

평면교차로 세미트레일러 우회전 도류로 설계 모형 개발

Development of Right-Turning Channelization Design Models of Semitrailer at Intersections

이 석 기 Lee, Suk-Ki
박 순 용 Park, Soon Yong
정 준 화 Jeong, Jun-Hwa
이 주 환 Lee, Ju-Hwan

정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 (E-mail : oksk@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : psy@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 선임연구위원 (E-mail : jhjeong@kict.re.kr)
정회원 · (주)유신 도로부 부장 (E-mail : hwan@yooshin.co.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to develop Right-Turning Channelization Design Models of Semitrailer at Intersections by regression of vehicle tracking simulation.

METHODS : Based on the literature review, it was indicated that right-turning channelization design guide of semitrailer is too complex and is not reflected turning speed and approach angle. To verify effectiveness of right turning semitrailer trajectories according to the changing turning speed and approach angle, vehicle tracking simulation was executed. And then, simulation results were analyzed for modeling design elements; minimum turning radius, swept path width, arc length, width of triangle island, of right-turning channelization using regression methods.

RESULTS : When the turning speed is getting higher, minimum turning radius, arc length, width of triangle island increased and the approach angle lower, swept path width, arc length, width of triangle island reduced. The turning radius completely reflected by turning speed.

CONCLUSIONS : In this research, it was investigated how much design elements are changed according to the turning speed and the approach angle of semitrailer. The developed right-turning channelization design models can help engineers to easy and comfortable design at various conditions.

Keywords

right-turning channelization, semitrailer trajectory, channelization design elements, design vehicle, regression

Corresponding Author : Park, SoonYong, Senior Researcher
Highway & Transportation Research Division , Korea Institute of
Construction Technology. 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu,
Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.9100.05 Fax : +82.31.9100.161
E-mail : psy@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Oct, 08, 2013 Revised Oct, 10, 2013 Accepted Mar, 24, 2014

1. 연구배경 및 목적

평면교차로란 도로와 도로 또는 도로와 철로가 서로 교차 또는 접속되는 공간 및 그 내부의 교통시설물을 말하는 것으로 교차로의 기하구조, 운영방법 등에 따라 운

전자가 통행노선을 선정하는 의사결정 지점이 된다. 따라서 교차로는 정상적인 교통의 진행뿐만 아니라 횡단 및 회전 등이 발생하여 도로의 다른 부분보다 복잡하게 운행되고 있어, 사고 및 교통정체가 일어나기 쉽기 때문

에 각별히 신중을 기하여야 하는 곳이다. 즉, 교차로 및 그 인근지역은 안전 및 운영상 특별한 주의가 요구되는 지역이다(건설교통부, 2004).

도로 위를 주행하는 자동차는 매우 다양하며 종류에 따라 제각각 도로를 설계하는 것은 매우 복잡하고 번거로우며, 비용이 과다 소요되기 때문에 국내에서는 네 가지의 설계기준자동차(승용자동차, 소형자동차, 대형자동차, 세미트레일러)를 규정하여 각각의 자동차 주행 특성을 고려한 도로 설계제원을 제시하고 있다.

설계기준자동차는 교차로의 회전반경이나 하중에 따른 포장구조 결정 및 교통량에 따른 차로수 결정과 같은 도로 설계과정에서 해당 시설의 규모(규격)를 결정하는 기준이 된다. 특히 대형자동차와 세미트레일러의 통행이 빈번한 도로에서의 설계기준자동차의 선정에 따른 기하구조 설계는 매우 중요하다. 예를 들어 평면교차로에서의 우회전 도류화 시설(도류로, 삼각교통섬 등)은 교차로가 설치되는 지역적 특성이 지배적이기 때문에 도시부 등의 용지 제약이 심한 교차로는 설계기준자동차를 고려한 최소 규격이 적용될 것이며, 지방지역의 대형차량 통행이 빈번한 교차로는 대형자동차(또는 세미트레일러)를 설계기준자동차로 설정하고 그 제원을 확보할 것이다.

최근 육상 수송량 증대에 따른 물류비용 절감을 위하여 화물자동차의 대형화 경향은 세미트레일러 축수를 6축까지 증가시켰으며 총 중량 40톤 이내에서 각 축중량을 배분시켜 도로 파손을 최소화 시키는 노력을 하고 있다. 하지만 국토해양부(2009)의 세미트레일러 제원은 4축으로 명시되어, 현재 가장 많이 운행되고 있는 5축 세미트레일러와는 차량 제원의 차이로 인한 회전궤적 등의 주행 특성 차이를 보인다. 특히 이러한 차이는 평면교차로 내에서 우회전 각각부 침범 등으로 사고 및 도로 파손의 원인이 된다. 이렇게 설계기준자동차 정립의 중요성에도 불구하고 1979년 도로구조령에 세미트레일러 설계기준자동차가 포함된 이후, 현재까지 1990년 높이를 약 20cm 상향 조정한 것 이외에는, 제원 검토 사례가 없었다(김태호, 2012). 또한 관련 규정에서는 우회전 도류로는 교차로가 위치하는 지역, 교차각, 도로의 기능 등에 따라 서로 다른 평면곡선반경을 사용한다고 명시되어 있지만, 지역적 특성 및 교각 등에 대하여 고려되어 있지 않으며 평면교차로 우회전 도류로의 폭은 곡선반경에 따라 교차각도 90°, 설계속도(회전속도) 15km/h로 교과서적인 경우에 대해서만 그 값을 제시하고 있다. 이와 같이 제시된 제원은 정형적인 90°의 교차각에 대하여만 제시하였기 때문에 다양한 교차각에 대

해 그 적용이 제한적이며, 회전속도(15km/h) 또한 지역적 특성 및 도로 기능(특성)이 반영되어 있지 않아 교차로 설치 지역의 회전속도를 반영한 우회전 감·가속차로 제원 설계에 애로점이 존재하고 있다.

또한 실무에서 평면교차로 설계 시 교차각에 따른 삼각교통섬의 제원 등을 명확히 설계할 수 없는 문제점이 있다. 특이점은 기존 설계에 관한 연구는 회전반경, 회전속도별 도류로의 폭을 제시하였는데(이석기, 2005b, 최재성, 2002), 예각 교차로의 경우 도류로의 폭 뿐만 아니라 교차로 중심에서 삼각교통섬을 지나 도류로 폭까지의 이격거리가 상당하다는 것이다. 이와 같은 특성은 기존 연구 및 실제 설계 시 간과했던 부분이다.

따라서 본 연구에서는 평면교차로 내 우회전 설계제원을 회전속도, 교차각에 따른 삼각교통섬 모퉁이 좌표, 도류로 폭, 최소회전반경, 우회전 각각부 곡선장을 수식화하여 실무 설계자들이 보다 쉽고 명확하게 사용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

연구 수행과정은 국내·외 관련 기준 및 연구문헌 검토를 수행하였으며, 자동차 궤적 설계 프로그램인 Auto Turn 6.1(TransoftSolution社)을 이용하여 5축 세미트레일러의 평면교차로 교차각, 회전속도에 따른 우회전 최소회전반경, 각각부 곡선장, 도류로 폭, 삼각교통섬 좌표 값을 취득하였다. 이후 취득 데이터는 통계프로그램 SPSS를 이

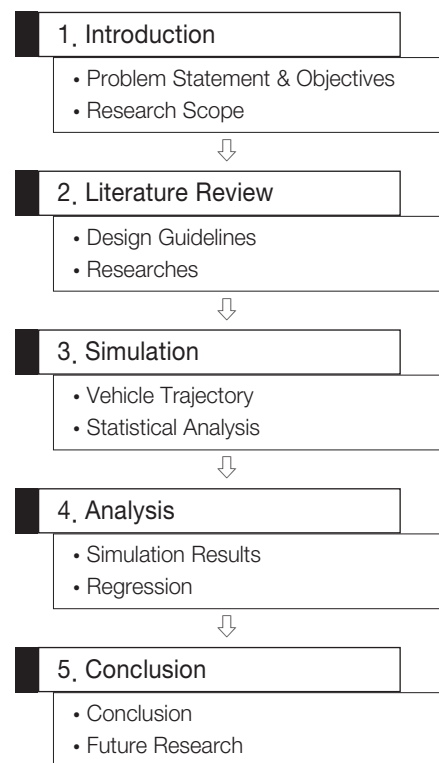


Fig. 1 Process of Research

용하여 설계제원에 대해 회귀분석을 수행하여 모형식을 도출하였다. 세부적인 연구수행과정은 Fig. 1과 같다.

2. 문헌 고찰

2.1. 국내·외 관련 문헌 고찰

국내 도로에 적용되는 설계기준자동차 중 세미트레일러는 견인차 2축, 피견인차 2축인 4축의 형태를 가지고 있다. 견인차의 경우 조향 1축과 구동 1축으로 구성되어 있다. 그러나 화물물류의 대형화에 따라 40ft(12.192m)의 컨테이너를 적재하여 견인함에 따라 안전성과 성능을 고려하여 견인차가 3축의 형태가 주류를 이루어 가고 있다. 각 국가별로 제시된 세미트레일러의 제원은 길이의 차이는 있지만, Table 1과 같이 기본적으로 일본 및 국내 설계기준자동차는 4축이며 미국의 경우 5축을 채택하고 있다. 기존의 국내 설계기준자동차는 일본 설계기준자동차의 제원 및 최소회전반경과 유사한 것으로 나타났다.

Table 1. Comparison of Semitrailer Length

(Unit : m)

	Korea	Japan	U.S.A
Length	16.7	16.5	16.7(WB-15)

Korean Design Vehicle	

Japanese Design Vehicle	

American Design Vehicle (WB-15)	

우회전 도류화는 평면교차로에서 자동차와 보행자를 안전하고 질서있게 이동시킬 목적으로 회전차로, 변속차로, 교통섬, 노면표시 등을 이용하여 상충하는 교통류를 분리시키거나 규제하여 명확한 통행경로를 지시해주는 역할을 수행한다.

평면교차로 우회전 도류화 설계요소에는 우회전 감·가속차로 폭, 길이, 테이퍼, 도류로가 있으며, 도류로의 설계요소에는 도류로 폭, 각각부 반경 등이 있다. 이와 더불어, 도류화 시설에서 중요한 것은 삼각교통섬의 설계이며 이것은 보행자의 안전과 직결되는 설계요소이다.

평면교차로 설계지침(건설교통부, 2004)에서는 도류로 설치에 관한 계산식을 세 개의 원곡선 조합으로 제시하였다. 설계지침에 제시되어 있는 방법을 따라 도류로를 설계할 때, 첫 번째로 외측원 반경(R_0)을 결정하여야 한다. 그러나 지침서에서는 Table 2의 국내설계기준을 참조하여 R_0 를 결정하도록 권장하고 있으나, 다양한 곡선반경 중 어떤 것을 선택해야 하는지에 대한 명확한 근거가 없다. R_0 는 도류로 폭(e) 및 그에 따른 내측원 반경(R_1)을 설정하는 중요한 요소로서 이에 대한 명확한 기준이 없을 경우, 설계자의 경험적 또는 임의적 해석에 의해 외측원 반경, 도류로 폭, 내측원 반경을 결정하게 된다. 이는 정형적 형태의 교차각 90° 인 교차로뿐만 아니라 비정형적인 다양한 교차각에 의한 교차로에서는 적용 값의 적합여부를 알 수 없는 한계가 있다.

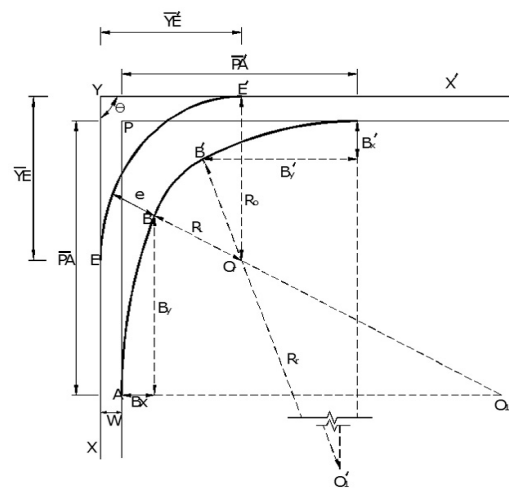


Fig. 2 Width of Channelization

또한 지침서 상에 제시된(Table 1의 국내설계기준) 설계기준자동차, 평면곡선반경 등에 따라 도류로 폭을 제시하고 있으나 기본적인 가정은 교차 도로가 90° 의 직각 교차로에 한정을 시켰으며, 이는 회전속도가 고려된 값이 아니다. 특히, 설계자가 경험적 또는 임의로 도

류로 설계 시 도류로 폭이 큰 값을 적용하게 되면, 승용 자동차 등이 넓은 도류로 차로로 인하여 두 차로로 오인하여 통행할 수 있으며, 이로 인해 교차로 안전통행에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 설계자는 이러한 부분을 주의하여 설계에 반영하여야 한다.

미국 AASHTO(2011) 또한 교차 각도 및 회전속도에 따른 도류로 폭 등의 설계요소 값을 제시하지 않고 있다. 그러나 국내 4축 세미트레일러와 가장 유사한 중형 세미트레일러 WB-15의 도류로 폭은 국내 설계기준 값과 다소 차이가 있다. 곡선반경이 15m까지는 국내의 도류로 폭은 7.0~9.5m, 미국 AASHTO에서는 9.72m를 제시하고 있으며, 곡선반경 14~30m에서는 국내 5.5m, 미국 6.4m를 제시하고 있다. 이와 같은 차이에 대한 명확한 근거는 확인되지 않았으나, 미국의 경우 국내보다는 교차로 부지를 쉽게 확보할 수 있기 때문에 보다 안정적인 여유 폭을 갖고 설계한 것으로 사료된다. 반대로 국내 관련 규정에서는 순수 도류로 폭 외에 도류로 양측에 0.5m의 측대 및 길어깨를 설치하여, 여유 폭을 확보함으로써 해당 설계기준자동차 이외의 주행환경 및 도로 특성을 감안하여 설계한 것으로 판단된다.

Table 2. Width of Channelization According to the Radius

(Unit : m)

Design Turning Radius(m)	Semitrailer	
	Korea	USA ASSHTO(WB-15)
8 이하	9.5	9.72
9~14		
15	8.5	7.2
16	8.0	
17	7.5	
18	7.0	
19~21	6.5	
22	6.0	6.7
23		
24~30	5.5	5.7
31~36	5.0	
37~50	4.5	
51~70	4.0	5.3
71~100		
101 이상	3.5	

2.2. 국내·외 관련 연구 고찰

백종대 외(2001)는 곡선부에서의 Offtracking 산정 모형에 관한 연구를 수행하였으며, 세미트레일러의

Offtracking에 의한 곡선부 폭원산정 시뮬레이션 모형을 개발하였다.

이석기 등(2005)은 우리나라 세미트레일러 제원의 기준 개선에 대하여 실제 대부분 운행 중인 5축 세미트레일러(91.5%)와 도로 관련 규정(구조령, 국토해양부)에서 제시되고 있는 4축 세미트레일러(0.5%)가 도로 평면교차로 설계요소에 미치는 영향에 대하여 제시하였다.

이석기 등(2005a)은 세미트레일러의 회전궤적을 고려한 물방울 교통섬의 설치방안에 대하여 연구를 하였으며 기존 교차로에 비하여 물방울 교통섬은 운전자 및 자동차 주행에 있어서 쾌적성을 제공할 뿐만 아니라 보행자 안전성을 확보할 수 있다고 하였으며, 5축 세미트레일러에 대한 자동차 공학적 수식 및 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 제시하였다.

Kay Fitzpatric 등(2006)은 운영과 안전측면이 고려된 우회전차로 설계에 대하여 연구하였으며 회전반경 크기별 우회전 시점의 속도, 우회전차로 길이별 회전반경 시점에서의 속도 등을 측정하였으며 가장 주목할 만한 것은 우회전 반경별 회전부 중심의 속도측정결과 회전반경이 약 32~34m가 가장 많은 기하구조 조건을 가졌으며 그때의 속도는 약 10~20km/h로 나타났다.

Alfredo Garcia(2007)는 평면교차로에서 본선으로 진입우회전 시 진입각에 따른 시거제약에 관하여 연구하였으며 가장 적합한 진입각은 70°라고 제시하였다.

김용태(2012)는 지방부 평면교차로의 우회전 도류화 설계요소에 대한 연구를 하였으며, 도류로 중심부의 주행속도와 곡선반경과의 연관성을 도출하였다. 또한 곡선반경별 주행속도를 추정하여 주행속도 기반의 도류로 설계제원을 도출하였지만 교차 각도에 대한 고려를 하지 않았으며 비정상적인 75° 이하의 예각교차로에서 발생하는 도류로의 위치가 교차로에서 무한정 멀어지는 문제에 대해서는 언급하지 않았다.

김태호(2012)는 5축 세미트레일러 제원을 반영한 도로설계기준 정립 연구를 하였으며 국내에 등록된 견인차 및 피견인차 축수 및 제원을 분석하였다. 국내에 등록된 견인형 차량의 바퀴 축수는 2012년 현재 총 33,445대 중 3축이 32,251대(96.4%)를 차지하며 피견인차 2축과 결합하면 대부분의 운행차량이 5축 세미트레일러가 됨을 제시하였다. 또한, 기존 4축 세미트레일러와의 제원 차이를 제시하였으나 주행속도가 고려된 기준은 제시하지 못하였다.

3. 시뮬레이션 분석

평면교차로에서 우회전 도류부 설계요소간의 상호 관계를 검토하기 위하여 세미트레일러의 회전궤적 및 도류로 폭을 산출할 수 있는 설계프로그램인 Auto-Turn 6.1을 이용하여 회전각도 및 회전속도 등에 따른 분석을 수행하였다. 이 분석 결과를 기반으로 설계요소상호간의 관계를 회귀분석을 통해 모형식을 개발하였다.

3.1. 차량궤적 시뮬레이션 선택

Auto-Turn 6.1은 포괄적으로 CAD 도면에서 기하구조 및 차량의 속도 등에 따른 차량 회전반경, 완화곡선, 편경사에 따른 주행궤적 등의 평가가 가능하다. 또한 AASHTO 및 기타 국가들의 표준차량의 제원이 탑재되어 있으며, 특수 차량에 대한 제원을 입력하여 평가에 적용할 수 있다. 이는 본 연구에서 적용하고자 하는 세미트레일러의 속도 및 접근각도에 따른 차량궤적을 CAD 도면으로 제공받을 수 있다. 따라서 본 연구의 시뮬레이션 수행은 Auto-Turn 6.1을 이용하여 차량의 궤적 및 곡선장 등의 결과를 도출하였다.

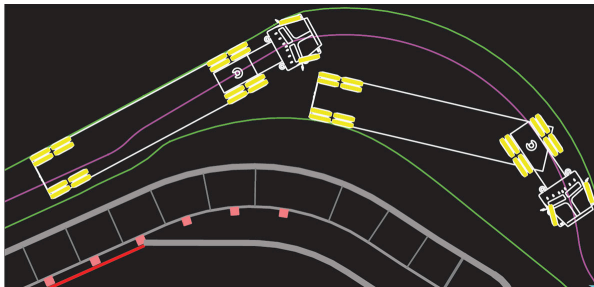


Fig. 3 Vehicle Trajectory of Auto-Turn

3.2. 시뮬레이션 시나리오 구성 및 구현

평면교차로에서 우회전 도류부 시설은 삼각교통섬, 도류로 폭 등으로 구성된다. 도류로 폭은 설계기준자동차 주행특성인 속도에 따라 그 크기가 결정되며, 나머지 제원들은 회전속도, 교차각 등에 영향을 받는다. 본 연구에서는 다양한 설계속도 및 교차각에 따라 세미트레일러의 주행궤적을 분석하여 도류로 폭, 곡선장, 최소회전반경, 삼각교통섬 폭, 중심거리를 산출하였다. 각각의 산출요소는 Fig. 4와 같다.

세미트레일러의 회전궤적, 도류로 폭 등의 계산은 설계프로그램인 Auto-Turn 6.1을 이용하였으며 교차각 및 회전속도에 따라 Table 3에 제시된 시나리오와 같이 총 150회 수행하였다.

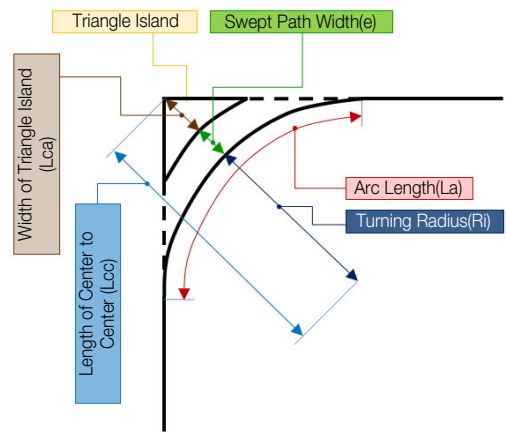


Fig. 4 Design Characteristics of Right Turning Channelization

Table 3. Scenario of Simulation

	Contents	Remark
Approach Angle(°)	30, 45, 60, 75, 90	5Set
Turning Speed(km/h)	5, 10, 15, 20, 25, 30	6Set
Design Elements	R_i (Turning Radius), e (Swept Path Width) L_a (Arc Length), L_{ca} (Center-arc), L_{cc} (Length of center-center)	5Set
No. of Simulation		150Times

Table 4는 회전속도 15km/h, 교차각도 90°에서의 5축 세미트레일러의 설계 값을 예시한 것이며, 이와 같은 방법으로 교차각도 및 회전속도에 따라 시뮬레이션을 수행하여 결과를 도출하였다(Table 5).

Table 4. Results of Simulation (V=15km/h, Angle 90°)

Design Elements	Simulation Results
Minimum Turning Radius (R_i)	
Swept Path Width (e)	
Arc Length (L_a)	
Length of center-center (L_{cc})	

Table 5. Channelization Design Criteria According to the Vehicle Speed and Angle

(Unit : m)

V_{tr} \ A_d	R_i (Minimum Turning Radius)					e (Swpt Path Width)					L_a (Arc Length)					L_{ca} (Width of Triangle Island)					L_{cc} (Length of Center-Center)				
	90	75	60	45	30	90	75	60	45	30	90	75	60	45	30	90	75	60	45	30	90	75	60	45	30
5	4.5	4.1	3.9	3.6	3.2	7.57	7.96	8.14	8.66	8.81	18.9	22.1	25.2	28.4	31.5	5.0	7.7	12.0	19.4	34.5	17.0	19.8	24.1	31.5	46.5
10	4.6	4.2	4.1	3.5	3.2	7.46	7.87	7.97	8.57	8.86	18.9	22.1	25.2	28.4	31.5	5.0	7.7	12.1	19.4	34.5	17.0	19.8	24.1	31.5	46.6
15	4.8	4.4	4.0	3.7	3.3	7.29	7.71	8.06	8.41	8.72	19.0	22.1	25.3	28.4	31.6	5.0	7.8	12.0	19.5	34.6	17.1	19.8	24.1	31.5	46.6
20	3.1	4.6	4.2	3.9	3.5	6.97	7.46	7.86	8.21	8.54	19.0	22.1	25.3	28.5	31.6	5.2	7.8	12.1	19.5	34.6	17.3	19.8	24.2	31.6	46.7
25	10.6	10.2	10.3	10.1	10.0	6.14	6.34	6.53	6.67	6.78	26.4	30.9	35.2	39.6	43.9	7.0	10.5	16.8	27.1	48.1	23.7	27.3	33.6	43.9	64.9
30	20.0	20.0	19.9	19.9	19.9	5.06	5.13	5.18	5.21	5.22	39.4	46.0	52.7	59.7	65.7	10.4	16.1	25.1	40.5	71.9	35.5	41.2	50.2	65.6	97.0

4. 분석 결과

4.1. 자동차 궤적 시뮬레이션 결과

회전속도 15km/h 이하에서의 최소회전반경(Minimum Turning Radius, R_i)은 4.5~4.8m로 크게 변화가 없었으며 25km/h에서 10.6m, 30km/h에서 20.0m로 나타났다. 그 이유는 회전속도 15km/h 이하에서는 속도가 낮아 자동차의 동적거동(원심력 등)이 발생하지 않기 때문이다.

도류로 폭(Swept Path Width, e)은 교차각도가 작아지는 예각이 될수록 커지며 회전속도가 높을수록 작아지는 경향이 있다. 그 이유는 자동차의 속도가 높아질수록 조향각이 작아지고 그에 따라 최소회전반경은 늘어나며 당연히 도류로 폭은 줄어들게 된다. 만약 무리하게 핸들을 조작하면 전도에 이르기 때문에 올바른 설계 값이 아니다.

도류로 우측 각각부의 곡선장(Arc Length, L_a)은 교차각도가 작아질수록, 회전속도가 커질수록 증가하는 것으로 나타났다. 그 이유는 각도가 매우 작아지더라도 자동차가 회전할 수 있는 최소 조향각과 회전반경은 제한적이기 때문에 그에 따른 값들의 변화가 발생한다.

4.2. 시뮬레이션 결과를 이용한 모형식 개발

세미트레이러의 회전속도 및 교차각도 변화에 따른 도류로 설계요소 모형식을 개발하기 위하여 자동차 궤적 시뮬레이션 결과를 이용하여 중회귀분석을 실시하였다. 회귀분석은 통계분석 프로그램인 SPSS 12.0K를 이용하였다. 각각의 도류로 설계요소는 최소회전반경(R_i), 도류로 폭(e), 곡선장(L_a), 삼각교통섬 폭(L_{ca})이며, 이들의 모형을 도출하기 위한 독립변수는 회전속도(V_{tr})와 교차각도(A_d)로 설정하였다.

중회귀분석에서는 독립변수간의 상관관계인 다중공

선성(multicollinearity), 자기상관(autocorrelation), 이분산성(heteroscedasticity)을 검토하였다. 또한 독립변수 방법은 후진제거법을 사용하여 불필요한 독립변수를 제거하였다.

4.2.1. 최소회전반경(Minimum Turning Radius, R_i)

독립변수인 회전속도와 교차각도에 따른 최소회전반경의 회귀분석을 수행하였다. 그 결과 제외된 변수에 교차각도가 포함되었다. 교차각도가 포함되었을 경우와 그렇지 않은 경우 각각 F값은 25.903과 53.212가 나타났으며, 유의확률 모두 0.001보다 작은 것으로 분석되었다. 또한 공차한계는 모두 1.0보다 크고 VIF(Variance Inflation Factor) 모두 1.0으로 다중공선성의 가능성은 낮은 것으로 확인되었다. 그러나 회귀계수 결과에서 교차각도가 1.0으로 나타나 통계적 유의성을 갖지 못하는 것으로 분석되었다. 이는 최소회전반경 모형에서는 회전속도에 의한 영향만 설명력이 있는 것으로 판단된다. 그러나 선형회귀식의 R^2 값이 0.65522로 다소 설명력이 부족한 것으로 확인되었다. 이에 본 연구에서는 곡선추정 회귀분석을 수행하였다.

그 결과 3차식을 사용할 경우, R^2 가 0.98821로 매우 높은 것을 확인하였다. 최소회전반경의 3차 모형식은 다음 Eq. (1) 및 Table 6과 같이 분석되었다.

$$R_i = 1.327 + 0.9008V_{tr} - 0.0911V_{tr}^2 + 0.0027V_{tr}^3 \quad (1)$$

4.2.2. 도류로 폭(Swept Path Width, e)

회전속도 및 교차각도에 따른 도류로 폭에 대한 중회귀분석 결과, 공차한계는 모두 1.0보다 크고 VIF 모두 1.0으로 다중공선성의 가능성이 낮은 것으로 확인되었다. 회귀분석결과 Table 7과 같이 분석되었다.

Table 6. Result of Curve Fitting Regression for R_i

Methods	R	R Square	df1	df2	Sig.
LINEAR	0.80946	0.65522	1	28	under 0.0001
LOGARITH	0.66489	0.44207	1	28	0.0001
INVERSE	0.50901	0.25909	1	28	0.0041
QUADRATI	0.97621	0.95298	1	28	under 0.0001
CUBIC	0.99409	0.98821	1	28	under 0.0001
COMPOUND	0.83098	0.69053	1	28	under 0.0001
POWER	0.69468	0.48257	1	28	under 0.0001
S	0.54036	0.29199	1	28	0.0021
GROWTH	0.83098	0.69053	1	28	under 0.0001
EXPONENT	0.83098	0.69053	1	28	under 0.0001
LGSTIC	0.83098	0.69053	1	28	under 0.0001

Dependent Variable : Turning Radius

모형의 독립변수인 회전속도 및 교차각도는 도류로 폭 예측모형에 설명력이 높은 것으로 나타났으며, 상수 및 독립변수들의 유의확률은 0.001보다 작거나 같아 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 결과인 것을 확인하였다. 따라서 도류로 폭 예측모형을 다음 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$e = 10.441 - 0.117V_r - 0.018A_d \quad (2)$$

Table 7. Result of Multiple Regression for e

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.891	0.793	0.778	0.57680

a. Predictors: (Constant), Angle, Speed
b. Dependent Variable : e

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Constant	10.441	0.383		27.290	Under 0.001
	Speed	-0.117	0.012	-0.833	-9.513	Under 0.001
	Angle	-0.018	0.005	-0.316	-3.612	0.001

a. Dependent Variable : e

4.2.3. 곡선장 (Arc Length, L_a)

곡선장의 회귀분석 결과 공차한계 및 VIF가 1.0으로 나타나 다중공선성의 문제는 없는 것으로 분석되었다. 곡선장 예측모형은 95% 신뢰수준에서 유의한 결과를 확인하였으며, 모형의 설명력인 R^2 가 0.710으로 양호

한 것으로 나타났다. 세부적인 분석결과는 Eq. (3) 및 Table 8과 같다.

$$L_a = 30.491 + 0.956V_r - 0.262A_d \quad (3)$$

Table 8. Result of Multiple Regression for L_a

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.843	0.710	0.689	6.65068

a. Predictors: (Constant), Angle, Speed
b. Dependent Variable: L_a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Constant	30.491	4.412		6.912	Under 0.001
	Speed	0.956	0.142	0.697	6.725	Under 0.001
	Angle	-0.262	0.057	-0.475	-4.583	Under 0.001

a. Dependent Variable : L_a

4.2.4. 삼각교통섬 폭 (Width of Triangle Island, L_{ca})

삼각교통섬 폭 예측모형 또한 회귀분석을 통해 분석되었다. 본 예측모형 또한 다중공선성의 문제는 발견되지 않았으며, 모형의 설명력은 78.2%로 우수한 것을 확인하였다. 회귀분석 결과 삼각교통섬 폭의 예측모형식은 Eq. (4)와 같이 나타났으며, 세부적인 분석결과는 Table 9과 같다.

$$L_{ca} = 44.503 + 0.594V_r - 0.588A_d \quad (5)$$

Table 9. Result of Multiple Regression for L_{ca}

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.885	0.782	0.766	7.48358

a. Predictors: (Constant), Angle, Speed
b. Dependent Variable : L_{ca}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Constant	44.503	4.964		8.965	Under 0.001
	Speed	0.594	0.160	0.333	3.712	Under 0.001
	Angle	-0.588	0.064	-0.819	-9.126	Under 0.001

a. Dependent Variable : L_{ca}

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1. 결론

본 논문은 평면교차로에서 세미트레일러의 우회전 궤적에 관한 연구로서 회전속도 및 접근각도에 따른 최소회전반경, 도류로 폭, 곡선장, 삼각교통섬 폭의 관계에 대하여 알아보았으며, 결론은 다음과 같다.

1. 회전속도가 커질수록 최소회전반경, 곡선장, 삼각교통섬 폭은 커지는 비례관계가 있으며, 도류로 폭은 작아지는 반비례관계에 있었다.
2. 교차각도가 작아질수록 도류로 폭, 곡선장, 삼각교통섬 폭은 커지는 관계가 있었으나, 최소회전반경에는 영향이 없는 것으로 확인되었다.
3. 최소회전반경 모형식은 회전속도에 관한 3차 모형식으로 나타났으며, 회전속도가 30km/h 이상이 될 경우, 최소회전반경이 급격히 증가할 수 있어 설계 시 주의가 요구된다.
4. 교차각도가 작아질수록 중심간의 거리는 커지는 경향이 있다. 예를 들어 회전속도 15km/h에서 교차각 45°일 때 중심간의 거리는 약 31.5m로서 실제 교차로 설계 적용 시 불가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문의 Table 5에 제시한 바와 같이 회전속도, 교차각 등을 참조하여 적절한 설치 가능여부 및 크기 등을 결정하여야 할 것이다.

이와 더불어 본 연구에서는 회전속도 및 접근각도에 따른 평면교차로 내 우회전 도류로 설계요소인 최소회전반경, 도류로 폭, 곡선장, 삼각교통섬 폭에 대하여 모형식을 제시하였다. 이를 통해 실무 설계자들이 보다 쉽고 명확하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

5.2. 향후 연구과제

본 연구에서 미흡했던 부분은 현장실험이 아닌 시뮬레이션 프로그램 상의 최소회전반경 및 도류로 폭 등의 제원을 사용하여 모형식을 제시한 것이다. 이 결과는 설계제원 차량을 사용한 것으로 실제 현장에서 주행하는 실제차량의 주행과는 다소 차이가 있을 수 있다. 따라서 향후 교차각도 및 회전속도 등의 실측자료를 기반으로 그 값을 검증해 발생할 수 있는 문제점을 검토해 볼 필

요성이 있다. 이와 더불어 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 5축의 세미트레일러에 대한 전체적인 제원의 검토 및 변경이 필요할 것으로 생각된다.

본 논문은 교차각도 및 회전속도에 따라 산정된 최소회전반경이 원곡선으로만 도출되었으며, 향후 완화곡선 적용에 관한 분석 및 세미트레일러 이외의 설계기준차 동차에 대한 추가분석이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 국가연구개발사업(지방부 도로 횡단 보도 조명설치기준 및 보급형 조명시스템 개발(2차))의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- AASHTO, 2011, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011
- Alfredo Garcia, 2007, "Safety Effect of the Skew Angle in Right Turn Maneuvers", Transportation Research board, Washington, D.C..
- Baek, Jong Dae, 2001, A Study on Offtracking Model on Horizontal Curve Sections, Master's Thesis, University of Seoul
- Choi Jai Sung, Baek, Jong Dae, 2000, "Reevaluation of Lane Width Widening on Horizontal Curve Sections", Journal of Koran Society of Transportation, Vol. 18, No. 4, pp.51-92.
- Kay Fitzpatrick, William H. Schenider IV, Eun Sung Park, 2006, "Operation and Safety of Right-Turn Designs", Transportation Research Board, Washington, D.C..
- Kim, Tae Ho, 2012, "Establishment of Highway Design Criteria Based on Five-Axle Semitrailer's Physical Characteristics", Master's Thesis of University of Seoul.
- Kim, Yong-tae, 2012, "A Study on Right-Turning Channelization Design Factors of Rural Road", Master's Thesis of University of Seoul.
- Lee, S. K. et al, 2005a, "Design of drop islands Based on Semi-Trailer Turn Radius", Journal of Koran Society of Transportation, Vol. 23, No. 5, pp.73-81.
- Lee, S. K. et al, 2005b, "Improvement of Semi-trailer Design standard for Road Geometry", Proceedings of Korean Society of Road Engineers Conference, Vol. 7, pp. 355-360.
- MLTM, 2009, Guideline for Road Structure and Facilities Specifications, pp. 414-417.
- MLTM, 2004, Guideline for Intersections Design, pp. 45-85.