

집산로가 설치된 고속도로 위빙구간 유출입부 설계기준 제시

오재철* · 김윤미** · 이형무*** · 하태준****

Oh, Jaechul*, Kim, Yoon Mi**, Lee, Hyung Mu***, Ha, Tae Jun****

Determination of Weaving Section at Highway Collector-Distributor

ABSTRACT

The highway weaving section is a point where there is a conflict caused by entry and exit vehicles. In order to minimize the impact on the main line, an accumulation line should be installed. The design speed of the collecting part is 50 km/h, but the actual driver does not have proper deceleration according to the design speed. In this study, considering the driving behaviors, the design specification, and the driver's viewing angle, the appropriate separation distance for safe entry and exit of collecting, connecting, and collecting roads was examined. As a result of the analysis, it is found that a distance of 60m is required from the point where the merging starts. The results of this study are expected to contribute to the improvement of driver safety due to the conflict between entry and exit vehicles when applied to the weaving section where collecting roads are installed.

Key words : Highway, Auxiliary lane, Weaving section, Driving behavior, Lane change

초 록

고속도로 위빙구간은 진입과 진출차량에 의한 상충이 발생하는 지점으로 본선과의 영향을 최소화하기 위하여 집산로를 설치토록 하고 있다. 집산로의 설계속도는 50km/h이나 실제 운전자는 설계속도에 맞춰 적절한 감속이 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 운전행태, 설계기준차량제원, 운전자의 시야각등을 고려하여 차량의 안전한 진출입을 위해 고어 노면표시 끝에서 합류지점까지 적정 이격거리를 검토하였으며 분석결과 합류가능지점에서 약 60m의 이격거리가 필요한 것으로 분석되었다. 향후 본 연구결과를 집산로가 설치된 위빙구간에 적용시 진출입차량간 상충으로 인한 운전자의 안전성 증진에 기여할 것으로 판단되며 집산로가 설치된 고속도로 위빙구간의 노면표시 설치기준으로 재정립 될 것으로 기대된다.

검색어 : 고속도로, 집산로, 위빙구간, 주행행태, 차로변경

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

유입과 유출이 연속된 고속도로의 위빙구간에는 기하구조 또는 교통량 규모에 따라 집산로를 설치토록 규정하고 있다. 고속도로의 진출입 구간은 본선부를 제외한 사고발생건수가 톨게이트 부근 다음으로 많이 발생하고 있다. 이는 본선부에 비해 짧은 진출입지점 구간에서 많은 의사를 결정하는 혼란에 기인한다고 할 수 있다. 현재 집산로가 설치된 위빙구간은 진입과 진출차량에 대한 고려없이 구간 내에서 유출입이 가능토록 설계되고 있어 실제 운전자들의 운전행태와 상이하며 이는 시거가 확보되지 않은 상충구간에서 운전자의

* 전남대학교 토목공학과 박사수료 (Cheonnam National University · hngwolf@nate.com)

** 교신저자 · 전남대학교 토목공학과 박사 (Corresponding Author · Cheonnam National University · swityday@nate.com)

*** 정회원 · 전남대학교 토목공학과 박사수료 (Cheonnam National University · leehyungmu@hanmail.net)

**** 종신회원 · 전남대학교 토목공학과 교수 (Cheonnam National University · tjha@jnu.ac.kr)

Received July 11, 2018/ revised August 6, 2018/ accepted October 3, 2018

혼란을 발생시키고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 고속도로 운전자 행태를 고려하여 집산로가 설치된 입체교차로 위빙구간에서 유출입 허용 지점 산정을 통해 위빙구간 유출입부 설계기준을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 집산로가 설치된 고속도로 입체교차로의 위빙구간에 대한 유출입부 설계 기준을 제시하기 위해 다음과 같이 연구를 수행하였다(Fig. 1).

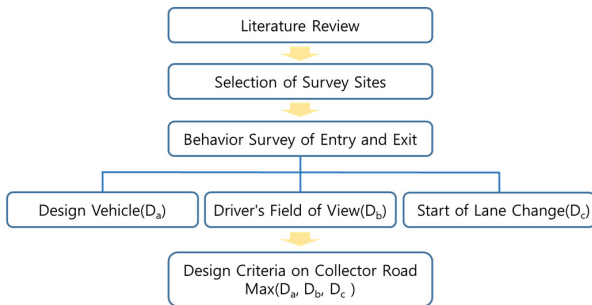


Fig. 1. Flowchart of Research

1.3 연구의 범위

본 연구에서는 한국도로공사에서 운영 관리하고 있는 고속도로 구간중 집산로가 설치된 다음의 입체교차로를 대상 지점으로 선정하여 현장조사를 시행하였다.

- 현장조사 위치 : 고창 담양간 88올림픽 고속도로 담양 JCT 집산로 구간
- 조사 일시 : 2017년 7월

2. 기존연구문헌 고찰

2.1 위빙구간 설계 지침

2.1.1 국내 위빙구간 설계 지침

2.1.1.1 국토교통부 「도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙」

도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙에서는 엇갈림 입체교차로의 연결로 구간에 다음과 같은 경우 집산로를 설치하여 교통량 분산을 유도하도록 하고 있다.

- 통과차로의 교통량이 많아 분리할 필요가 있는 경우
- 유출 분기 노즈가 인접하여 2개 이상 있는 경우
- 유출입 분기 노즈가 인접하여 3개 이상 있는 경우
- 필요한 위빙 길이를 확보할 수 없는 경우

- 표지 등에 의하여 유도를 정확히 할 수 없는 경우

집산로가 설치된 경우에는 위빙 구간 내에서 유입과 유출이 가능토록 노면표시를 설치하고 있다(Fig. 2). 연속부차로 구간(위빙구간)의 노면표시는 유입부, 일반부, 유출부로 구분하여 노면표시를 설치하도록 규정하고 있으나 실제 설치되는 전구간 진출입을 허용하거나 위빙구간의 중심을 기준으로 유입부와 유출부로 노면표시를 설치하고 있다.

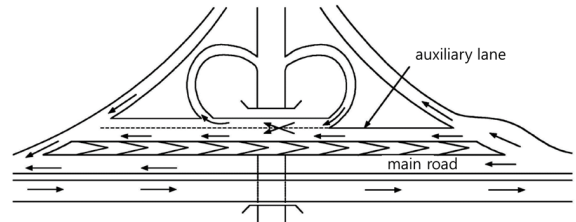


Fig. 2. Auxiliary Lane Installed at Interchange

2.1.1.2 한국도로공사 「도로설계요령」

한국도로공사 「도로설계요령」에서는 연결로 설계시 운전자가 자연스러운 궤적으로 본선에 진입할 수 있도록 하며, 본선과 연결로 상호의 투시를 좋게 하기 위하여 합류단 직전에서 본선상에는 100m, 연결로 상에는 60m는 상호 투시 가능하도록 장애물을 제거하도록 규정하고 있다. 또한, 가속차로의 형식은 일반적으로 평행식이 바람직하나, 본선에 비교적 작은 반경의 평면곡선이 있는 경우 직접식도 가능함을 제시하고 있다. 「도로설계요령」 또한 집산로가 설치된 입체교차 지점에 대해서는 별도 노면표시 규정은 제시하지 않고 있다.

2.1.2 국외 위빙구간 설계 지침

2.1.2.1 미국 「교통통계시설편람(MUTCD)」

본선 차선과 램프 차선의 중립 영역은 갈매기 노면표시를 하도록 하며 램프의 고어지점에서 변속차로의 절반에 대하여 실선을, 그 이후는 점선 차선으로 설치하도록 제시하였다(Fig. 3).

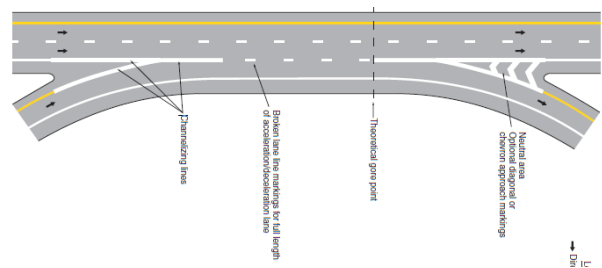


Fig. 3. Markings of Exit Ramp at Cloverleaf Interchange

2.2 운전행태와 자동차 인체공학에 관한 연구

2.2.1 Ryu(1988)

Ryu(1988)는 고속도로 위빙구간에서의 위빙차량의 차선변경 패턴과 갭 선택특성을 분석함으로써 위빙교통의 행태를 조사하였다. 위빙교통의 차선변경 패턴은 시발차선의 교통상태와 밀접한 관계를 나타냈으며 갭 선택특성은 종차차선의 교통상태에 크게 영향을 받는 것으로 분석되었다. 또한, 늦은 합류 차량들이 선택한 리드, 래그 및 갭의 크기와 초기합류 차량들이 선택한 값들 사이에는 별 차이가 없음을 제시하였다.

2.2.2 Haslegrave(1993)

Haslegrave(1993)은 차량의 폭에 따라 약간 차이가 있지만 대략 20°의 시야를 제공함을 제시하였다(Fig. 4).

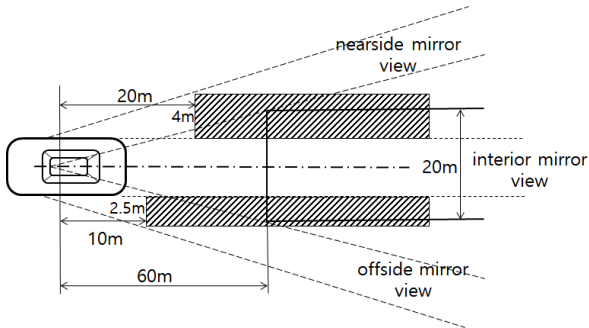


Fig. 4. Viewing Angle and Width of Driver

2.2.3 Peacock and Karwowski(1993)

Peacock and Karwowski(1993)은 운전자가 머리와 눈동자를 움직이지 않고 객체를 볼 수 있는 시야각은 120°까지 가능하며, 일반적으로 30~40°까지 편안한 시거확보가 가능함을 제시하였다.

2.3 시사점

국내외 기존 연구문헌을 검토한 결과, 위빙구간 설계지침에서 국내외 모두 진출입차량의 상충을 고려한 노면표시 설치기준이 제시되지 않았으며 운전행태에 관한 연구분야 검토결과 국내는 진출램프의 진출속도를 기반으로 운전자의 주행패턴을 통한 안전성을 평가한 연구가 진행되었으며 국외는 병목구간에서의 혼잡교통류 발생패턴 및 교통외해 전이과정을 분석한 연구들이 주를 이루고 있다. 이에 본 연구에서는 연속부가차로의 진출입 차량의 차로변경 시점·종점 위치와 주행속도를 분석하고 운전자 주행행태 분석을 수행하여 진출입구간 제한길이 산정 연구로 충분한 독창성이 있을 것으로 판단된다.

3. 고속도로 위빙구간 집산로 유출입부 운전자 행태 조사

3.1 운전자 행태 현장조사

3.1.1 조사위치 및 기하구조

조사위치는 고창 담양간 88올림픽 고속도로 접속부의 담양 jct 연결로 구간을 대상으로 하였으며, 해당 지점의 기하구조는 Fig. 5와 같다.

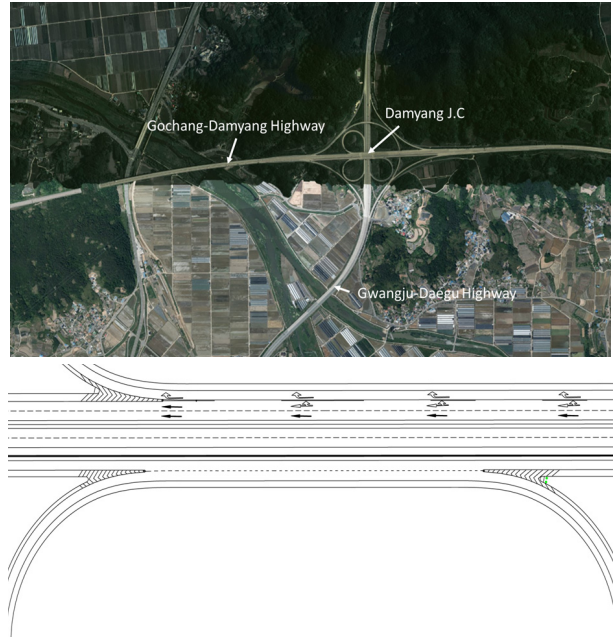


Fig. 5. Survey Site and Road Geometry

3.1.2 조사 내용

진출구간(본선 → 연결로)과 진입구간(연결로 → 본선)으로 분류하고, 각 구간을 주행하는 차량에 대하여 다음과 같은 내용을 조사하였다. 속도 및 거리 장비는 차량별 진출입 의사결정 위치와 속도측정을 위하여 레이저 측정장치인 Marks Man II 를 이용하였다.

- ① 차로변경 시작지점의 거리와 차량속도
- ② 차로변경 완료 후 진출램프 고어지점의 거리와 차량속도

3.2 현장조사 결과 분석

3.2.1 기초통계 검증

본 연구의 현장조사 결과에 대한 정규성 검정을 실시하였으며 각각의 검정결과는 다음과 같다. Shapiro-Wilk 정규성 검증결과 유의확률이 0.05이상이므로 모두 귀무가설을 기각할 수 없으므로 정규분포에 따른다고 볼 수 있다(Table 1).

Table 1. Analysis of Basic Statistics

	IN						OUT					
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk			Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Degree of freedom	P-value	Statistic	Degree of freedom	P-value	Statistic	Degree of freedom	P-value	Statistic	Degree of freedom	P-value
VA	.099	42	.200*	.981	42	.714	.078	42	.200*	.857	42	.644
DA	.079	42	.200*	.984	42	.805	.086	42	.200*	.925	42	.650
VB	.087	42	.200*	.983	42	.773	.069	42	.200*	.907	42	.731
DB	.081	42	.200*	.980	42	.650	.074	42	.200*	.840	42	.601

※ V_A is the speed at which lane change starts. V_B is the speed after changing the lane.

※ D_A is the distance at which lane change starts. D_B is the distance after changing the lane.

Table 2. Investigation of Driving Behavior

	OUT (Main road → Ramp)				IN (Ramp → Main road)			
	Velocity		Deceleration (km/h ²)	Vehicle Classification	Velocity		Acceleration (km/h ²)	Vehicle Classification
	Start	End			Start	End		
1	66	58	4.29	15ton truck	61	69	5.13	Car
2	63	59	2.52	Car	63	72	5.89	Car
3	69	49	13.53	15ton truck	53	64	6.58	Car
4	87	60	13.23	Car	62	73	7.98	Truck
5	77	59	10.45	Truck	53	61	5.37	15ton truck
	omit ⋮				omit ⋮			
40	99	68	18.92	Car	56	68	8.03	Car
41	88	65	20.15	Car	62	72	6.69	Truck
42	70	56	8.86	Truck	61	70	5.94	Truck
Avg.	77.6	56.3	14.50	-	57.9	68.2	7.0	-

3.2.2 현장조사 결과

3.2.2.1 진출구간(본선 → 연결로) 주행행태 조사

진출구간을 주행하는 50대 차량을 대상으로 행태를 조사한 결과 부가차로에서 연결로 진출시작 차량속도는 77.6km/h로 조사되었다. 연결로 진입 완료 후 분기부 고어지점 통과시 차량속도는 56.3km/h로 나타났다. 이에 따른 본선에서 연결로로의 감속도는 평균 14.50km/h²로 분석되었다.

3.2.2.2 진입구간(연결로 → 본선) 주행행태 조사

진입구간을 주행하는 50대 차량을 대상으로 교통행태를 조사한 결과 연결로에서 부가차로 진입시작시 차량속도는 57.9km/h로 조사되었다. 또한 진입 완료 후 분기부 고어지점을 통과시 차량속도는 68.2km/h로 나타났다. 가속도는 평균 7.0km/h²로 분석되었다(Table 2).

3.2.2.3 위빙구간 집산로 운전행태 분석

연결로의 설계속도는 50km/h임에도 불구하고 조사대상 차량 대부분이 설계속도보다 높은 속도로 주행하였다. 특히, 본선에서 연결로로 진출하는 차량의 변경시점 순간 주행속도는 77.6km/h로 설계속도(50km/h)보다 22.6km/h 높은 속도로 주행하는 것으로 나타났다.

집산로가 설치된 입체교차 지점의 유출입로에서 감속도가 가속도보다 높은 것으로 조사됨에 따라 고속도로 운전자들이 본선에서 연결로로 진출시 속도를 충분히 감속하지 않고 차로변경을 시도하는 것으로 사료된다.

본선에서 연결로 변경시점이 합류시작지점에서 54.4m 이격된 지점으로 분석되었으며 연결로에서 본선으로 변경시점은 합류시작 지점에서 37.8m로 분석되었다(Fig. 6). 이는 본선에서 연결로로 변경시 의사결정이 연결로에서 본선으로 변경시의 의사결정보다 빠르며 이는 참고문헌의 외국사례와 유사한 행태를 보였다.

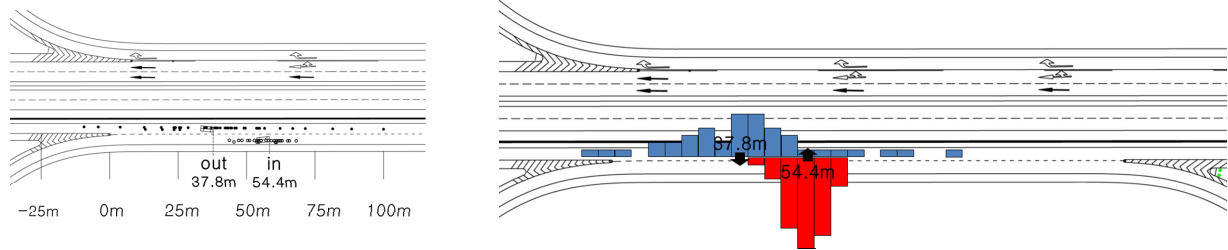


Fig. 6. Result of IN and OUT

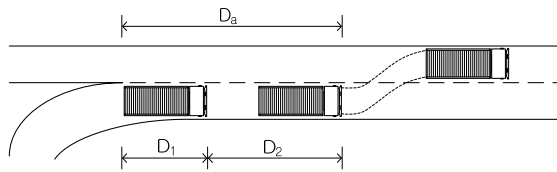


Fig. 7. Limit Distance Considering Design Vehicle

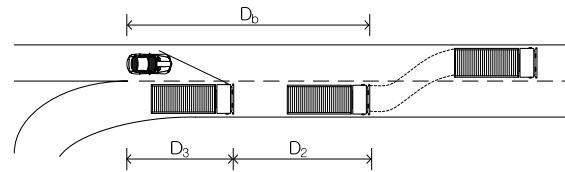


Fig. 8. Limit Distance Considering Viewing Angle

Table 3. Result of Experiment about Viewing Angle

Height (cm)	Viewing angle (°)	Height (cm)	Viewing angle (°)	Height (cm)	Viewing angle (°)
181	23.22°	165	22.90°	179	22.40°
171	22.06°	174	23.24°	161	21.06°
177	21.82°	172	23.31°	Average	22.03°
168	20.88°	162	19.51°		

※ Height is the height of the test vehicle driver.

4. 운전자 행태를 고려한 고속도로 위빙구간 집산로 설계기준 제시

4.1 위빙구간 집산로 모형식 산정

집산로가 설치된 고속도로 위빙구간의 설계기준 제시를 위하여 본 연구에서는 세가지 형태의 모형식을 제시하고자 한다. 모형식은 교통류 흐름의 근간이 되는 차량특성, 운전자특성을 고려하였으며, 이 두가지 특성에 따른 운전행태 특성을 반영하여 제시하였다. 이에 따라 차량특성을 반영하여 설계차량제원을 기준으로 한 제한거리(Da)와 운전자 특성을 고려하여 운전자 시야각을 기준으로 산정한 제한거리(Db), 그리고 운전행태를 고려하여 운전자 차로변경 시작시점을 기준으로 산정한 제한거리(Dc)를 각각 산정했다. 산정된 값 중 최대값을 설계기준으로 제시하였다. 제한거리 산정의 3가지 형태와 상세한 산정 방법은 다음과 같다.

4.1.1 설계차량제원 기준 제한거리 Da

본선 진입(연결로→본선)차량이 램프구간을 지나 집산로와 평행 정렬한 후 바로 본선으로 진입할 경우 소요되는 거리를 산정하였다. 이때 램프의 고어지점에서부터 평행정렬이 가능하므로 진출입 가

능지점에서부터 평행 정렬된 차량의 길이(D1)에 운전자가 차선을 변경하기 위한 인지반응시간(2.5sec)동안 이동거리(D2)를 산정하였다(Fig. 7).

현장조사결과, 차량의 본선진입속도는 평균 57.9km/h로 조사되어 인지반응시간 2.5초 동안 차량의 이동거리는 40.1m로 조사되었다. 여기에 Full Trailer 길이 19.0m를 고려한다면 차량이 본선으로 진입하기 위해서는 약 59.20m가 소요되는 것으로 산정되었다.

$$D_a = D_1 + D_2 = 19.0 + 40.1 = 59.20m \quad (1)$$

여기서, D1 : Full Trailer 길이

D2 : 인지반응시간(2.5sec)동안 이동거리(V=57.9km/h)

4.1.2 운전자 시야각 기준 제한거리 Db

본선 진입차량이 Side Mirror를 통해 본선 주행 차량의 발견이 가능한 거리(D3)와 차선을 변경하기 위한 인지반응시간(2.5sec)동안 이동거리(D2)를 통해 산정하였다(Fig. 8).

주행차량의 운전자 Side Mirror 시야각은 차량에 탑승하여 Side Mirror를 통해 보이는 시점 산정하기 위해 다음과 같은 실험을

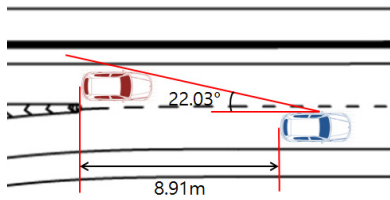


Fig. 9. Viewing Angle

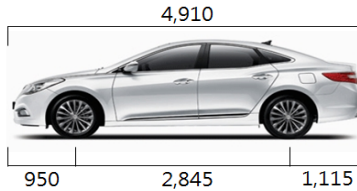


Fig. 10. Specification of Vehicle

실시하였다. 실험대상 차량은 ‘그랜저TG’이며, 차량후미 적정 이격 거리에서 수직으로 표기한 선에서 측정용 Pole이 시야에서 벗어나는 순간을 측정하였다. 실험참가자 10명의 시야각 조사결과, 평균 22.03°로 측정되었다(Table 3)(Figs. 9 and 10).

진입차량이 Side Mirror를 통해 본선 차량 유무를 인식하고 진입가능 여부를 판단한 후, 본선으로 진입할 경우의 필요한 거리를 산정하였다. 도로의 차로폭을 3.6m로 적용하였을 때 차로변경을 위해 필요한 뒷 차간 이격거리는 8.90m로 산정되었다. 여기에 인지반응시간동안 이동거리 40.1m를 고려하여 약 49m가 필요한 것으로 나타났다.

$$D_b = B \cot \theta + D_2 = 3.6 \times \cot 22.03^\circ + 40.1 = 49.0 \text{m} \quad (2)$$

여기서, B : 차로폭

θ : 운전자 Side Mirror 시야각($\theta=22.03^\circ$)

D_2 : 인지반응시간(2.5sec)동안 이동거리($V=57.9\text{km/h}$)

4.1.3 운전자 행태 고려 제한거리 D_c

D_c 는 실제 현장조사를 통해 집산로 위빙구간에서 연결로의 운전자가 본선으로 진입하기까지 소요되는 거리 즉, 연결로에서 차로변경 시작위치를 조사한 결과 54.4m로 분석되었다(Fig. 11).

$$D_c = D_{\text{조사치}} = 54.4 \text{m} \quad (3)$$

4.2 운전자 행태를 고려한 위빙구간 집산로 설계기준 제시

연결로에서 본선으로 진입하고자 하는 차량이 안전하게 진입하기 위해 소요되는 연결로 길이를 설계차량제원, 운전자시야각,

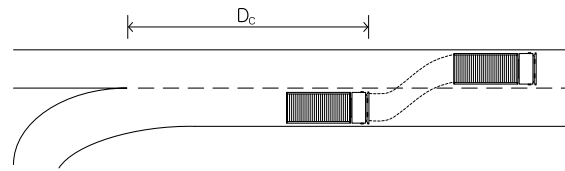


Fig. 11. Limit Distance Considering Driving Behavior

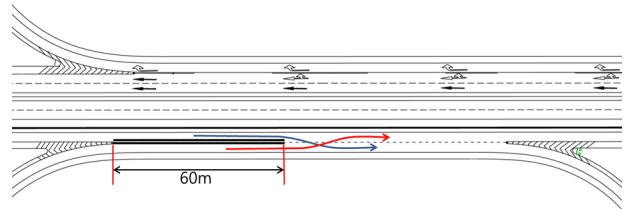


Fig. 12. Design Criteria for Collector Roads

운전자 차로변경 시작시점을 고려해 각각 산정하였으며, 그 중 최대값을 위빙구간 집산로 유출입부 길이로 정한다. 따라서 집산로가 설치된 고속도로 위빙구간의 합류시작지점에서부터 59.2m(약 60m)까지는 진출입을 금지해야 할 것으로 판단된다(Fig. 12).

$$D = \max(D_a, D_b, D_c) \quad (4)$$

$$= \max(59.20, 49.0, 54.40) = 59.20 \approx 60 \text{m}$$

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 위빙구간 집산로 설계기준을 산정하기 위해 운전자 인지반응 시간과 운전자 시야각 등을 고려하고 현장조사를 통해 위빙구간에서의 차량속도 등을 실측하였으며 다음과 같은 연구결과를 도출하였다.

첫째, 본선에서 연결로 진출 시도 지점이 연결로에서 본선으로 진입 시점보다 합류가능 지점에 더 인접한 것으로 나타났다. 그러므로 연결로에서 본선으로 진입하는 차량의 운전자 부하가 본선에서 연결로로 진출하는 차량보다 높은 것으로 판단된다.

둘째, 차량제원, 시야각, 실제 운전자의 행태 등을 고려하여 본선에서 연결로로 진출하는 차량의 차로 변경을 방지 제한 길이를 산정하였다. 그 결과, 59.2m(약 60m)로 산정되었다.

셋째, 본 연구결과에 따라 집산로 연결부 노면표시를 통해 램프 연결로에서 집산로 진입차량과 집산로에서 연결로 진입차량의 상충을 방지하여야 할 것이다.

향후 도로의 등급에 따른 위빙구간 노면표시 설치기준이 명확히 제시되지 않은바 집산로가 설치되지 않은 고속도로, 국도, 도심부도로에 대한 설치기준 연구가 추가로 필요할 것으로 판단된다.

References

- FHWA (2015). *Manual on uniform traffic control devices (MUTCD)*.
- Haslegrave, C. M. (1993). *Visual aspects in vehicle design*. Taylor & Francis, London.
- Korea Expressway Corporation (2009). *Road design manual* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *Guideline about structure and facilities of road* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *Korea highway capacity manual (KHCM)* (in Korean).
- Peacock and Karwowski (1993). *Automotive ergonomics*. Taylor & Francis, London.
- Ryu, K. S. (1988). "An empirical analysis of the behavior of weaving traffic in a freeway weaving section." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 6, No. 1, pp. 17-31 (in Korean).