

자율주행 자동차 안전성 확보를 위한 RSS 모델 및 ISO/DIS 21448 (SOTIF) 통합 프로세스 구축에 관한 선행연구

김민중¹⁾, 김동현²⁾, 김영민^{1)*}

1) 아주대학교 시스템공학과, 2) 주식회사 캔랩

On the Integrated process of RSS model and ISO/DIS 21448 (SOTIF) for securing autonomous vehicle safety

Min Joong Kim¹⁾, Tong Hyun Kim²⁾, Young Min Kim¹⁾

1) Department of Systems Engineering, Ajou University, 2) CanLab Co., LTD

Abstract : Today, as the number of vehicles equipped with autonomous driving functions increases, the use of various sensors increases, and the complexity of system configuration increases. The ISO 26262 standard was published to prevent caused by systematic errors. Recently, the issue of external environmental factors rather than mechanical failure has increased. This issue is a problem outside of the scope of ISO 26262, and the ISO/DIS 21448 standard was published to solve this problem. Also, Mobileye proposed the RSS model that defined safe distance for dangerous situations in order to secure the safety of autonomous vehicles and who is responsible in case of an accident. In this paper, integrated process of ISO 21448 and RSS model, and through these results, we expect that possible to contribute to securing the safety and reliability of autonomous vehicles in the future.

Key Words : ISO/DIS 21448, SOTIF(Safety of The Intended Functionality), Responsibility Sensitive Safety(RSS), Autonomous Vehicle, Safety Analysis, ISO 26262.

Received: November 3, 2021 / **Revised:** December 2, 2021 / **Accepted:** December 15, 2021

* 교신저자 : Young Min Kim/Department of Systems Engineering, Ajou University/pretty0m@ajou.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non- commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

1.1 연구배경

오늘날 자율주행 연구가 활발히 진행되고 있고, 다양한 센서를 활용한 자율주행 기능을 갖춘 차량의 보급이 확산되고 있다. 첨단 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS), 차선 이탈 경보 시스템(Lane Departure Warning System, LDWS), 차선 유지 보조 시스템(Lane Keeping Assist System, LKAS), 적응식 정속 주행 시스템(Adaptive Cruise Control, ACC), 자동 긴급 제동 시스템(Autonomous Emergency Braking System, AEB) 등과 같은 다양한 자율주행 시스템이 등장하였다.[1] 이로 인하여 차량의 전자제어 시스템의 종류 및 복잡도가 증가하였다. 또한, 센서, 제어기 액추에이터 등이 기하급수적으로 증가하였고, 복잡한 알고리즘에 대한 처리가 증가하였다.

자율주행 자동차는 인지오류, 판단 오류, 행동 오류 등에 의해 사고가 발생할 수 있다.[2] 실제로 2016년 테슬라의 자율주행 자동차의 사망사고가 발생한 이후, 자율주행 자동차의 사고가 지속적으로 발생하고 있으며, 2018년 3월 우버의 자율주행 자동차가 보행자를 사망하게 하는 사고 등 안전사고 및 인명사고가 발생한 사례가 있다. 자동차에 탑재되는 E/E (Electrical/Electronic) 시스템의 오류로 인한 사고를 예방하고자 SW 및 HW의 설계사양 정의, 시스템 통합 및 검증 등을 다루는 자동차 기능 안전 국제 규격인 ISO 26262가 발표되었다.[3]

그러나 최근 시스템 내 SW 및 HW의 고장이 없는 상황에서도 갑작스러운 주변 환경의 변화로 인하여 인지 센서가 장애물을 미인식 또는 오인식하거나 SW의 비중이 증가함에 따라 알고리즘에 의해 안전이 위협받는 문제가 발생하였다. 이러한 위험은 기존의 ISO 26262의 기능안전에서 다루는 범위를 벗어나는 문제이다. 이를 극복하기 위하여 ISO/DIS 21448 SOTIF 표준이 발표되었다.[4]

최근 모빌아이에서는 자율주행 자동차의 사고를 예방할 수 있는 RSS(Responsibility Sensitive Safety) 모델을 제시하였다.[5] RSS 모델은 자율주행 자동차의 과실여부를 판단하고, 안전을 보장하기 위한 화이트박스 수학적모델을 제안한다. 또한 RSS 모델은 다양한 주행 시나리오에 대해 안전거리를 정의하며, 위험한 상황을 정의하고, 위험한 상황을 회피하기 위한 적절한 반응을 제시한다.

1.2 관련연구

본 연구와 관련된 기존 연구를 SOTIF 및 RSS 등의 키워드로 검색한 결과 SOTIF와 RSS 단독으로 수행한 연구가 다음과 같이 존재하였다.

SOTIF에 대한 연구로는 먼저 Kirovskii, O. M. et al.(2019)는 ISO 26262와 ISO/PAS 21448을 통합하는 방법으로 개별 산출물을 매칭을 이용하여 통합하는 연구를 수행하였다.[6] 하지만 단순히 개별 산출물을 매칭하는 수준의 통합에 국한되었다. Feth et al.(2018)는 자동차의 기본적인 안전을 다루는 단계를 제안하였으며, 각 단계별 ISO 26262와 ISO/PAS 21448에 대응하여 설명하였다.[7] Rau, P. et al.(2019)는 SOTIF를 분석하는데 필요한 시나리오 도출 프레임워크 개발, 접근, 분석 방법을 제안하였다.[8] 하지만 시나리오를 실험하기 위한 시뮬레이션 수행에 대한 부분은 다루지 않았다.

RSS 모델과 관련하여 수행된 논문은 다음과 같다. Zhu, M. et al.(2018)은 SH-NDS (Shanghai Naturalistic Driving Study) 데이터를 기반으로 기존의 차량 추종 모델을 보정하여 상하이에서 사용하기에 적합한 차량 추종 모델을 식별하였다. 이를 통해 미시적 교통 시뮬레이션에 대한 적합성을 확인하였다.[9] Xu, X. et al.(2021)은 SH-NDS 데이터의 차량추종 시나리오를 기반으로 위험한 상황을 추출하여 RSS 모델을 NSGA-II 알고리즘을 사용하여 보정하였다. 그 결과 보정 전의 모델이나 인간 운전자에 비해 보정 후 모델의 안전 성능이 증가함을 확인하였다.[10] 하지만 특정 지역(상하이)에서 관측된 자료를 가지고 적용을 하였기 때문에 일반화

를 하는 데 한계가 있다. Li L. et al.(2018)은 교통 안전과 효율을 유지하기 위한 자동차 추종 방법에 대해 새로운 충돌 방지 전략을 제시하였다.[11] Liu, S. et al.(2021)은 RSS가 안전 보증 모델로서 여러 자율주행 알고리즘의 안전 성능을 보장하기 위해 적용이 가능함을 확인하였다. 또한 차량의 끼어들기 상황에서 RSS 모델이 미치는 영향을 TCC(time-to-collision)가 3초 미만인 끼어들기 시나리오 기반으로 평가를 하였으며, RSS 모델이 인간 운전자와 ACC보다 뛰어난 것을 확인하였다.[12] Zhao, C. et al.(2019)는 차량 간 협상을 도입하여 차선 변경 성능을 향상시키는 한편 제한된 도로 자원의 활용도를 높여 효율적이고 합리적으로 이용할 수 있음을 확인하였다.[13] 차량 간 협상을 위해서는 차량 간 (vehicle to vehicle, V2V) 통신 기술이 선행되어야 한다는 전제를 포함한다. RSS 모델을 가변화각 카메라에 적합한 모형을 개발하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.[14]

1.3 문제정의 및 논문구성

RSS 모델과 SOTIF는 자율주행 자동차의 안전을 위해 비교적 최근에 제안되었다. 따라서 아직까지 각각에 대한 연구가 미비하며, 4단계 이상의 자율주행 자동차를 실현하기 위해서는 자율주행 안전 모델인 RSS와 시스템 고장이 아닌 상황에서의 위험을 예방할 수 있는 SOTIF의 통합이 필요하지만, 현재까지 RSS 모델과 SOTIF를 통합한 연구는 전무하다. RSS 모델과 SOTIF의 통합을 통하여 자율주행 자동차로 인한 사고를 예방함으로써 자율주행 자동차의 안전성을 확보하고, 신뢰성을 높이는 데 기여할 수 있을 것이다.

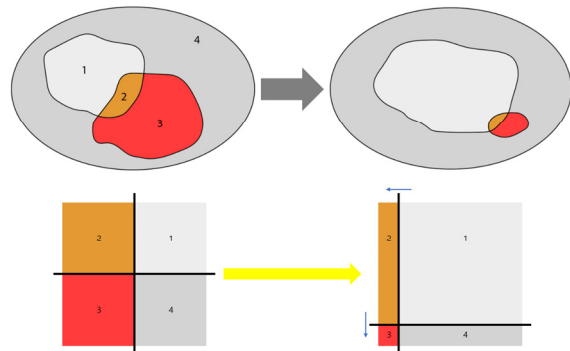
본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 2장에서는 SOTIF의 정의 및 개념에 대해 서술하고, 3장에서는 RSS 모델의 정의 및 필요성에 대해 서술한다. 4장에서는 RSS 모델과 SOTIF의 통합 방법에 대해 논하고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

2. ISO/DIS 21448 (SOTIF) 기반 개념 설계

2.1 ISO/DIS 21448 (SOTIF) 정의 및 분석

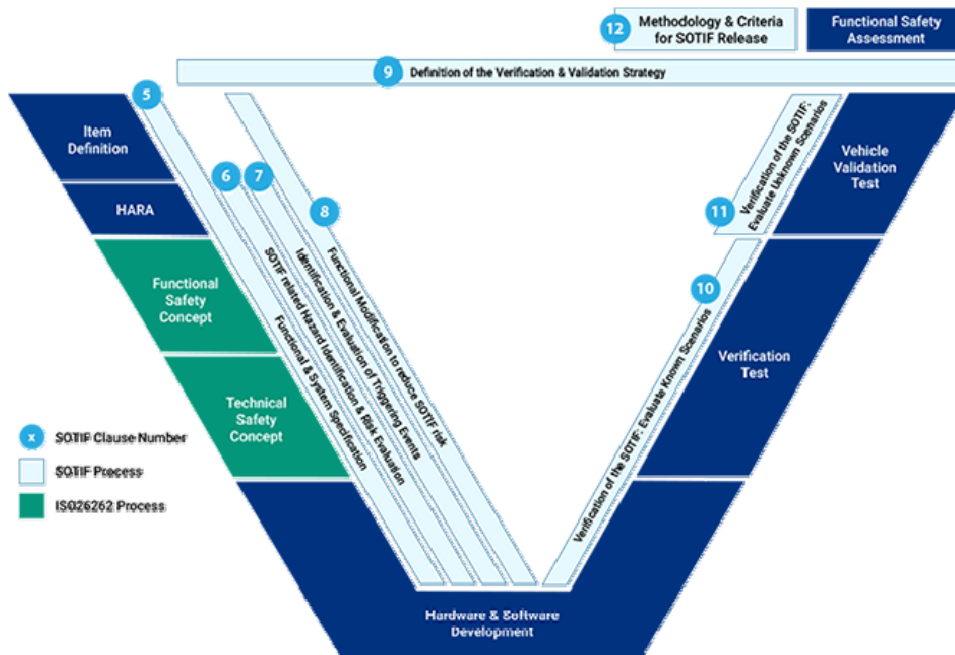
ISO/DIS 21448 (SOTIF)는 시스템 내 SW나 HW의 결함이나 고장이 없는 상황에서도 갑작스러운 주변 환경 변화로 인하여 인지 센서의 미인식 또는 오인식이 발생하는 등의 신뢰성 저하 문제를 다루는 기능안전 표준이다.

SOTIF는 크게 시나리오를 알고 있으며, 안전한 상황 (area 1); 시나리오는 알고 있지만, 위험한 상황 (area 2); 시나리오는 모르지만, 안전한 상황 (area 4); 시나리오도 모르고, 안전하지도 않은 상황 (area 3)과 같이 4영역으로 구분된다. SOTIF를 통해 area 3에서 시나리오를 식별하여 area 2로 변환하고, 다시 area 2를 area 1의 영역으로 변환한다. 결론적으로 area 2와 area 3을 최소화하는 동시에 area 1의 영역을 최대화 하는 것이 목적이다. 그림 1은 앞서 설명한 SOTIF의 개념과 목적을 보여주고 있다.



[Figure 1] Concept and purpose of SOTIF

그림 2는 V 모델에서 ISO 26262와 SOTIF 프로세스와의 관계를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 SOTIF는 시스템 성능에 대한 요구사항부터 시작하여, V모델 전반에 걸쳐 수행이 이루어진다.

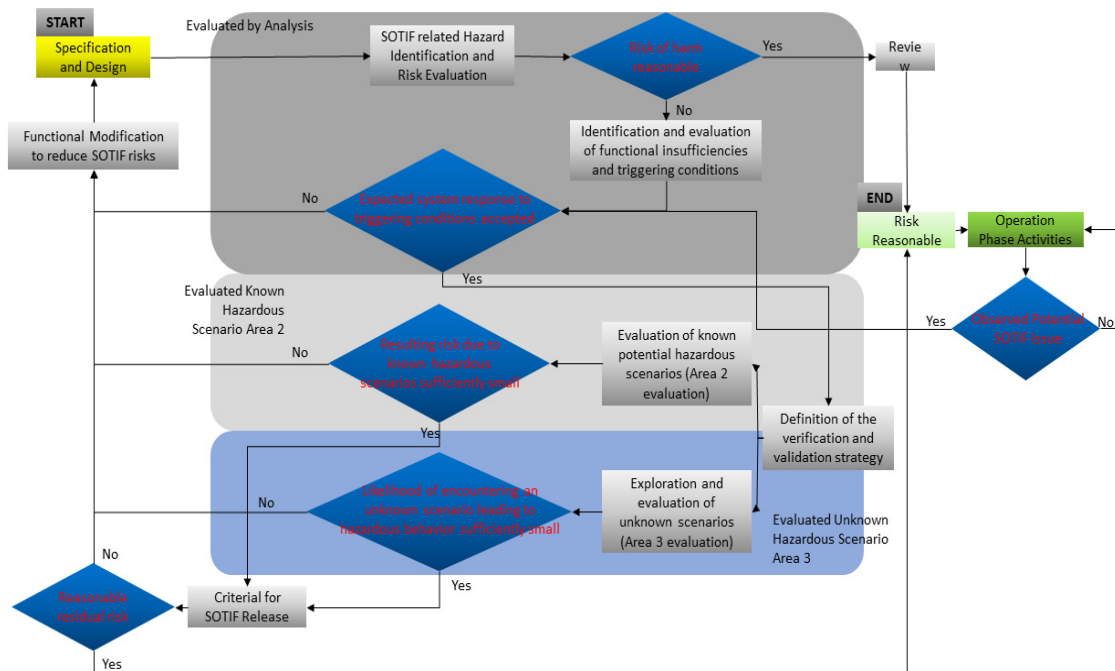


[Figure 2] Relationship between ISO 26262 and SOTIF in the V model[4]

2.2 ISO/DIS 21448 (SOTIF)수행 내용 및 방법

그림 3에서 보여주는 것처럼 SOTIF 프로세스는 크게 3단계로 구분된다. 먼저 첫 번째 단계는 그림

3의 진한 회색 박스로 나타낸 evaluate by analysis에서는 기능과 시스템 사양, use case, scene, 시나리오 등을 정의하는 단계이며, FMEA,



[Figure 3] SOTIF Process

FTA, HAZOP, STAP 등을 활용하여 위험원을 식별하고 검증한다. 두 번째 단계는 그림 3의 연한 회색 박스로 나타낸 것과 같이 식별된 area 2의 시나리오를 기반으로 test case를 도출하며, 도출된 test case를 바탕으로 평가를 한 후 안전 목표에 달성하였는지를 확인하는 단계이다. 마지막으로 세 번째 단계는 그림 3의 파란색 박스와 같이 완성된 시스템의 테스트 등을 기반으로 알지 못하는 시나리오에 대한 평가 및 안전성을 검증한다.

2.3 SOTIF와 관련된 위험원 확인

성능에 영향을 미칠 수 있는 외부요인으로는 역광, 저조도, 갑작스러운 조도의 변화, 비, 눈, 안개, 오염, 황사 등이 존재한다. 표 1은 조건별 끼치는 영향에 대해 나타내고 있다.

<Table 1> Effect of each condition

분류	원인	영향
광원	역광	• 이미지 센서의 광포화로 인한 장애물을 오인식 또는 미인식
	낮은 조도	• 장애물 감지 불가로 인한 미인식
날씨	비	• 빗방울에 의한 왜곡으로 인한 미인식 또는 오인식 • 차선의 미인식 또는 오인식
	눈	• 시야 차단으로 인한 장애물 및 차선을 오인식 또는 미인식
	안개	• 짧은 가시거리로 인한 장애물 및 차선을 오인식 또는 미인식
도로 상태	곡선로	• 전방의 차량을 옆 차선의 차량으로 오인식
	경사로	• 광고판에 있는 사람 그림을 보행자로 오인식
	결빙	• 보이지 않는 도로의 결빙으로 인한 통제 불가 가능성
	노면 반사	• 왜곡된 이미지로 인한 장애물 오인식
외부 환경	진흙	• 시야 차단으로 인한 장애물 및 차선의 오인식 또는 미인식

표 1에서 보여주는 바와 같이 다양한 원인으로 인해 장애물을 미인식하거나 오인식하는 문제가 발생할 수 있으며, 이러한 문제는 SW나 HW의 고장과는 관계없이 의도치 않은 위험을 유발한다.

3. RSS 모델 적용의 필요성

3.1 RSS 모델의 정의 및 특성 분석

자율주행 자동차를 운용하는 데 있어서 안전을 보장하는 것은 자율주행 자동차의 신뢰성에 있어서 매우 중요하며, 자율주행 자동차 제조사들의 주요 관심사이다. 최근 모빌아이에서 발표한 RSS 모델은 자율주행 자동차의 안전보장 및 사고 발생 시 책임 소재를 가리기 위하여 모빌아이에서 제시하는 해석 가능한 화이트박스 수학 모델로, 다양한 주행 시나리오에 대해 안전거리를 정의하고 있으며, 위험한 상황을 정의하고, 정의된 위험한 상황을 회피하기 위한 적절한 반응을 제시하고 있다. 이를 위하여 표 2에서와 같이 RSS 모델은 5가지 규칙을 구성하고 있다.

<Table 2> The Rules of RSS Model and Related Definition

규칙	정의	설명
안전 거리	정의 1	같은 방향으로 주행하는 두 차량의 안전거리에 대해 정의
	정의 2	서로 마주보고 다가오는 두 차량의 안전거리에 대해 정의
	정의 3	종방향에 대한 위험 상황 및 위험 임계값 정의
	정의 4	종방향에 대한 적절한 반응 정의
끼어들기	정의 5	횡방향 속도 정의
	정의 6	횡방향 안전거리에 대해 정의
	정의 7	횡방향 위험 상황 및 위험 임계 시간에 대해 정의
	정의 8	횡방향에 대한 적절한 반응에 대해 정의
	정의 9	종방향 및 횡방향 모두에 대한 위험 상황 및 위험 임계 시간
	정의 10	위험 상황에 대한 적절한 대응 정의
	정의 11	단순한 예측에 대한 설명
	정의 12	회피 이동에 대한 설명
	정의 13	적절한 대응을 위한 추가적인 회피 노력 설명
	통행 권한	정의 14

	정의 15	다른 구조의 두 경로에 대한 횡방향으로 적절한 반응에 대해 정의
	정의 16	다른 구조의 두 경로에 대한 종방향 순서에 대해 정의
	정의 17	다른 구조의 경로에 대한 종방향 안전거리에 대해 정의
	정의 18	다른 구조의 경로에 대한 종방향으로 적절한 반응에 대해 정의
	정의 19	비구조도로를 고려한 차량의 궤적에 대해 정의
	정의 20	궤적 충돌에 대해 정의
	정의 21	제동 및 정상 주행으로 가능한 궤도에 대해 정의
	정의 22	비구조도로에서의 안전거리, 위험 상황, 위험시점 및 적절한 대응 방안에 대해 설명
제한된 시야	정의 23	제한된 시야에서 노출 시간에 대한 정의
	정의 24	불합리한 속도로 인한 불합리한 상황에 대해 정의
	정의 25	부적절한 행동으로 인한 불합리한 상황에 대해 정의
	정의 26	제한된 시야에서 절적인 반응에 대해 정의
충돌 회피		앞선 규칙들은 무엇이 위험한 상황이고 적절한 대응이 무엇인지 식별하기 위한 공식적인 정의를 제공하지만, 규칙 5는 앞선 정의들을 기반으로 하나 이상의 규칙을 위반하지 않는 한 충돌을 회피할 수 없을 정도로 위험한 상황이 갑자기 발생했을 수 있는 시나리오를 다룸

RSS 모델은 가장 단순한 형태인 단일 차선에서 종방향으로 주행하는 상황을 가정하여 정의하고, 이를 발전시켜 나가는 방식으로 모델을 정의하고 있다. RSS 모델에서 정의하는 종방향에 대한 안전거리는 다음의 식과 같이 나타난다.[5]

$$d_{min}^{long} = \left[v_r \rho + \frac{1}{2} a_{max, accel} \rho^2 + \frac{(v_r + \rho a_{max, accel})^2}{2a_{min, brake}} - \frac{v_f^2}{2a_{max, brake}} \right]_+ \quad (1)$$

$$d_{min}^{lat} = \mu + \left[\frac{v_1 + v_{1, \rho}}{2} \rho + \frac{v_{1, \rho}^2}{2a_{min, brake}^{lat}} - \left(\frac{v_2 + v_{2, \rho}}{2} \rho - \frac{v_{2, \rho}^2}{2a_{min, brake}^{lat}} \right) \right]_+ \quad (2)$$

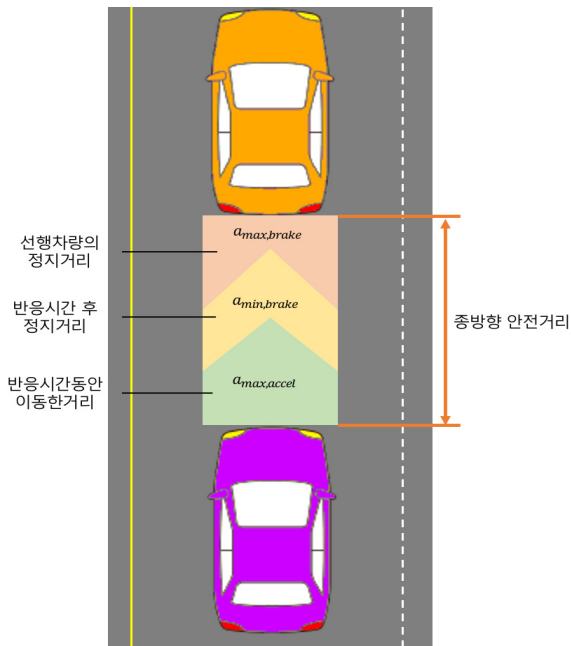
식 (1)은 종방향에 대한 안전거리를 구하는 식을

나타내며, 식 (2)는 횡방향에 대한 안전거리를 나타낸다. 여기서 $[x]_+ := \max\{x, 0\}$ 으로 정의하며, v_1, v_2 는 각각 좌측과 우측 차량을 나타내며, $v_{1, \rho} = v_1 + \rho a_{max, accel}^{lat}, v_{2, \rho} = v_2 - \rho a_{max, accel}^{lat}$ 로 정의한다. 표 3는 식 (1)과 식 (2)에서 사용한 각 변수에 대한 정의를 보여주며, 그림 3과 그림 4는 각각 RSS에서 정의하는 종방향과 횡방향 안전거리의 개념을 보여준다. 그림 4에서 주황색 영역은 앞 차량이 감속을 하여 이동한 거리를 나타낸다. 녹색 영역은 뒤 차량의 반응 시간 동안 가속도에 의해 이동한 거리를, 노란색 영역은 반응 시간 후 충돌하지 않기 위해 완전히 멈출 때까지의 감속하여 이동한 거리를 나타낸다. 그림 5에서 녹색 영역은 두 차량이 횡방향으로 가속하며 이동하는 거리를 나타내며, 노란색 영역은 충돌하지 않기 위해 차량이 감속하며 이동하는 거리를 나타낸다. 주황색 영역은 두 차량이 횡방향으로 충돌하지 않기 위한 최소 간격을 나타낸다.

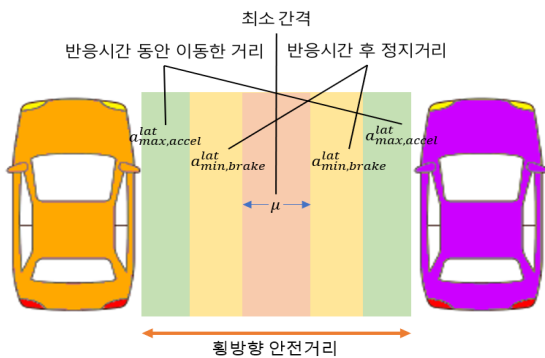
<Table 3> RSS safety distance variable

변수명	정의
v_f	앞 차량의 속도
v_r	뒤 차량의 속도
ρ	반응 시간
$a_{max, brake}$	앞 차량의 감속도
$a_{max, accel}$	반응 시간 동안 뒤 차량의 가속도
$a_{min, brake}$	뒤 차량의 감속도
μ	최소 여유 간격
v_1, v_2	두 차량의 횡방향 속도
$a_{max, accel}^{lat}$	횡방향 가속도
$a_{min, brake}^{lat}$	횡방향 감속도

만약 종방향과 횡방향의 안전거리가 $d^{lat} < d_{min}^{lat}$ 와 $d^{long} < d_{min}^{long}$ 의 조건을 동시에 만족한다면, 최소 안전거리를 위해하기 때문에 두 차량은 위험한 상태에 놓여 있다고 할 수 있다.[15] 따라서 자율주행 자동차가 RSS 안전거리를 유지한다면, 자율주행 자동차는 안전성을 확보할 수 있다.



[Figure 4] Longitudinal safe distance



[Figure 5] Lateral safe distance

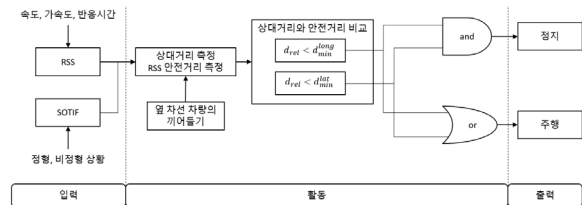
3.2 RSS 모델의 필요성

2.3절에서 서술한 의도하지 않은 위험을 발생시키는 다양한 원인의 시나리오에 대한 위험원을 분석하고, 분석한 위험원에 대하여 RSS의 수학적 모델을 활용하여 시나리오 예측을 적용함으로써 발생 가능한 위험을 감소시키는 동시에 안전성을 높일 수 있다. 예를 들어 2.3절의 표 1에서 날씨의 영향 중 안개가 낀 상황을 가정해보자. 안개로 인하여 시야가 제한됨으로 RSS 모델에서 4번째 규칙인 제한된 시야를 적용하여 속도를 낮추어 시야 밖에서 갑작스럽게 출몰할 수 있는 장애물을 대비하여 천천히 주행하는 것을 선택할 수 있다. 이처럼 각 상황

에 대한 적합한 RSS 모델을 선택하고 통합함으로써 위험을 회피하는 데 도움을 준다.

4. RSS와 ISO/DIS 21448 (SOTIF)의 통합 설계 방법

자율주행 차량 주행 시 사고를 방지하기 위한 최소 안전거리를 제시하는 RSS 모델과 SOTIF를 통합하기 위해서는 SOTIF 운용 시 비정형 상황에 대하여 정의하여야 한다. SOTIF 기반의 비정형 상황은 표 1에서 서로 다른 조건들을 조합함으로써 정의할 수 있다. 그림 6은 RSS와 SOTIF의 적용 절차를 보여준다. RSS 모델과 SOTIF 기반의 비정형 상황을 입력받아 상대 차량과의 상대 거리와 RSS 안전거리를 계산한다. 상대거리와 안전거리를 비교하여 만약 $d_{rel} < d_{min}^{long}$ 과 $d_{rel} < d_{min}^{lat}$ 를 동시에 만족하면 위험한 상황이므로 자율주행 차량 그림 7에서 c_1 은 속도를 줄여 멈춰야 한다. 만약 그렇지 않다면 속도를 유지하여 주행을 진행한다.

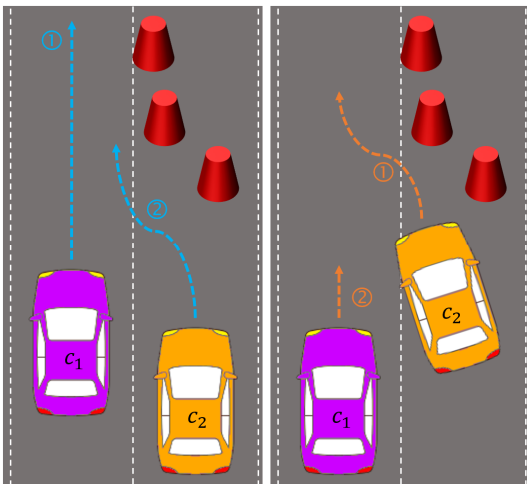


[Figure 6] Application process of RSS and SOTIF

본 논문에서는 그림 7에서와 같이 c_1 차량을 기준으로 SOTIF 기반의 비정형 상황으로 옆 차선 전방에 장애물 발생으로 인한 해당 차선의 차량이 갑작스러운 차선을 변경하는 것을 가정하였으며, 이러한 위험한 상황에서 안전하게 대응하는 방법에 대해 논의하였다. 그림 8은 그림 7에서 제시하는 일련의 과정을 순서도를 통하여 과정을 제시하며, 시간선 분석과 대응하여 시간별 절차를 보여주고 있다.

두 차량은 각자의 차선으로 정상적 주행하고 있는 도중에 옆 차선에 장애물이 발생한다. 이 장애물

로 인하여 옆 차선의 차량 c_2 은 갑작스럽게 차선 변경을 시도한다. 이때 c_1 은 c_2 와의 종방향 및 횡방향 RSS 안전거리를 판별하여 현재 상대 차량과의 거리가 안전거리보다 크다면 그림 7의 왼쪽, 현재의 주행 상태를 유지하며, 만약 상대 거리가 안전거리보다 작다면 그림 7의 오른쪽, 감속 및 긴급제동을 수행한다. 이후 위험 요소가 해결이 되고 안전거리를 확보하게 되면, 다시 정상 주행을 수행한다.



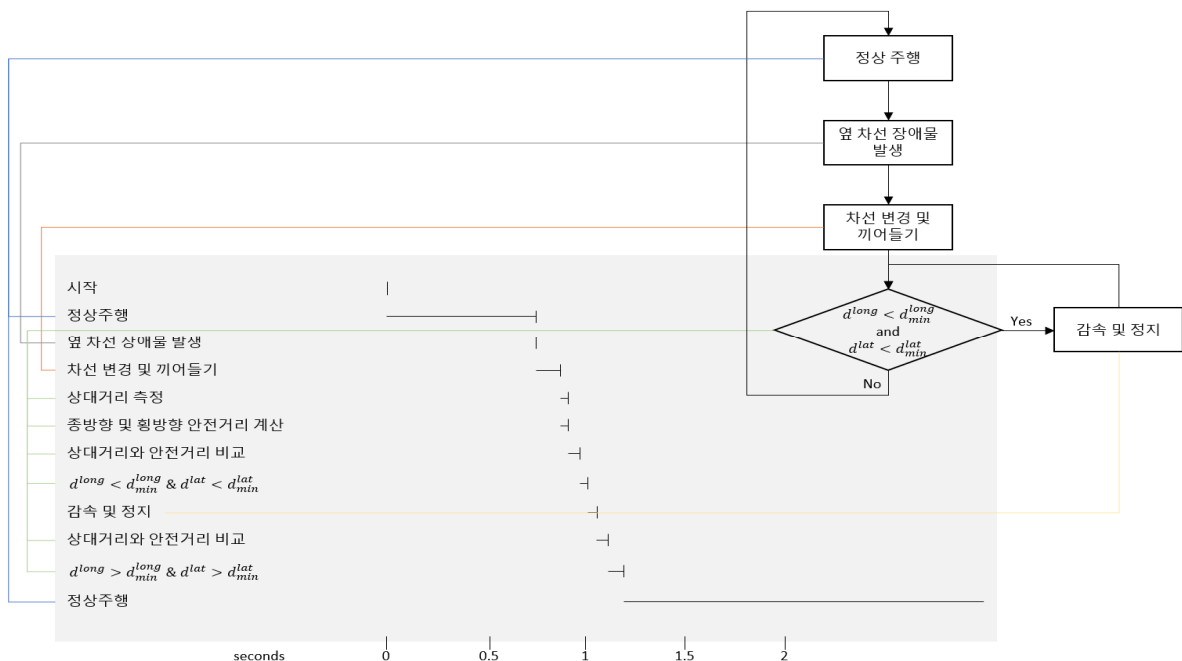
[Figure 7] Schematic plan for integrated of RSS and SOTIF

표 4는 식 (1)을 활용하여 안전거리를 측정하기 위하여 사용한 변수값을 나타낸다. 선행 차량의 감속도는 8 m/s^2 이며, 자율주행 자동차의 반응시간은 0.2 s 로 설정하였다.[16] 자율주행 자동차의 가속도와 감속도는 5.05 m/s^2 로 설정하였으며, 이 값은 제네시스사의 GV80 3.5T 모델의 가속도 값을 사용하였다.

<Table 4> Variable value definition

변수명	값
ρ	0.2 s
$a_{\text{max, brake}}$	8 m/s^2
$a_{\text{max, accel}} = a_{\text{min, brake}}$	5.05 m/s^2

표 5는 선행 차량과 자율주행 차량의 속도별 최소 안전거리를 나타낸다.



[Figure 8] Timeline analysis for integration of RSS model and SOTIF process

<Table 5> Safety distance for each velocity

안전거리 [m]	선행 차량의 속도 [km/h]											
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
자율주행 차량의 속도 [km/h]	30	6.07	2.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	12.53	9.15	4.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	20.52	17.14	12.80	7.50	1.23	-	-	-	-	-	-
	60	30.03	26.66	22.32	17.01	10.74	3.51	-	-	-	-	-
	70	41.07	37.70	33.36	28.05	21.78	14.55	6.35	-	-	-	-
	80	53.64	50.27	45.93	40.62	34.35	27.12	18.92	9.76	-	-	-
	90	67.74	64.37	60.03	54.72	48.45	41.22	33.02	23.86	13.73	2.64	-
	100	83.37	79.99	75.65	70.35	64.08	56.85	48.65	39.48	29.36	18.27	6.21
	110	100.52	97.15	92.81	87.50	81.23	74.00	65.80	56.64	46.51	35.42	23.36
	120	119.21	115.83	111.49	106.19	99.92	92.68	84.48	75.32	65.19	54.10	42.05
	130	139.42	136.04	131.70	126.40	120.13	112.89	104.69	95.53	85.40	74.31	62.26

5. 결론

오늘날 자율주행 기능을 갖춘 차량의 보급이 증가함에 따라 이와 관련된 안전에 대한 관심도 높아졌으며, SW나 HW의 결함으로 인한 고장으로 발생하는 안전사고 및 인명사고를 예방하고자 SW 및 HW의 설계사양 정의, 시스템 통합 및 검증 등을 다루는 ISO 26262가 제정되었다. 하지만 최근 SW나 HW의 결함이 없음에도 갑작스러운 외부 환경 변화로 인한 사고에 대한 이슈가 대두되었으며, 이는 ISO 26262에서 다루는 범위를 벗어난 문제이다. 따라서 시스템의 고장 외적인 원인으로 발생하는 위험에 대응하고자 ISO/DIS 21448 SOTIF가 발표되었다.

본 논문에서는 모빌아이에서 발표한 자율주행 자동차의 안전을 보장하는 동시에 사고 시 과실 책임을 판단할 수 있는 RSS 모델과 SOTIF를 통합하는 방법에 대해 연구하였다. 이를 통해 SOTIF 영역의 위험 시나리오를 정의하고, RSS 모델의 안전거리 확보를 통하여 돌발 상황에 대한 안전성 및 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 본 논문에서 정의한 모델을 자율주행용 시뮬레이터를 활용하여 다양한 주행 환경

에 대한 시뮬레이션을 통하여 모델의 안전성과 적합성을 확인하는 연구를 수행할 것이다.

사 사

본 연구는 2021년도 한국산업기술평가관리원 가변초점기능을 갖는 자율주행차량용 영상카메라 기술개발 사업 지원에 의한 연구임[20014470].

References

1. Li, J., Cheng, H., Guo, H., and Qiu, S. (2018). Survey on artificial intelligence for vehicles. *Automotive Innovation*, 1(1), 2-14
2. Wang, J., Zhang, L., Huang, Y., and Zhao, J., "Safety of autonomous vehicles" *Journal of advanced transportation*, 2020
3. ISO26262: Road Vehicles – Functional Safety, International Organization for Standardization, 2018
4. ISO/DIS 21448: Road Vehicles – Safety of the intended functionality, International

- Organization for Standardization, 2021
5. Shalev-Shwartz S., Shaked S., and Shashua, A., On a formal model of safe and scalable self-driving cars, arXiv preprint arXiv: 1708.06374, 2017
 6. Kirovskii, O. M. and Gorelov, V. A., Driver Assistance System: Analysis, Tests and the Safety Case. ISO 26262 and ISO PAS 21448, Institute of Physics conference, 2019
 7. Feth, P., Adler, R., Fukuda, T., Ishigooka, T., Otsuka, S., Schneider, D., Uecker, D., and Yoshimura, K., Multi-aspect Safety Engineering for Highly Automated Driving, International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security, Springer, Vol 11093, 2018
 8. Rau, P., Becker, C., and Brewer, J., Approach for deriving scenarios for safety of the intended functionality. In Proc. ESV p1-15, 2019
 9. Zhu, M., Wang, X., and Tarko, A., A Modeling car-following behavior on urban expressways in Shanghai: A naturalistic driving study, Transportation research part C: emerging technologies, 93, p425-445, 2018
 10. Xu X., Wang X., Wu X., Hassanin O., et al., Calibration and evaluation of the Responsibility-Sensitive Safety model of autonomous car-following maneuvers using naturalistic driving study data, Transportation research part C: emerging technologies 123:102988, 2021
 11. Li, L., Peng, X., Wang, F. Y., Cao, D., and Li, L., A situation-aware collision avoidance strategy for car-following, IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica 5(5):1012-1016, 2018
 12. Liu, S., Wang, X., Hassanin, O., Xu, X., Yang, M., Hurwitz, D., and Wu, X., Calibration and evaluation of responsibility-sensitive safety (RSS) in automated vehicle performance during cut-in scenarios, Transportation research part C: emerging technologies 125:103037, 2021
 13. Zhao, C., Li, Z., Li, L., Wang, X., Wang, F. Y., and Wu, X., A Negotiation-based Right-of-way Assignment Strategy to Ensure Traffic Safety and Efficiency in Lane Change, 2019
 14. Kim, M. J., Yu, S. H., Kim, T. H., Kim, J. U., and Kim, Y. M., On the Development of Autonomous Vehicle Safety Distance by an RSS Model based on a Variable Focus Function Camera, Sensors, 21(20), 6733, 2021
 15. Wishart, J., Como, S., Elli, M., Russo, B., Weast, J., Alterkar, N., James, E., and Chen, Y., Driving safety performance assessment metrics for ads-equipped vehicles, SAE Technical Paper 2.2020-01-1206, 2020
 16. Gassmann, B., Oboril, F., Buerkle, C., Liu, S., Yan, S., Elli, M.; Alvarez, I., Aerrabotu, N., Jaber, S., van Beek, P., Iyer, D., and Weast, J. Towards standardization of AV safety: C++ library for responsibility sensitive safety. 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE, 2019