

## 차량의 회전 영역 산출 알고리즘 개발에 관한 연구

박재홍<sup>1\*</sup> · 윤친주<sup>1</sup> · 김영록<sup>2</sup> · 성정곤<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원

<sup>2</sup>한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

<sup>3</sup>한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임연구위원

## Development of a Vehicle Turning Path Algorithm for Collision Prevention

Jaehong Park<sup>1\*</sup> · Chunjoo Yoon<sup>1</sup> · Young Rok Kim<sup>2</sup> · Jung-Gon Sung<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Department of Highway & Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do 10233, Korea

<sup>2</sup>Research Fellow, Department of Highway & Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do 10233, Korea

<sup>3</sup>Senior Research Fellow, Department of Highway & Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do 10233, Korea

### [요약]

본 연구에서는 차량의 주행 속도, 조향각 등을 이용하여 차량의 회전 특성(회전 반지름, 회전 영역)을 산출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘의 적용이 가능한 시설을 교차로와 주차장으로 한정하고, 승용자동차와 대형자동차를 분석 대상으로 선정하였다. 분석 결과, 승용차는 최대 조향각 21.5°에서 7.36m, 대형자동차는 최대 조향각 41.9°에서 11.55m의 회전 반지름이 산출되었다. 또한, 결과의 검증을 위해 사용한 시뮬레이션 값과 비교하면, 10cm 이하의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제안한 방법론에서 산출된 결과의 정확도를 확보한 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안한 방법론은 도시부 도로 및 주차 공간에서 활용할 수 있는 기초 연구로써 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

### [Abstract]

This study developed an algorithm to calculate vehicle turning radii in curved sections to prepare for potential collision scenarios. Using this algorithm, a system was proposed to detect and preemptively display sections where collisions may occur. The target areas for applying the developed algorithm were set as urban intersections and building parking lots. The analysis showed that the turning radius for passenger cars was 7.36 m at a maximum steering angle of 21.5°, while for large vehicles, the turning radius was 11.55 m at a maximum steering angle of 41.9°. Additionally, when compared with results from commercial software, the difference was less than 10 cm, confirming the accuracy of the algorithm. This study provides a foundational contribution to vehicle collision prediction and is expected to be further applied in urban traffic management and parking systems.

**색인어** : 회전 알고리즘, 회전 반경, 회전 영역, 상충, 주차장

**Keyword** : Turning Path Algorithm, Turning Radius, Vehicle Envelope, Conflict, Parking Lot

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.11.3375>



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.

**Received** 22 August 2024; **Revised** 26 September 2024

**Accepted** 11 October 2024

**\*Corresponding Author; Jaehong Park**

**Tel:** +82-31-910-0656

**E-mail:** jhpark@kict.re.kr

### I. 서론

도로를 주행하는 차량은 교통사고가 발생할 수 있는 잠재적인 위험 상황을 예방하기 위하여, 인접 차로를 주행하는 차량 또는 도로 시설물의 설치 위치 등에 주의하여 주행한다. 잠재적 위험 상황은 상충으로 표현되며, 차량이 물리적으로 충돌하는 상황의 전(前) 단계를 의미한다[1]. 상충은 2개 이상의 교통류가 동일한 공간을 사용하거나, 차량의 경로 변경 또는 차량의 회전이 요구되는 구간에서 발생한다[2]-[3]. 이러한 구간은 교차로(서로 다른 방향에서 진입하는 교통류가 교차하는 공간)와 주차장(차량의 주정차를 위한 공간)이 대표적이며, 교차로에서는 교차 상충, 합류 상충, 분류 상충이 발생하며[4], 주차장에서는 주차 또는 이동하는 차량 및 시설물(주차장 기둥 등)과의 상충이 발생한다[5]-[7]. 상충을 분석한 기존 연구에서는 상충을 발생시키는 주요 변수로써 차량의 속도를 제시하고 있으며, 곡선부 또는 교통 상황이 유사한 환경에서도 속도에 따라 상충이 발생할 수 있는 확률이 다르게 나타나는 것으로 제시하고 있다[8]-[11].

본 연구에서는 주행 차량의 속도, 조향각 등을 이용하여 차량의 회전 특성을 산출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 회전 특성은 차량이 회전하는데 필요한 회전 반지름과 회전 영역을 의미한다. 분석 구간은 교차로와 건물의 주차장으로 한정하였으며, 분석 대상은 교차로 및 주차장을 주로 이용하는 차량(승용자동차, 대형자동차)으로 선정하였다. 본 연구에서 개발한 알고리즘을 통해 분석된 차량의 회전 특성 결과는 상용 프로그램에서 제시하는 수치와 비교하여 정확도를 검증하였다. 회전 반경은 측정 위치를 고려하여 3가지로 산출하였고, 최대 조향각, 주행 속도에 따른 회전 영역을 산출하여 비교하였다[12],[13].

또한, 본 연구에서는 개발된 알고리즘을 적용하여 상충이 발생할 수 있는 구간을 사전에 검지하고 표출할 수 있는 시스템을 추가적으로 제안하였다. 교통의 효율성, 안전성 측면을 종합적으로 고려하는 업무에 사용할 수 있도록 설계되었으며, 잠재적 위험성을 객관화하여 판단하는데 활용할 수 있는 기능을 구성하였다.

### II. 회전 영역 산출 방법론

도로설계기준에는 차량의 안전한 주행을 위한 최소 차로 폭이 제시되어 있으며, 표 1에는 설계기준자동차별 최소 회전 반지름을 각 나라별로 정리하여 제시하였다. 일반적으로 차량의 길이가 길어질수록 차량의 회전을 위한 최소회전반지름이 크며, 차량의 길이와 축간 길이가 길어질수록 최소 회전반지름이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

설계기준자동차의 최소 회전반지름은 속도 15km/h 이하에서 측정한 값으로써, 차량의 속도를 높여 주행하는 경우에는 추가적인 여유 폭이 필요하다. 특히, 차로의 중심을 유지하며 직선 구간을 주행하는 경우에는 상충 문제가 발생할 가능

성이 낮으나, 곡선부에서는 차량의 원심력, 구심력에서 나타나는 전륜과 후륜의 궤적 차이 등으로 인하여 차량 회전을 위한 주행 폭이 직선부보다 크게 난다.

따라서, 곡선부에서는 인접하여 주행하는 차량 또는 시설물과의 상충이 발생할 수 있으므로, 차량의 주행 속도, 차폭, 차량 길이 및 차량이 회전하고자하는 영역을 산출하여 상충을 예방해야 한다[14]-[16]. 차량의 회전 반지름과 회전 영역을 산출 할 수 있는 방법으로써, 최소회전 반지름의 산출식을 이용할 수 있다. 주행 속도가 커질수록 최소 회전에 필요한 회전 반지름이 크게 나타나며, 주행 도로의 횡방향미끄럼마찰계수, 편경사를 이용하여 산출한다.

표 1. 설계기준자동차에 따른 최소 회전반지름(m)  
Table 1. Minimum turning radius(m) by design vehicle

Country	Design vehicle	Vehicle length (m)	Wheel base length (m)	Minimum turning radius (m)
Japan	Passenger car	4.7	2.7	6.0
	Small vehicle	6.0	3.7	7.0
	Semi-trailer	16.5	4.0(front) / 9.0(back)	12.0
Germany	Passenger car	4.7	2.7	5.8
	Truck	6.0	3.5	6.1
	2-Axle truck	12.0	6.5	12.0
	3-Axle truck	9.5	4.9	9.8
	Bus	11.0	5.6	11.2
	Articulated-bus	17.3	5.6/6.2	10.5~11.3
Korea	Tractor-trailer	18.0	5.0/5.3	12.5
	Passenger car	4.7	2.7	6.0
	Small vehicle	6.0	3.7	7.0
	Large vehicle	13.0	6.5	12.0
	Semi-trailer	16.7	4.0(front) / 9.0(back)	12.0

$$R = \frac{V^2}{127 \times (i + f)} \tag{1}$$

Where,  $R$  : Minimum Radius(m)  
 $V$  : Design Speed(km/h)  
 $i$  : Rate of Superelevation(%)  
 $f$  : Side Friction Factor

다만, 20km/h 이하의 저속으로 주행하는 경우에는 차량의 축간 거리(WB), 조향각( $\theta_c$ ) 등이 회전에 큰 영향을 미치므로, 저속 주행시에 차량의 회전 반지름( $r_o$ )을 산출하는 방안을 수식 2에 제시하였다.

$$r_o = \frac{l_w}{\sin(\theta_c)} \tag{2}$$

Where,  $r_o$  : Turning Radius(m)  
 $l_w$  : The Length of WheelBase(m)  
 $\theta_c$  : The Steering Angle( $^\circ$ )

또한, 표 2에는 기존 연구와 지침에서 제시한 내용 중에서, 차량 회전 반지름과 회전 영역을 산출하기 위해 본 연구에서 사용한 변수를 정리하여 제시하였다.

본 연구에서는 차량의 회전 반지름을 적용할 수 있는 지역을 도시부로 한정하였다. 또한, 도시부에서 주로 주행하는 차종(승용 자동차, 대형 자동차)을 대표 차량으로 선정하였으며, 도시부의 제한 속도를 고려하여 50km/h 이하에 적용할 수 있도록 범위를 선정하였다. 따라서, 20km/h 이하의 저속 상황에서는 수식 1을 사용하고, 20km/h를 초과하고 50km/h 이하에서는 수식 2를 사용하여 차량의 회전 반지름 및 회전 영역을 산출하였다.

표 2. 회전 영역 산출을 위해 필요한 변수  
Table 2. Variables list for calculating of turning radius(m)

Item	Abbreviation	Unit
Overall length	$l_A$	m
Front	$l_F$	m
Wheelbase	$l_W$	m
Rear	$l_R$	m
Vehicle height	$h$	m
Vehicle width	$w_A$	m
Tread width	$w_T$	m
Ground clearances	$h_G$	m
Steering angle	$\theta$	deg
Lock to lock time	$t_L$	s
Speed	$V$	Km/h
Superelevation	$i$	%
Lateral friction	$f$	$\mu_s$
Lateral acceleration	$a$	$m/s^2$

회전 반지름 및 회전 영역을 산출하기 위한 기준점( $p_0$ )을 중심으로, 차량 전륜의 중심( $p_f$ )과 후륜의 중심( $p_r$ )을 설정하였다. 또한, 회전 영역을 산출하기 위하여 앞내민부 좌( $p_1$ )-우( $p_4$ ), 전륜 좌( $p_2$ )-우( $p_3$ ), 후륜 좌( $p_5$ )-우( $p_8$ ) 및 뒷내민부 좌( $p_6$ )-우( $p_7$ )를 설정하였다. 단, 본 연구에서는 차량이 회전할 수 있는 최대 조향각( $\theta_c$ )과 전륜의 회전각은 동일한 각도를 유지하며, 후륜은 각도의 변화 없이 고정된 상태를 유지하는 것으로 가정하였다. 또한, 전륜 및 후륜의 접지면 길이( $w_T$ )는 전폭과 동일한 것으로 설정하였으며, 그림 1에는 포인트별 회전 영역을 제시하였다.

차량의 회전에 따른 회전 영역을 검토하기 위해 기준점을 고려하여 3개의 궤적을 산출하고 차량이 통행할 수 있는 궤적을 산출하였다. 3개의 주행 궤적은 Wall to Wall Turning Radius, Centerline Turning Radius, Inner to Inner Turning Radius로 구분된다. Wall to Wall Turning Radius는 차량 앞내민 부분에서 회전에 의해 형성되는 원호,

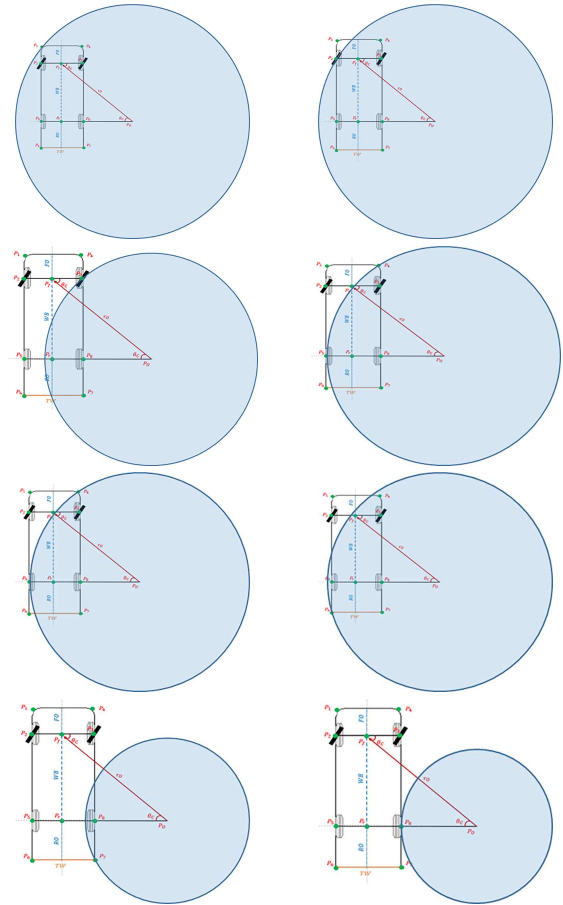


그림 1. 회전 영역 산출을 위한 위치 개념  
Fig. 1. Concept of position for calculating turning radius

Centerline Turning Radius는 조향 바퀴의 방향이 고정되는 지점에서 전륜의 중심부에서 형성되는 원호, Inner to Inner Turning Radius는 차량이 회전하면서 형성하는 원호 중 회전 반지름이 가장 짧은 원호를 의미한다[17]. 또한, 차량의 회전 중심은 Centerline Turning Radius를 이용하여 산출하였으며, 회전 영역은 회전 반지름이 최대인 원호와 최소인 원호의 차이를 이용하여 산출하였다. 그림 2에는 회전 산출 알고리즘을 통해 나타나는 각각의 원호, 차량 회전 반지름 및 차량 최내외측의 영역을 제시하였다.

본 연구를 위해 사용된 분석 차량은 전장과 전폭을 고려하여 승용차와 대형자동차로 구분하였다. 승용차의 전장은 4.7m, 전폭은 1.7m, 최대 조향각은 21.5°이며, 대형자동차의 전장은 12.34m, 전폭은 2.59m, 최대 조향각은 41.9°인 차량을 분석 대상으로 사용하였다. 표 3에는 승용자동차, 대형자동차의 제원을 제시하였다. 또한, 최소 회전 반지름을 산출하는데 사용된 도로 환경 변수 및 값을 표 4에 제시하였다. 특히, 차량의 최대 조향각 (Maximum Steering Angle)은 차량의 회전 반지름에 직접적인 영향을 미치므로, 최대 조향각을 기준으로 1°씩 변화시켜 회전 반지름 및 회전량을 산출하였다.

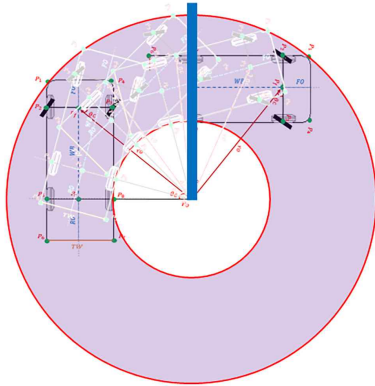


그림 2. 최대 조향각을 이용한 회전 영역 산출 사례  
 Fig. 2. Calculating for turning radius using maximum steering angle(Passenger car)

표 3. 회전 반지름의 산출을 위해 필요한 변수  
 Table 3. Variables list for calculating of turning radius (m)

Vehicle specification	Passenger car	Large bus
Overall vehicle length (m)	4.70	12.34
Front (m)	0.80	1.92
Wheelbase (m)	2.70	7.71
Rear (m)	1.20	2.71
Vehicle width (Tread width) (m)	1.70	2.59
Maximum steering angle (°)	21.5	41.9

표 4. 도로 환경 변수 및 값  
 Table 4. Variables and value for road environment condition

Item	Design speed (Km/h)		
	30	40	50
Super-elevation	0.02	0.04	0.06
Lateral friction	0.28	0.23	0.19
Lateral acceleration	2.94	2.65	2.45

주행 속도, 차량 조향각, 차축 길이 등을 사용하여, 차량의 회전 영역을 위한 산출하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 주행하는 도로의 기하구조 정보를 입력자료로써 사용하며, 도시부의 주행 속도(50km/h)에서 적용이 가능하도록 하였다. 또한, 조향각을 기준으로 차량의 회전 여부( $V_{\theta}$ )를 판단하였으며, 설계기준에 제시된 차량 길이를 적용(승용 자동차:4.7m, 대형 자동차:12.34m)하여 차량의 크기를 구분하였다. 속도에 따라 회전 영역의 산출에 필요한 변수가 상이하므로, 임계 속도(50km/h, 15km/h)에 따른 회전 영역을 산출하고, 상층 여부를 판단하였다. 그림 3에는 회전 영역의 산출을 위한 알고리즘을 제시하였다.

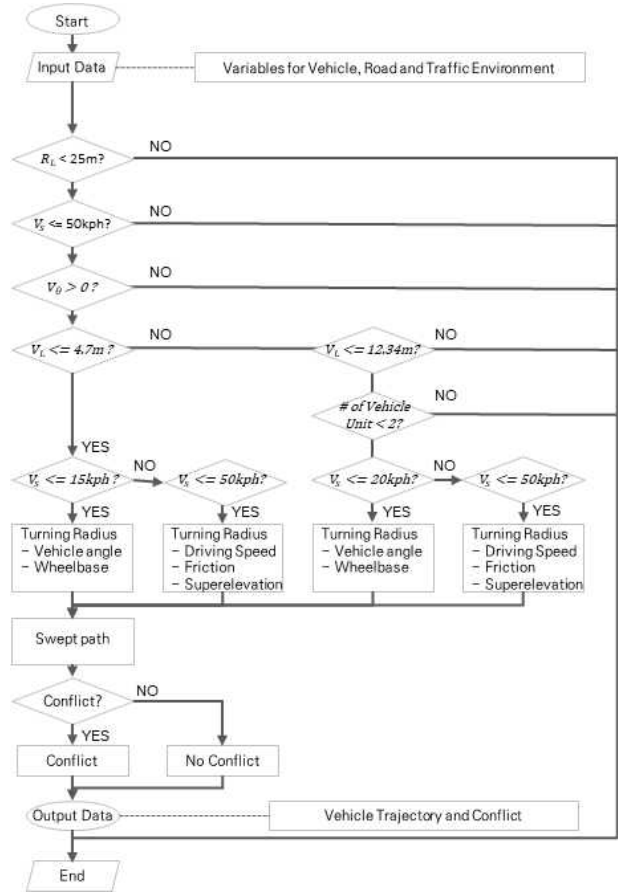


그림 3. 차량 회전 영역 산출을 위한 알고리즘  
 Fig. 3. Algorithm for calculating on turning radius and swept path

### III. 회전 영역 산출 결과 및 검증

본 연구에서 산출한 회전 반지름 및 회전 영역에 대한 정확도는 시뮬레이션 틀에서 산출되는 값과 비교하였다. 비교대상으로 선정한 시뮬레이션 틀은 교차로, 회전교차로, 주차장 등과 같은 도로 시설물에서, 실제 차량의 거동을 시뮬레이션 하는 기존 연구에서 사용되었다[18],[19]. 따라서, 도로를 주행하는 실제 차량의 거동을 유사하게 모사한 것으로 판단할 수 있으므로, 본 연구에서도 시뮬레이션 틀에서 산출된 결과와 비교 분석하여 결과에 대한 정확도를 검증하였다.

설계기준자동차를 승용차와 대형자동차로 구분하였으며, 측정 지점에 따른 3가지 궤적(Inner to Inner, Centerline, Wall to Wall)으로 구분하였다. 속도(승용자동차 :  $V \leq 15km/h$ , 대형자동차 :  $V \leq 20km/h$ )를 구분하여 변수를 입력하였으며, 차량의 회전 반지름을 산출한 결과를 표 5, 표 6에 제시하였다.

분석 결과, 회전 중심선(Centerline)에 따른 회전 반지름의 크기를 분석하면, 조향각이 작아질수록, 회전 반지름의 크

표 5. 주행 속도, 조향각에 따른 회전 반경 변화(승용차,  $V \leq 15km/h$ )

Table 5. The various of turning radius by operation speed and steering wheel(Passenger car,  $V \leq 15km/h$ )

Steering wheel angle (°)	Turning type	Turning radius (m)			Swept path (m)		
		Pre-programed	Estimated	Difference	Pre-programed	Estimated	Difference
21.5	Inner to Inner	6.00	6.12	0.12	2.36	2.34	0.02
	Centerline	7.36	7.37	0.01			
	Wall to Wall	8.36	8.46	0.10			
20.5	Inner to Inner	6.37	6.48	0.11	2.32	2.31	0.01
	Centerline	7.71	7.71	0.00			
	Wall to Wall	8.69	8.80	0.11			
19.5	Inner to Inner	6.77	8.56	1.79	2.30	0.61	1.69
	Centerline	8.09	8.09	0.00			
	Wall to Wall	9.07	9.17	0.10			
18.5	Inner to Inner	7.22	9.00	1.78	2.26	0.58	1.68
	Centerline	8.51	8.51	0.00			
	Wall to Wall	9.48	9.58	0.10			

표 6. 주행 속도, 조향각에 따른 회전 반경 변화(대형자동차,  $V \leq 20km/h$ )

Table 6. The various of turning radius by operation speed and steering wheel(Bus,  $V \leq 20km/h$ )

Steering wheel angle (°)	Turning type	Turning radius (m)			Swept path (m)		
		Pre-programed	Estimated	Difference	Pre-programed	Estimated	Difference
41.9	Inner to Inner	7.30	6.18	1.12	6.51	6.43	0.08
	Centerline	11.55	11.54	0.01			
	Wall to Wall	13.81	12.62	1.19			
40.9	Inner to Inner	7.61	6.52	1.09	6.42	6.34	0.08
	Centerline	11.78	11.78	0.00			
	Wall to Wall	14.03	12.86	1.17			
39.9	Inner to Inner	7.93	9.32	1.39	6.33	3.80	2.53
	Centerline	12.02	12.02	0.00			
	Wall to Wall	14.26	13.13	1.13			
38.9	Inner to Inner	8.26	9.75	1.49	6.25	3.68	2.57
	Centerline	12.28	12.28	0.00			
	Wall to Wall	14.51	13.43	1.08			

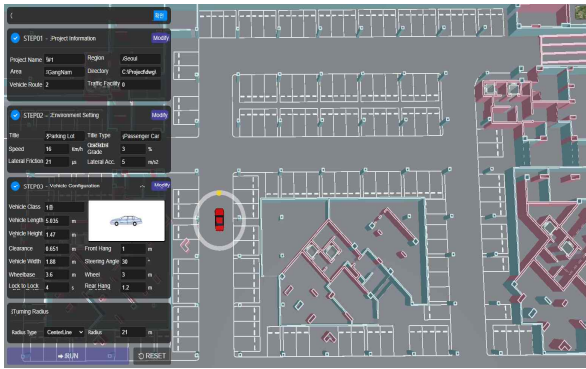
기가 크게 나타났다. 승용차는 최대조향각 21.5°에서 7.36m, 최대조향각 20.5°에서 7.71m, 최대조향각 19.5°에서 8.09m, 최대조향각 18.5°에서 8.51m의 회전 반지름이 산출되었다. 대형자동차는 최대조향각 41.9°에서 11.55m, 최대조향각 40.9°에서 11.78m, 최대조향각 39.9°에서 12.02m, 최대조향각 38.9°에서 12.28m의 회전 반지름이 산출되었다. 또한, 차량의 중심점에서 회전 반지름을 산출한 경우에는 조향각에 관계 없이 1cm 이하의 궤적 차이를 나타내었지만, Inner to Inner, Wall to Wall의 궤적은 1m 이상의 궤적 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

차량의 회전 영역에 대한 분석 결과, 최대 조향각에서 2° 이하로 회전하는 경우(승용 자동차 : 19.5° 이하, 대형 자동차 : 39.9° 이하)에는 차중에 관계 없이 1m 이상의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 따라서, 본 연구에서 개발한 차량

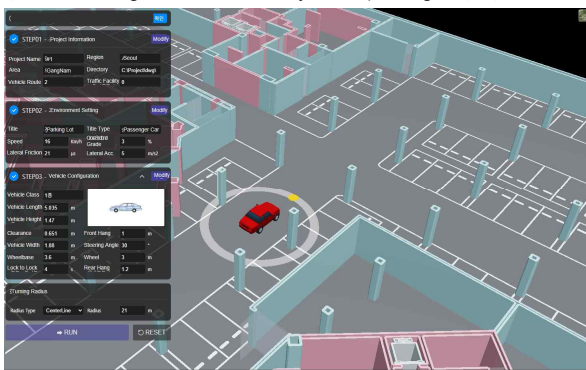
의 회전 영역 산출 방법론은 저속의 상황에서 최대 조향각으로 회전하는 경우에 적합한 것으로 결론된다. 본 연구에서는 차량 크기 및 회전 조향각에 따른 회전 반지름과 회전 영역을 산출하였다. 기존 연구에서는 실차의 궤적과 시뮬레이션 궤적을 비교하는 연구에 중점을 두었으나, 본 연구에서는 차량의 제원에 따른 회전 영역을 검토하고, 도로교통의 운영적, 안전적 측면을 확보한 알고리즘을 제시했다는 부분에서 연구 결과의 우수성과 차별성을 가지고 있다.

#### IV. 회전 영역 산출 알고리즘의 활용

본 연구에서는 설계기준자동차에 따른 회전 반지름 및 회전 영역을 산출하는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘



(a) 주차장 상층 분석을 위한 화면 설계(2D)  
 (a) Screen design for conflict analysis on parking lot(2D)



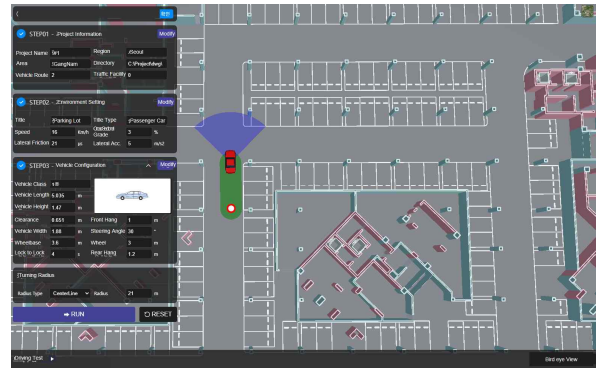
(b) 주차장 상층 분석을 위한 화면 설계(3D)  
 (b) Screen design for conflict analysis on parking lot(3D)

그림 4. 차량 회전 영역 분석 시스템 설계(안)

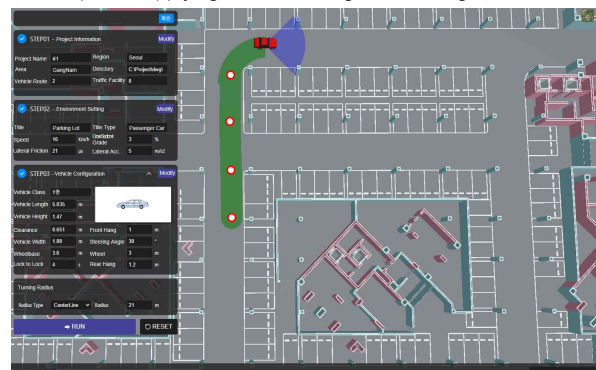
Fig. 4. Proposal for system design for vehicle turning path

은 주차장 등의 공간을 이용하는 차량을 위한 동선 계획을 수립하는데 활용이 가능하다. 그림 4에는 차량 회전량을 산출하는 알고리즘을 적용하여, 차량의 위치 및 경로에 따라 상충 발생 여부를 분석할 수 있는 시스템을 제시하였다. 연구에서 제안한 시스템은 3단계(1단계 : 입력부, 2단계 : 평가부, 3단계 : 표출부)로 구분되어 운영되며, 입력부는 차량 주행 궤적 산출을 위한 제원 입력, 평가부는 속도에 따른 회전 반경 산출식을 적용하여 차량의 회전량 도출, 표출부는 계산부에서 산출한 결과를 이용하여 상충 여부를 판단하고 표출하는 것으로 구성되었다. 그림 5에는 차량의 회전 영역을 산출하고 결과를 적용한 화면을 제시하였다.

회전 영역 산출 알고리즘이 반영된 시스템은 특정 공간(주차장 등)에서 발생할 수 있는 상충 상황을 분석하는데 활용이 가능하다. 또한, 회전 영역에 대한 정량적인 수치를 제공하므로, 건물의 진입로, 진출로, 회전 공간 및 주차면의 이용을 위한 차량의 동선의 정량적인 검토에 활용할 수 있다.



(a) 차량의 회전 영역 분석 결과 적용 사례(직선부)  
 (a) Example for applying vehicle turning result(Straight)



(b) 차량의 회전 영역 분석 결과 적용 사례(곡선부)  
 (b) Example for applying vehicle turning result(Curve)

그림 5. 차량 회전 영역 산출 결과 적용 및 표출

Fig. 5. Display for vehicle turning result

## V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 차량의 회전에 나타나는 회전 반지름 및 회전 영역을 사전에 검토할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 알고리즘을 활용할 수 있는 시스템의 구성과 활용성을 제시하였다. 회전하는 차량의 회전 영역을 산출하기 위하여 차량 속도, 최대 조향각, 축간 거리 등을 활용하여 산출식과 알고리즘을 개발하였다. 분석 결과, 승용차는 최대 조향각 21.5°에서 회전 반지름은 7.36m, 대형자동차는 최대 조향각 41.9°에서 회전 반지름은 11.55m로 산출되었다. 본 연구의 결과와 시뮬레이션에서 측정된 결과를 비교하면, 승용차는 2cm, 대형자동차는 8cm의 차이가 나는 것으로 분석되었다. 다만, 최대 조향각과 2° 이상의 차이가 발생하는 경우에는 m급 이상의 오차가 발생하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 도출한 연구 결과를 발전시키기 위한 향후 연구는 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 차량의 회전 성능을 평가할 수 있는 알고리즘을 제시하고, 시뮬레이션에서 산출한 결과와 비교하였다. 다만, 차량의 회전 반지름, 회전 영역을 산출하여 적합성을 검증 하였지만, 실제 차량의 주행 궤적과 비교하지 못한 한계가 있다. 향후 연구에서는 실차 실험의 환경을 구축하여 연구 결과의 적합성을 제시할 수 있어야 한다.

둘째, 차량의 회전에 관한 다양한 거동을 모사할 필요성이 있다. 본 연구에서는 차량이 주행하는 궤적을 원호의 형태만으로 분석하였으나, 차량의 다양한 동적인 움직임을 반영할 수 있도록 모델링을 해야 한다.

본 연구의 결과는 차량의 회전이 필요한 구간에서 발생하는 상충 여부를 판단하는 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 24년 주요 사업인 “미래 교통 스마트 인프라 핵심기술개발 (4/4)”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), *Highway Safety Manual*, Washington, DC: Author, 2010.
- [2] X. Xu, X. Wang, and R. Shi, “Examining Causal Factors of Traffic Conflicts at Intersections Using Vehicle Trajectory Data,” *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2024.02.011>
- [3] Z. Zheng, S. Ahn, D. Chen, and J. Laval, “The Effects of Lane-Changing on the Immediate Follower: Anticipation, Relaxation, and Change in Driver Characteristics,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 26, pp. 367-379, January 2013. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.10.007>
- [4] MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), Rules about the Road Structure and Facilities Standards Explanation, Author, Sejong, Ordinance of the MOLIT No. 706, March 2020.
- [5] KoROAD (Korea Road Traffic Authority), Annual Traffic Accident Analysis 2017, Author, Wonju, 2018.
- [6] KoROAD (Korea Road Traffic Authority), Annual Traffic Accident Analysis 2018, Author, Wonju, 2019.
- [7] H. B. Jang, J. W. Oh, and E. S. Jeon, A Study on Resolution of Parking Conflict in Apartment Complex, Korea Transport Institute, Sejong, Research Report No. 21-08, March 2022.
- [8] A. R. van der Horst, M. C. Thierry, J. M. Vet, and A. K. M. Fazlur Rahman, “An Evaluation of Speed Management Measures in Bangladesh Based upon Alternative Accident Recording, Speed Measurements, and DOCTOR Traffic Conflict Observations,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 46, pp. 390-403, April 2017. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.05.006>
- [9] I. Kristoffersson, C. Große, and L. Olsson, “Traffic Safety versus Accessibility: Investigating Resistance against Speed Limit Reductions,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 179, 103920, January 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103920>
- [10] R. Elvik, “A Re-Parameterisation of the Power Model of the Relationship between the Speed of Traffic and the Number of Accidents and Accident Victims,” *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 50, pp. 854-860, January 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.012>
- [11] A. E. af Wählberg, “Speed Choice versus Celeration Behavior as Traffic Accident Predictor,” *Journal of Safety Research*, Vol. 37, No. 1, pp. 43-51, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2005.10.017>
- [12] J. Park, M. H. Noh, C. Yoon, D. G. Yun, and J. G. Sung, “A Study on the Driving Width of Articulated Bus for Roundabout,” *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 23, No. 6, pp. 205-212, December 2021. <https://doi.org/10.7855/IJHE.2021.23.6.205>
- [13] M. S. E. Carrasco, “Turning Vehicle Simulation: Interactive Computer-Aided Design and Drafting Application,” *Transportation Research Record*, Vol. 1500, pp. 1-11, 1995.
- [14] J. Choi and W. H. Kim, “Development of a Dynamic Offtracking Model on Horizontal Curve Sections (Based on Articulated Vehicles),” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 20, No. 3, pp. 115-128, June 2002.
- [15] K. Y. Kim and D. Y. Kim, “Position of Stop Line according to the Left Turn Trajectory at Intersection,” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 18, No. 3, pp. 29-39, June 2000.
- [16] D. Lim and Y.-I. Lee, “Study on Calculation of Bus Stop Set-Back Distance to Operate Turn Lanes at Intersection on Median Exclusive Bus Lanes,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 15, No. 6, pp. 80-89, December 2016. <https://doi.org/10.12815/kits.2016.15.6.080>
- [17] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 7th ed. Washington, DC: Author, 2018.
- [18] D. Pecchini and F. Giuliani, “Experimental Test of an Articulated Lorry Swept Path,” *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 139, No. 12, pp. 1174-1183, December 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000601](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000601)
- [19] J. Park, M. H. Noh, D. G. Yun, and Sung, J. G., “A Study

on Lane Widening for Right Turning of Articulated Bus Considering the Driving Trajectory,” *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 23, No. 3, pp. 37-44, June 2021. <https://doi.org/10.7855/IJHE.2021.23.3.037>



**박재홍 (Jaehong Park)**

2009년 : 한양대학교 교통시스템공학  
학사

2011년 : 한양대학교 교통공학 석사

2021년 : 한양대학교 교통물류공학  
박사

2011년~현 재: 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석  
연구원

※ 관심분야 : 도로안전, 도로관리



**윤천주 (Chunjoo Yoon)**

2000년 : 인하대학교 자원공학 학사

2002년 : 인하대학교 지리정보공학  
석사

2022년 : 서울시립대학교 교통공학  
박사

2011년~현 재: 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석  
연구원

※ 관심분야 : 측량, GIS, 도로안전



**김영록 (Young Rok Kim)**

1999년 : 원광대학교 도시공학과 학사

2001년 : 서울시립대학교 교통공학과  
석사

2013년 : 서울시립대학교 교통공학과  
박사

2011년~현 재: 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

※ 관심분야 : 교통운영 및 설계, 교통안전



**성정곤 (Jung-Gon Sung)**

1986년 : 경희대학교 토목공학 학사

1992년 : 위스콘신대 도로교통 석사

1997년 : 위스콘신대 도로교통 박사

1997년~현 재: 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임  
연구위원

※ 관심분야 : 도로안전, 도로관리