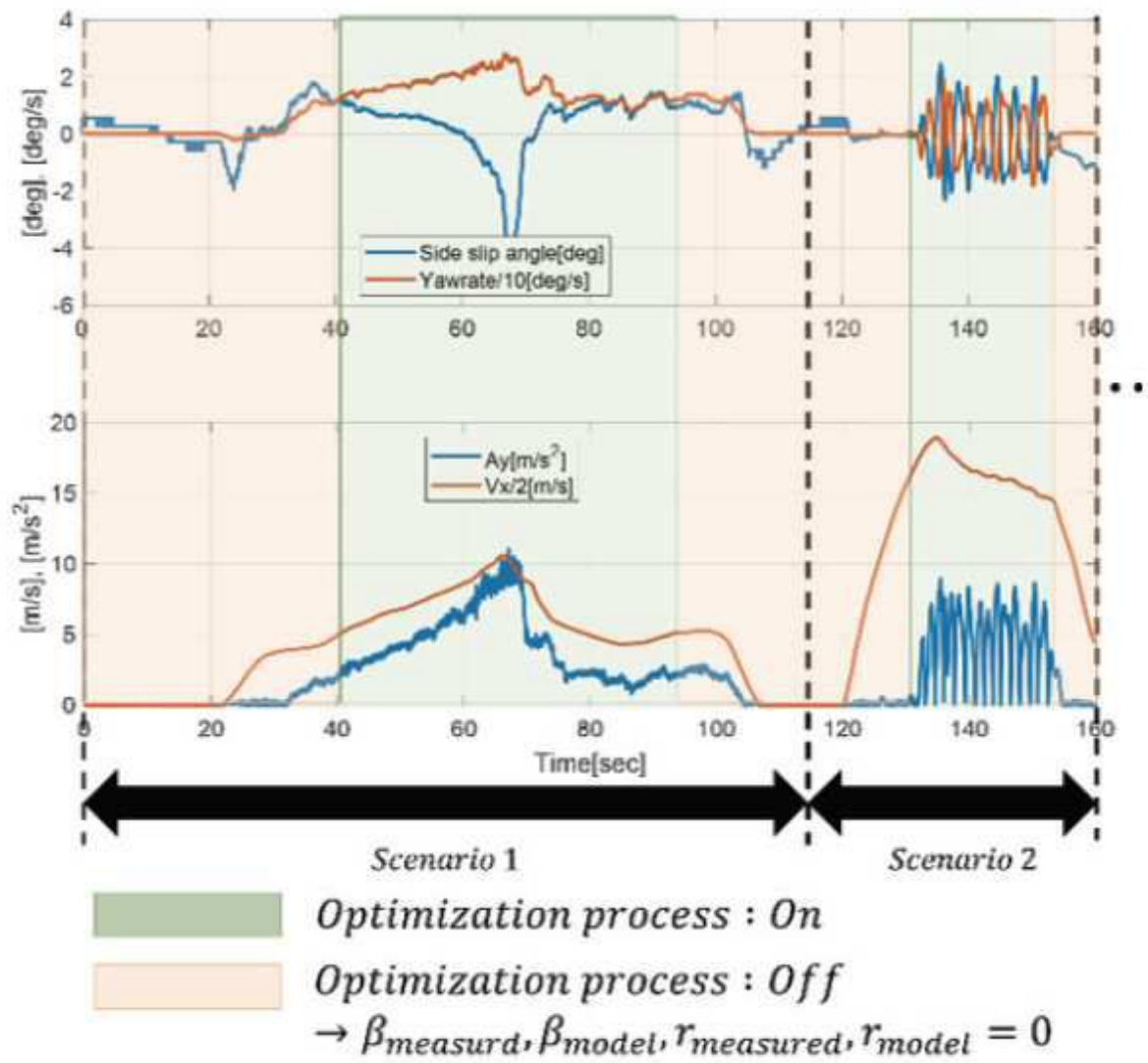
도면5



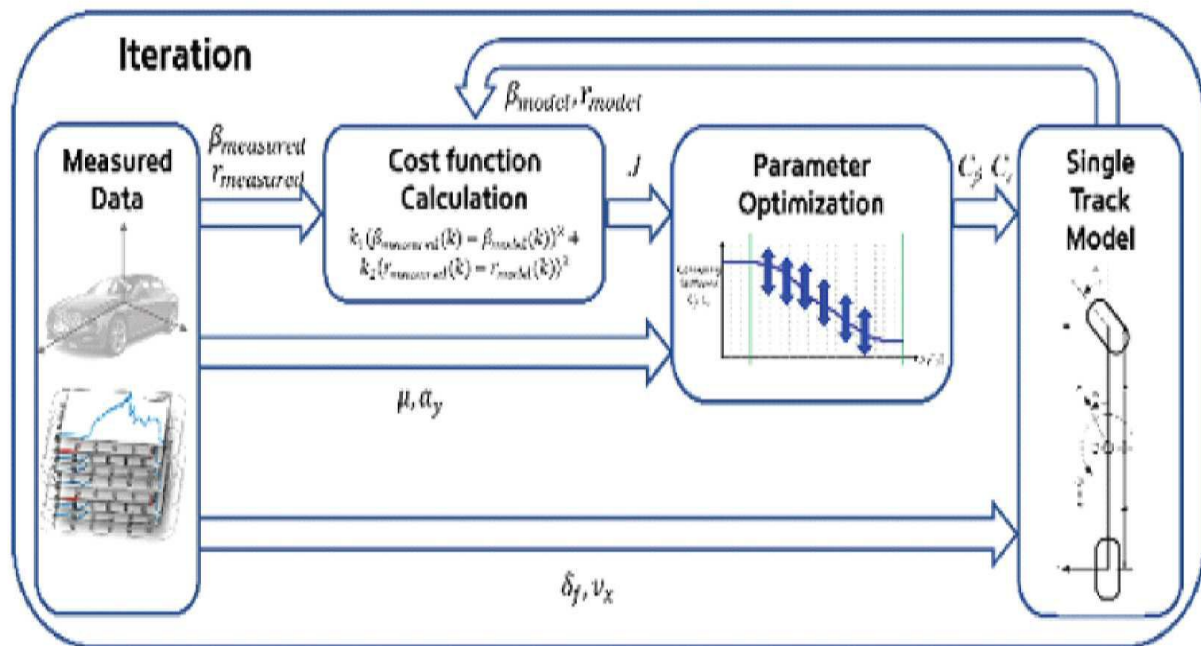
도면6



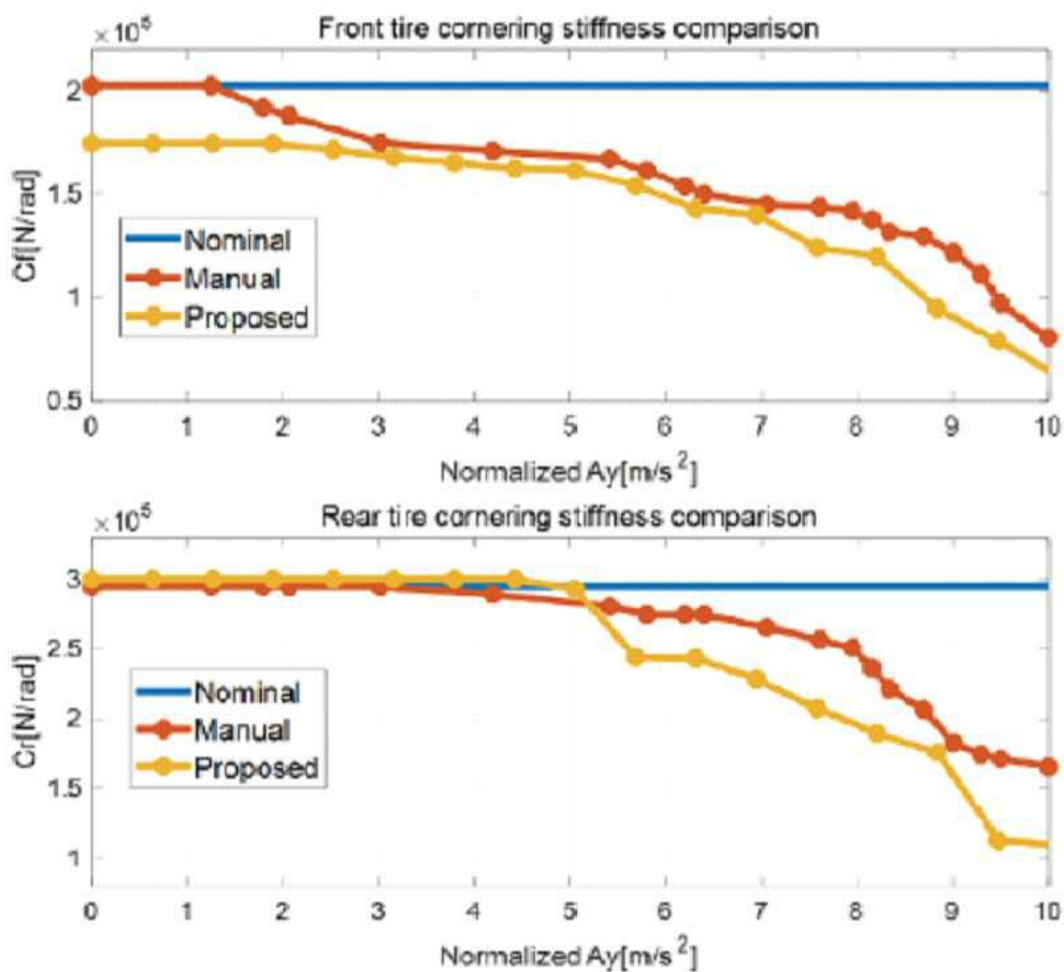
도면7



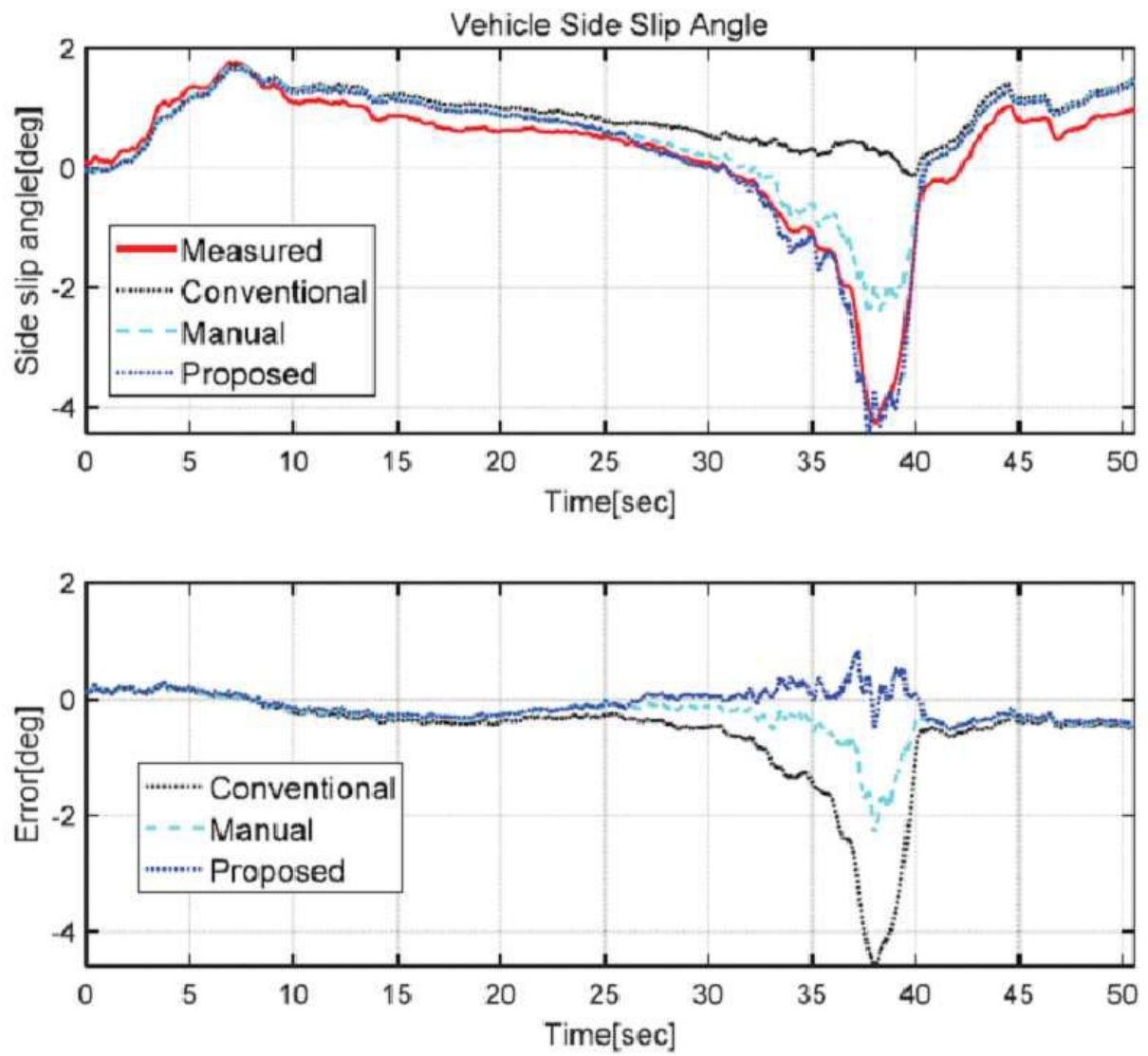
도면8



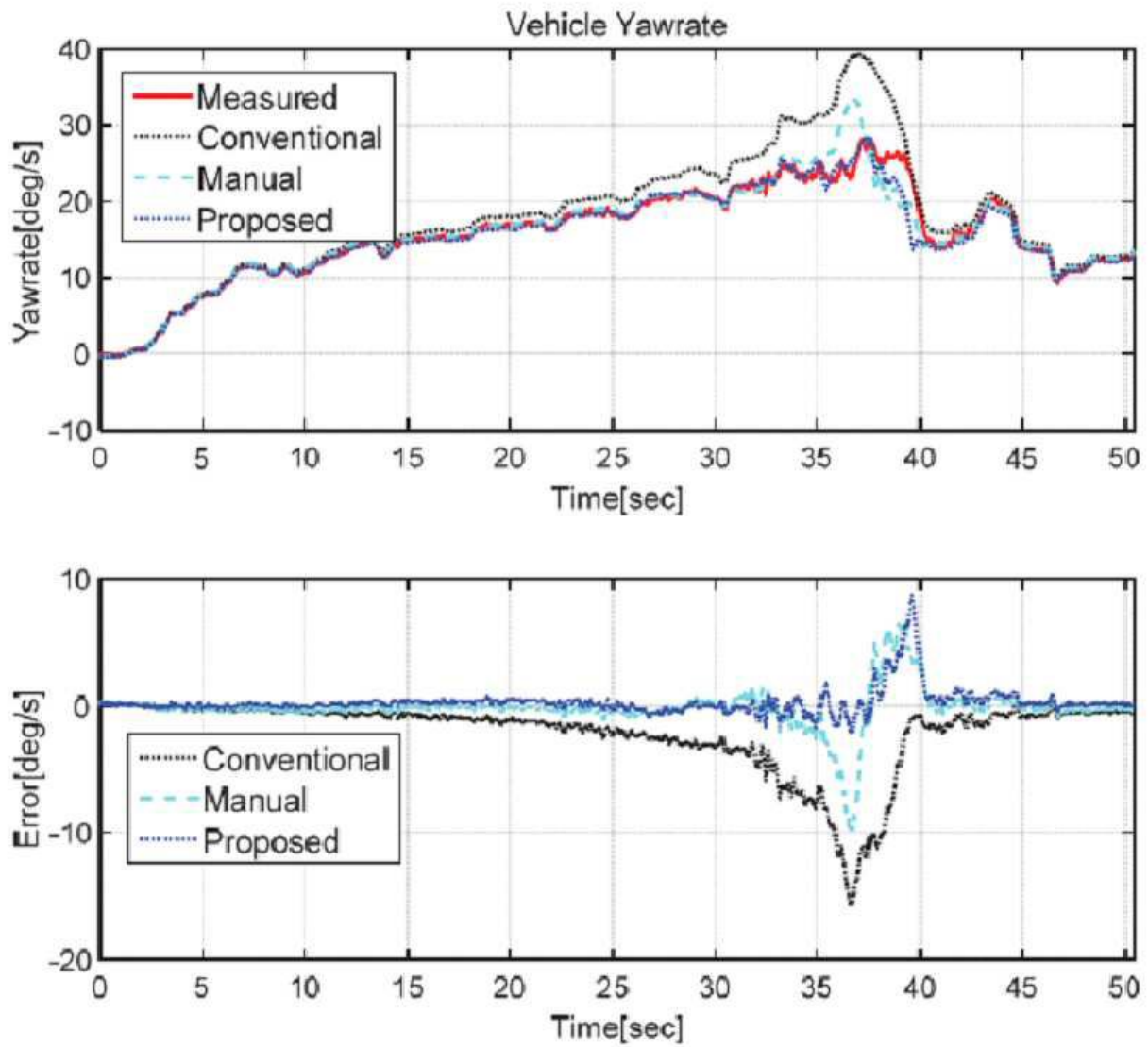
도면9



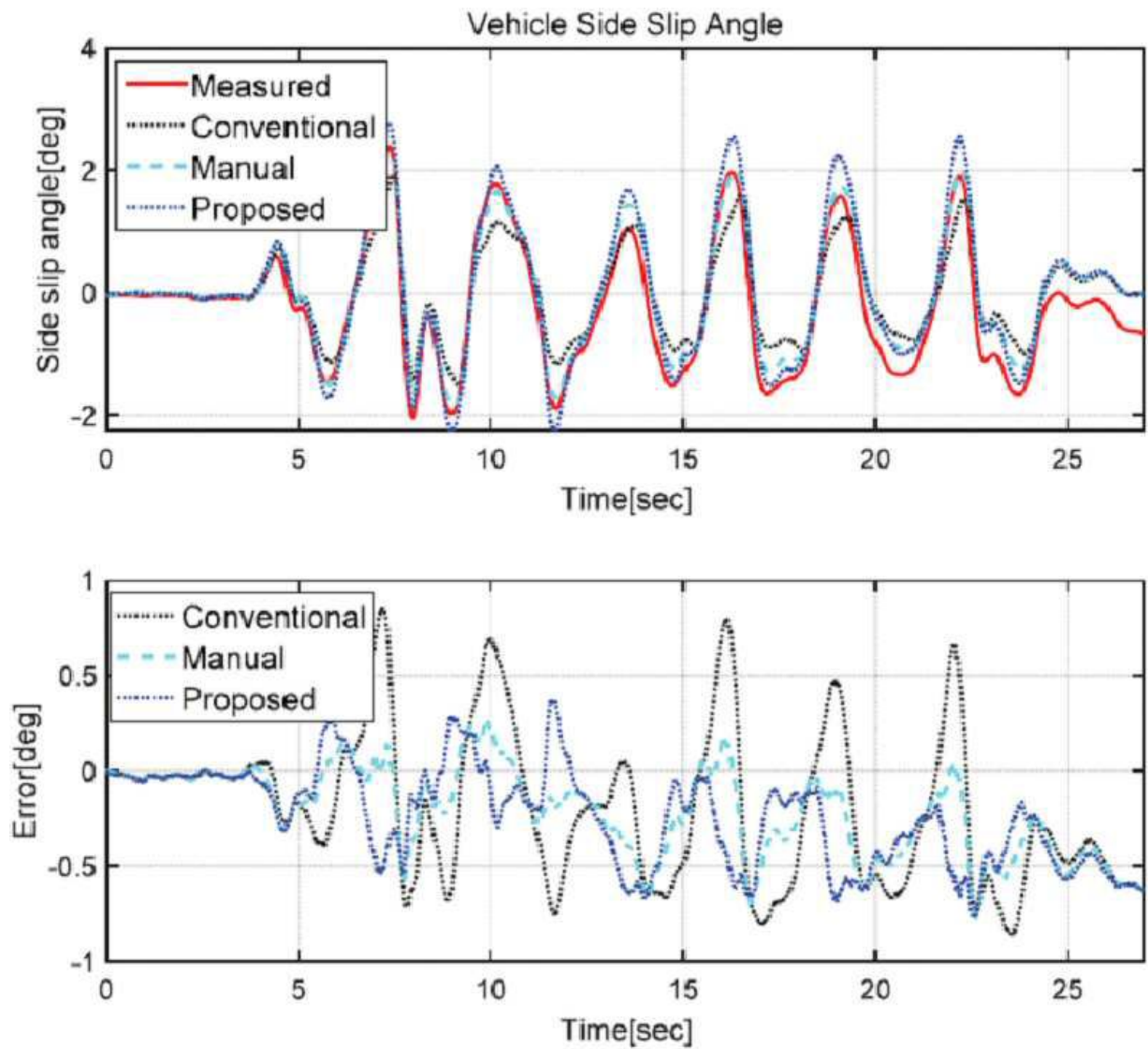
도면10



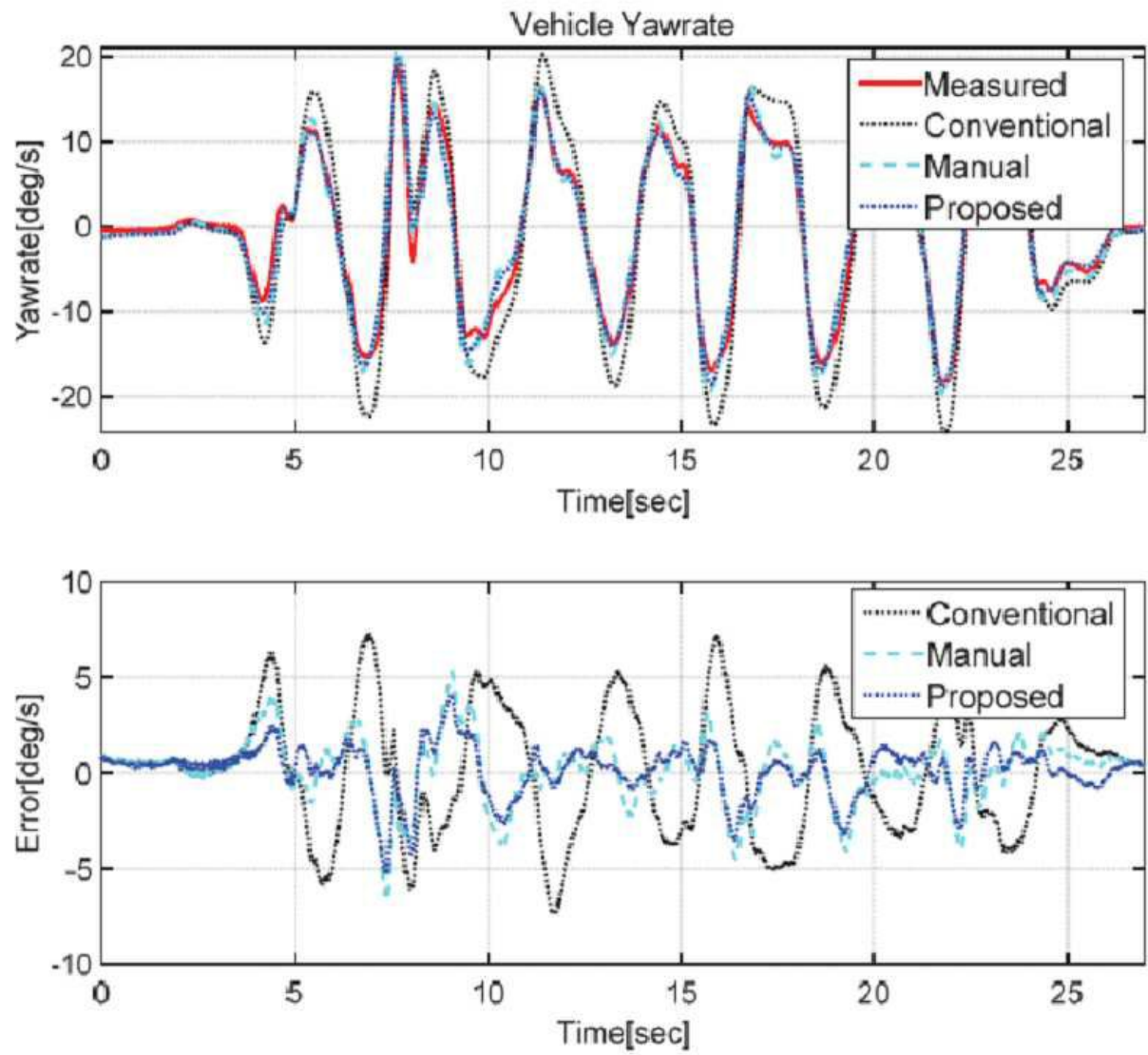
도면11



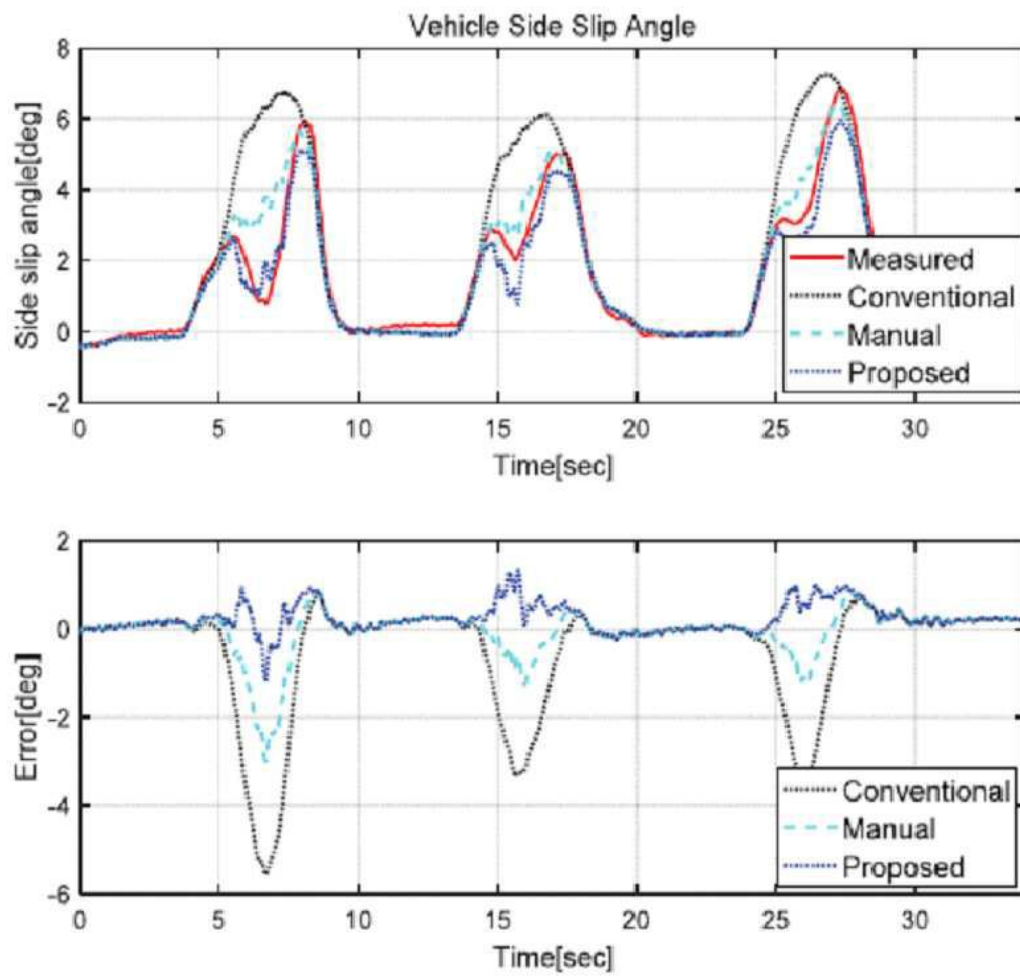
도면12



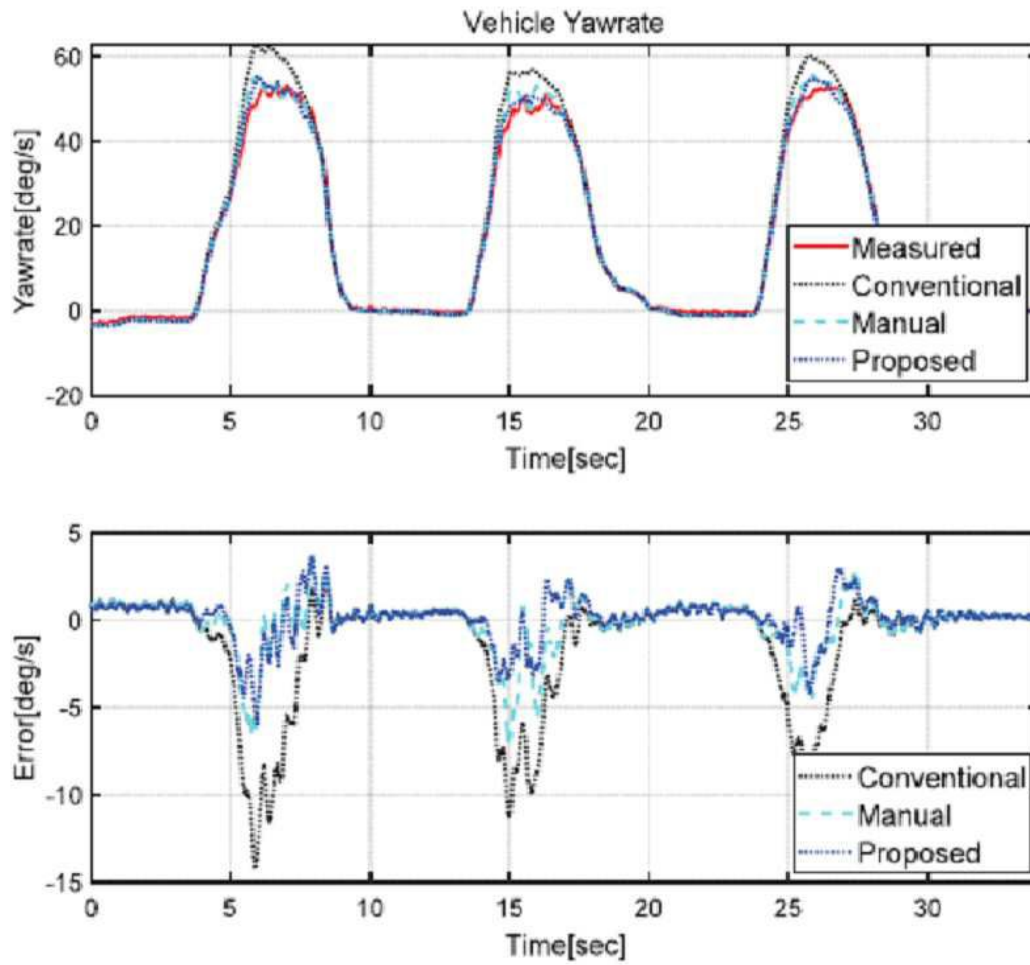
도면13



도면14



도면15



도면16

