

□ 論 文 □

高速道路 連續 流入連結路 接續端間의 離隔距離 設計基準에 관한 研究

(Design Guideline for Successive Entrance Ramp Spacing)

張 在 南

(한국종합기술개발공사)

張 明 淳

(한양대학교 교통공학과 교수)

目 次

I. 서론	IV. 자료 분석
II. 기존연구 및 설계기준 고찰	1. 연속된 유입연결로구간 교통류특성 분석
1. 기존연구 검토	2. 속도관계 모형의 정립
2. 연결로 접속단간 이격거리 설계기준	3. 연속된 유입연결로 이격거리 설계기준 제시
3. 문제점 분석	V. 결론 및 건의
III. 자료수집 및 정리	1. 결 론
1. 조사대상구간의 선정	2. 건 의
2. 자료수집 및 정리	참고문헌

ABSTRACT

This study is to analyze speed variation at merging section of successive entrance ramp and to suggest design criterion of ramp spacing at successive entrance ramp in urban area.

The major findings are as follows;

- (1) The relationship between the speed at merging section of successive entrance ramp and the distance from the merging point represents concave curve.
- (2) The 85 percentile speed(S) at outside lane(lane 1) is modeled

$$S = 49.5 + 355.7(D/Q) - 0.94(D^2/Q) + 6.78 (D/AL2)$$
where, D=Distance from merging point(m), Q=Lane 1 volume(vph)
AL2= Acceleration length at second entrance ramp(m)
- (3) The more traffic volume, and the shorter acceleration length of the second entrance ramp, longer ramp terminal spacing is needed.

* 본 연구는 한양대학교 공학기술연구소 연구비지원(1995년)에 의해 수행되었음.

I. 서론

연결로(Ramp)는 교차하는 두개의 도로를 상호 연결시켜주는 도로의 부분으로 1994년 HCM(Highway Capacity Manual)에 의하면 세가지 구성요소 즉, 연결로-고속도로 접속부(The Ramp-Freeway Junction), 연결로 구간 또는 연결로 자체(The Ramp Roadway), 연결로-가로 접속부(The Ramp-Street Junction)로 구성된다. 이 중에서 연결로-고속도로 접속부(The Ramp-Freeway Junction)는 본선 교통류와 연결로 교통류의 두 교통수요의 상충이 발생하는 부분으로 이 구간에서는 고속도로 기본구간에서 보다 현저히 많은 차선변경, 가·감속 및 본선차량과 연결로 차량간의 합·분류가 발생하여 사고의 발생률이 높은 지점으로 안전하고 원활한 교통흐름이 이루어지도록 세심하게 계획·설계되어야 한다.

현재까지 연결로 접속부에 대한 연구는 크게 확률적인 방법론인 간격수락모형과 HCM 모형으로 대표되는 실증적 연구로 구분할 수 있는데, 이상의 연구들은 연결로 자체에만 관심이 있거나 독립된 연결로의 운영상태를 파악하려는 데 중점을 두었을뿐 연결로가 연속된 경우(특히 유입연결로의 연속) 연결로간의 이격거리가 교통류의 운영에 미치는 영향을 평가하기 위해 현장자료를 바탕으로한 체계적 연구는 진행되어오지 못하였다.

우리나라의 연결로 접속단에 대한 도로설계 기준을 살펴보다라도 연결로의 배치형태별(유입-유입, 유출-유출, 유입-유출, 유출-유입, 연결로상)로 이격거리에 대한 최소기준치를 규정하고 있으나 이는 미국 AASHTO의 기준을 그대로 받아들여 사용하고 있을뿐 이 부분에 대한 실증적 연구는 이루어지지 않고 있으며, 이격거리 기준도 인터체인지의 분류(교차도로의 성

격)에 따라서 지방지역(고속도로와 고속도로의 연결)과 도시지역(고속도로와 간선도로의 연결)으로 구분하여 각각의 설계기준값을 제시하고 있으나 다양한 교통조건 및 기하구조조건 등에 일률적인 설계값을 적용할 수 있는가에 의문이 제기되고 있다.

이에 본 연구는 고속도로 연결로의 여러가지 배치형태중 본선의 운영에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 연속된 유입연결로에 대하여, 국내의 현장자료를 바탕으로 현재 도시지역/지방지역으로만 분리된 설계기준을 도시지역에 대하여 다양한 교통조건 및 기하구조 조건을 고려한 설계기준을 제시하고자 한다.

II. 기존연구 및 설계기준 고찰

1. 기존연구 검토

연결로 접속부에 대한 기존 연구는 크게 확률적 방법론인 간격수락모형과 HCM모형으로 대표되는 실증적연구로 구분할 수 있다.

1) 간격수락모형(Gap Acceptance Model)

간격수락모형은 확률적인 방법론으로 “합류 지역의 유입용량은 본선 접속차선(연결로와 접속되는 가장 바깥차선)을 주행하는 차량들에 의해 생성되는 간격(Headway나 Gap)의 분포상태 및 빈도와 밀접한 관계가 있다”라는 가정에서 출발하였는데 Headway나 Gap을 확률변수로 처리하여 이것의 확률밀도함수(PDF)를 이용하여 연결로 차량의 행동을 모형화 하여 연결로의 유입용량 및 연결로 진행차량의 지체시간 및 지체길이를 산정하게 된다.

Drew(11)는 관측된 간격에 Gamma 분포를 적용하여 각 교통류율에 대한 매개변수값

(Erlang 계수)을 제시하였으며, 감마분포가 가지는 무작위성을 감안하여 연결로 차량들이 겪는 지체시간 및 대기차량의 길이를 계산하였다. 또한 가속차선의 길이에 따른 연결로 차량의 속도변화, 노즈 부근에서 연결로 차량의 속도추이를 제시하였으며 가속차선의 길이와 형태에 따른 임계간격크기를 산정하는 회귀식을 제시하였다.

Michaels & Fazio(15)는 가속차선을 주행하는 연결로차량의 의사결정 과정에서 가장 중요한 요소가 본선 접속차선 차량들의 속도라고 가정하여, 연결로 차량이 85%의 속도에서 적절한 Gap을 찾는데 필요한 가속차선의 길이를 계산하였다. 그들은 또한 연결로 차량의 합류시도를 가속과 감속 쌍(pair)으로 정의 하였으며 연결로 차량의 속도추이를 연결로 차량에 의한 몇개의 가·감속의 궤적으로 보여주었다.

2) 실증적 연구

(1) HCM 모형

① 1985년 HCM 모형

1985년 HCM(13) 분석방법론은 광범위한 현장조사자료를 바탕으로 차선별 교통량의 분포와 본선 접속차선의 교통량(V_1)을 추정하는 회귀식을 다양한 연결로 형태별로 제시하고 있으며 예외의 경우에 대해서는 근사치 방법(Approximate Method, 일명 California Method)을 병용하는 방식으로 구성되어 있다.

연속된 유입연결로에 대한 분석방법은 회귀식 적용에 대한 한계값(본선교통량, 연결로교통량, 이격거리)을 고려한후 두 연결로에서 확인점의 교통량을 각각 예측한 후 두 연결로중 더 나쁜 운영상태를 채택하여 연결로 접속부의 서비스수준으로 판정한다.

② 1994년 HCM 모형

1994년 HCM(14)모형은 1985년 HCM의 MOE산정 기준에 대한 문제점을 인식하여 NCHRP Project 3-37(17)의 연구결과를 기준으로 새로운 분석방법론을 정립하였다.

유입, 유출 연결로에 의한 합·분류부의 영향권(Influence Area)을 노즈부를 기준으로 1500ft(460m)로 설정하고 이 영향권에서의 밀도 예측치를 일차적인 서비스수준의 기준으로 설정하였으며 부가적인 서비스수준 기준으로 속도예측식도 제시하였다. 연결로 영향권에서 밀도 및 속도 예측시 연결로 합·분류 차량에 의한 실제적인 본선 차량의 영향을 고려하여 본선 외측 2개의 접속차선 $1,2(V_{12})$ 의 교통량 예측식을 개발하였으며, 이 예측식은 본선 차선수 및 인접 연결로 형태에 따라 제시되어 있다. 또한 가속 및 감속차선의 길이도 밀도 및 속도 예측식에 새로이 포함되어 실제 현상을 정확히 반영하려 하였다.

유입연결로가 연속된 경우의 분석방법은 1985년 HCM방법론과 동일하다. 그러나 접속차선 교통량(V_{12}) 예측시 4, 8차선 고속도로에서는 연속된 유입연결로에 대한 이격거리는 변수에 포함되어 있지 않으며 6차선 고속도로의 경우 유입연결로의 상류부나 하류부에 유출연결로가 존재하는 경우 연결로간의 이격거리가 변수에 포함되나, 유입연결로의 상류부나 하류부에 유입연결로가 존재하는 경우 접속차선 교통량(V_{12}) 예측식에는 이격거리에 관한 변수는 포함되어 있지 않다. 또한 유입연결로 상/하류부에 유입연결로가 존재하는 경우(연속된 유입연결로)에 교통류에 미치는 영향에 대한 명확한 근거는 없다고 기술되어 있다.

③ 우리나라 도로용량편람(건설부, 1992)

우리나라 도로용량편람(2,5,6,8)의 연결로 접속부의 분석방법론은 1985년 HCM의 분석방법

론을 근간으로 하고 있으며, 우리나라 연결로의 현장 자료를 바탕으로 확인점에서 본선 접속차선 교통량(V_i) 추정 회귀식 및 서비스수준 기준인 합류부와 분류부의 최대서비스 교통량을 우리실정에 맞게 수정하여 제시하고 있다.

우리나라의 도로용량편람의 방법론이 1985년 HCM과 다른점은 1985년 HCM에서는 유입연결로의 경우 확인점을 유입직전의 상류부와 유입후 하류부(가속차선의 종점) 두곳중 서비스수준이 더 나쁜 지점을 합류부의 확인점으로 하고 있는데 반하여, 확인점을 합류직후 하류부(가속차선의 끝)의 교통량을 기준으로 한점이다. 그러나 우리나라의 방법론은 독립된 유입, 유출 연결로 만을 대상으로 조사가 이루어 졌으며 연결로가 연속되거나 복잡한 형태에 대해서는 1985년 HCM의 분석방법론(근사치 방법론)을 따르도록 규정하고 있다.

(2) 기타 실증적 연구

Fukutome & Moskowitz(12)는 가속차선에서 연결로 합류차량의 주행궤적을 연구하였는데 그들의 연구결과에 의하면, 대부분의 연결로 차량은 연결로의 설계조건에 상관없이 비슷한 궤적을 가지며, 교통량이 많을때보다 적을때 더 긴거리를 이용하며 연결로의 속도차이에 의한 합류지점은 차이가 나지 않는 것으로 조사되었다. 또한 대부분 차량들의 자연스런 주행궤적은 50:1 taper를 이루는 것으로 나타났다.

신치현(10)은 가속차선이 교통류 운영상태와 안전에 미치는 영향의 수치화 및 평가를 목적으로 미국의 6차선 고속도로에 대한 다양한 현장조사자료를 바탕으로 다음의 결론을 도출하였다. 가속차선의 공간적인 이용율을 근거로 1000ft(300m)가 최적의 가속차선 길이이며, 연결로 접속부의 교통량이 같다고 가정할때 짧은 가속차선은 가속차선이 길때보다 보조차선의

가시적인 밀도를 증대시켜 고속도로 접속차선의 많은 차선이동을 유도하여 접속차선의 분포를 격감시킨다는 것과 가속차선이 짧을때 접속부가 소화할 수 있는 최대 유출교통량이 커다랗게 줄어듦을 관찰하였다. 또한 Weaving Algorithm을 이용하여 본선·연결로 교통량 및 가속차선의 길이를 변수로 한 속도예측모형을 제시하였다.

2. 연결로 접속단간의 이격거리 설계기준

1) 국내기준

우리나라의 설계기준은 『도로의 구조·시설 기준에 관한 규정 해설 및 지침, 건설부, 1990.12.』(1)에 규정되어 있으며 연결로의 유출입 형태와 인테체인지의 분류(교차도로의 성격)에 따라 도시지역(고속도로와 간선도로의 연결)과 지방지역(고속도로와 고속도로의 연결)으로 구분되어 제시되었다.

유입연결로가 연속되는 경우 최소이격거리 기준은 지방지역 300m, 도시지역 240m로 규정하고 있으며 이는 미국 AASHTO의 제안값을 그대로 사용한 값이다. 여기에서 유입-유출연결로(Weaving발생)의 기준값이 크로바형 루프(Loop)에는 적용되지 않는 것은 크로바형 루프에서는 루프의 곡선반경 및 차도폭등에 더 크게 영향받기 때문이다.

2) 국외기준

(1) 미국 AASHTO 기준

미국의 설계기준은 『A Policy on Geometric Design of Highway and Streets, AASHTO, 1994.』(9)에 규정되어 있다.

유입연결로가 연속된 경우 연결로간 이격거리는 Full Freeway(고속도로 사이의 연결)는 300m, Freeway Distributer Road(FDR) or

〈표 1〉 우리나라 연결로간 이격거리 설계기준

유입-유입 또는 유출-유출 경우		유출 - 유입		연결부상		유입 - 유출 (위빙경우)	
노즈에서부터 노즈까지의 최소이격거리(m)							
지방지역	도시지역	지방지역	도시지역	지방지역	도시지역	지방지역	도시지역
300	240	150	120	240	180	600	300

Collector Distributer Road(CDR)는 240m를 최소치로 규정하고 있으며, 이 기준값은 운영경험, 표지판을 위한 적정거리, 장래 확장가능성 등을 위한 거리이다.

(2) 일본 기준

일본의 연속된 연결로간 이격거리에 관한 규정(4)은 연결로의 설계속도와 무관하게 본선의 설계속도 및 주행속도에 따라 표준값과 최소값

을 제시하고 있으며 〈표 3〉과 같다.

위 기준에 의하면 본선의 설계속도가 100km/h (주행속도 90km/h) 일 경우 여너로간 이격거리 기준값은 최소 150m, 표준 275m이다. 이 기준값은 연결로의 형태가 유입-유입, 유출-유출, 연결부상, 유입-유출(위빙경우)인 경우는 기준값 그대로를, 유출-유입인 경우는 기준값의 1/2을 사용하도록 하고 있다.

〈표 2〉 AASHTO 연결로간 이격거리 설계기준

EN-EN OR EX-EX		EX - EN		TURNING ROADWAYS		EN-EX(WEAVING)			
FULL FREEWAY	CDR OR FDR	FULL FREEWAY	CDR OR FDR	SYSTEM INTER- CHANGE	SERVICE INTER- CHANGE	SYSTEM TO SERVICE INTERCHANGE		SERVICE TO SYSTEM INTERCHANGE	
						FULL FWY	CDR OR FDR	FULL FWY	CDR OR FDR
노즈에서부터 노즈까지의 최소이격거리(m)									
300	240	150	120	240	180	600	480	480	300

주) FDR - FREEWAY DISTRIBUTER ROAD
CDR - COLLECTOR DISTRIBUTER ROAD

EN - ENTANCE
EX - EXIT

〈표 3〉 일본의 연결로간 이격거리 설계기준

설계속도(km/h)		48 이하 (30mph)	64~80 (40~50mph)	96~113 (60~70mph)	129 이상 (80mph)
주행속도(km/h)		37~45	60~70	84~93	103
거 리 L(m)	최 소	60	120	150	275
	표 준	120	215	275	365

자료) 일본도로협회, 도로구조령의 해설 및 운용, 昭和 58年2月

(3) 독일 기준

독일의 경우 연속된 연결로에 대한 설계기준은 입체교차로 설계지침(Richtlinien fuer Anlagen von Landstrassen, Planfreie Knotenpunkte, RAL-K-2)(3)에 규정되어 있다. 유입 연결로가 연속된 경우 이격거리 기준은, 유입 연결로의 차선수에 따라 두 유입연결로가 모두 1차선인 경우와 첫번째 유입연결로가 1차선, 두

번째 유입연결로가 2차선인 경우 연결로간 이격거리는 400m 이며, 첫번째 유입연결로가 2차선이며 두번째 유입연결로가 1차선인 경우 650m를 규정하고 있다. 또한 고속도로 본선이 4차선(편도2차선)이고 두 연결로가 모두 1차선인 경우 규정에 나타난 값보다 더 큰 값을 쓰도록 권고하고 있다.

〈표 4〉 독일의 연속유입연결로 이격거리 설계기준

구 분	미 국	일 본	독 일
고 려 사 항	인터체인지의 분류 (교차도로의 성격)	본선의 설계속도 및 주행속도	유입연결로의 차 선 수
설 계 기 준	○FULL FREEWAY : 240m ○CDR or FDR : 300m	○본선설계속도 100km/h시 : 최소 150m, 표준 275m	○두 유입연결로 모두 1차선일 경우 : 400m

(4) 국외기준의 종합

각국의 연속된 유입연결로 접속단간의 이격

거리 설계기준을 종합하여 제시하면 다음 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉 연속된 유입연결로 국외 설계기준 종합

구 분	첫 번째 유입연결로	두 번째 유입연결로	연결로간 이격거리 설 계 기 준
연 결 로 차 선 수	1 차선	1 차선	400m
	1 차선	2 차선	400m
	2 차선	1 차선	650m

3. 기존 연구의 한계점

간격수락모형의 경우 연결로 차량의 지체 (merging delay) 예측 및 유입용량산정에 분석의 초점을 두어 합류지역 전체의 운영상태를 분석하지 못하며, HCM모형의 경우는 독립된 연결로의 운영상태를 파악하는데 중점을 두었을 뿐 연결로가 연속된 경우(특히 유입연결로의 연속) 연결로간의 이격거리가 교통류의 운영에 미치는 영향을 평가하기 위해 현장자료를 바탕으로한 체계적 연구는 진행되어오지 못하였다.

우리나라의 연결로 접속단에 대한 도로설계 기준을 살펴보더라도 연결로의 배치형태별로 이격거리에 대한 최소기준치를 규정하고 있으나 이는 미국 AASHTO 기준을 그대로 받아들여 사용하고 있을뿐 이 부분에 대한 실증적 연

구는 이루어지지 않고 있으며, 이격거리 기준도 인터체인지의 분류(교차도로의 성격)에 따라서 지방지역(고속도로와 고속도로의 연결)과 도시지역(고속도로와 간선도로의 연결)으로 구분하여 각각의 설계기준값을 제시하고 있으나 다양한 교통조건 및 기하구조조건 등에 일률적인 설계값을 적용할 수 있는가에 의문이 제기되고 있다.

Ⅲ. 자료수집 및 정리

1. 조사대상 구간의 선정

본 연구의 조사대상 구간은 연속된 유입연결로 구간이어야 하며 유입연결로 차량의 가속합류에 의한 본선차량의 영향을 고려하기 위하여

〈표 6〉 조사대상 구간

대상 구간	교차도로	본 선 차선수	유 입 연결로간 이격거리	첫번째 유입연결로			두번째 유입연결로		
				가속차선 형태	차선 수	교통량	가속차선형태	차선 수	교통량
판교-구리간 고속도로 상 일 V/C 하 행 선 (구리→하남)	국도43호선 (천호대로)	편 도 2차선	300m	평행식 : 215m -가속차선115m -테이퍼 : 100m	1	moderate	직접식:230m	2	heavy
판교-구리간 고속도로 상 일 V/C 상 행 선 (하남→구리)	국도43호선 (천호대로)	편 도 2차선	350m	평행식 : 185m -가속차선115m -테이퍼 : 70m	1	moderate	직접식: 80m	1	moderate

첫번째 유입연결로의 가속차선이 두번째 유입연결로의 노즈부 전에 끝나야 하며, 두번째 유입연결로의 가속차선도 본선과 연속된 부가차선의 형태가 아닌 경우만을 대상으로 하였다. 즉 연결로 합류후 본선 차선수에 변화가 없어야 한다.

상기조건을 만족하는 구간중 현장조사를 통하여 최종 선정된 대상구간은 판교-구리간고속도로와 국도43호선(천호대로구간)이 교차하는 상일I/C 상행선구간(하남→구리)과 상일I/C 하행선구간(구리→하남)으로 도로구조평의 분류에 의하면 도시지역(고속도로와 간선도로의 연결)에 해당한다.

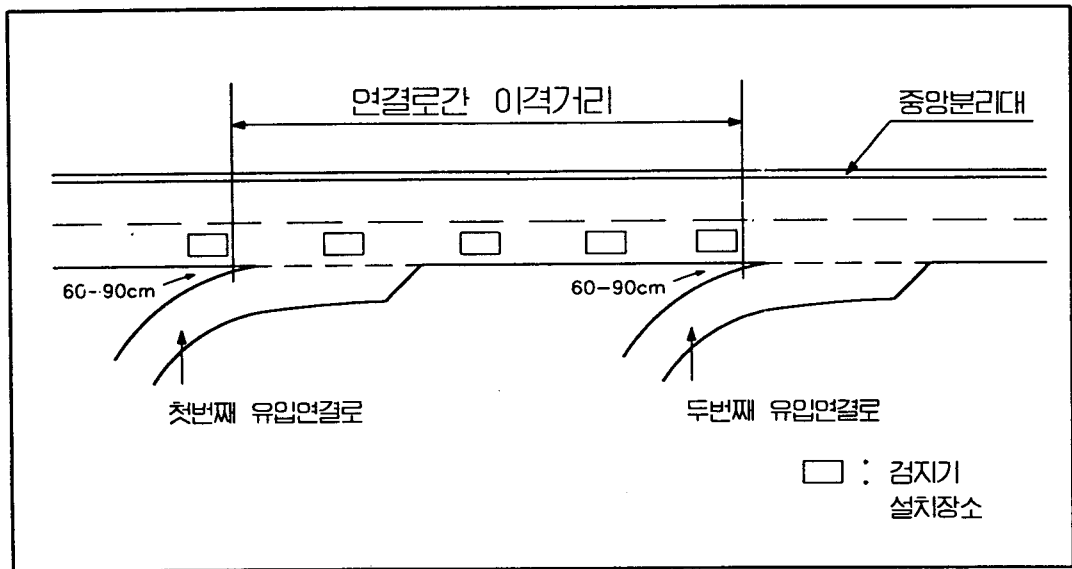
조사대상 구간은 본선 차선수는 4차선(편도2차선)이며 유입연결로간 이격거리는 하행선은

300m, 상행선은 350m 이다. 유입연결로 가속차선의 형태는 모두 첫번째 유입연결로는 평행식이며 두번째 유입연결로는 직접식으로 나타났다으며 두번째 유입연결로의 길이는 하행선 230m, 상행선 80m로 상당한 차이를 보이고 있다.

2. 자료수집 및 정리

1) 자료수집

본 연구의 자료수집방법은 검지기를 <그림 1>에서 보는바와 같이 본선의 가장 바깥차선(본선 접속차선)의 중앙부에 일정간격으로 설치하여 지점별 교통량, 속도 및 차두간격 자료를 수집하는 방식을 취하였다.



<그림 1> 자료 조사 방법

2) 조사시기의 선정

본 연구에서는 자료의 수집시기를 안정교통류(Stable Flow)만으로 선정하였는데 그 이유는 다음과 같다. 본 연구의 목적이 연속된 유입연

결로 차량의 합류에 따른 본선 교통류의 관계에 의한 연속된 유입연결로의 이격거리에 관한 설계기준 제시에 있으므로, 불안정 교통류(Unstable Flow) 상태일 경우 본선구간의 정체로 인

하여 연결로 차량에 의한 분선영향이 안정교통류(Stable Flow) 일때보다 상대적으로 미비할 것으로 판단되었기 때문이다.

조사대상구간의 자료수집 일정은 다음과 같으며 자료의 단위분석시간은 15분을 기준으로 하였다.

<표 7> 조사대상구간의 자료수집 일정

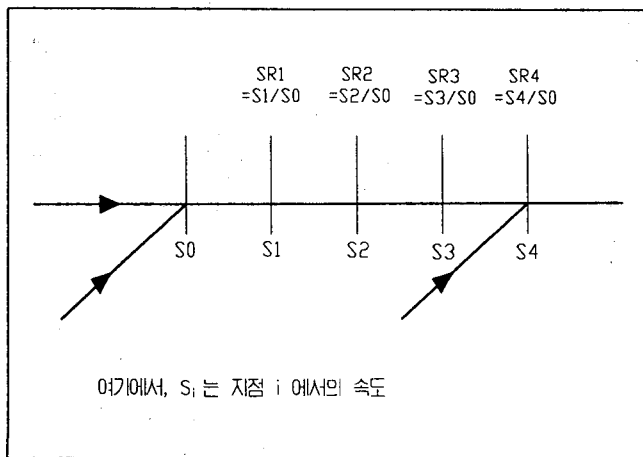
지 점 명	관측시간대	총관측시간	표 본 수
상일/IC 상행선	비첨두시간대	350분	22
상일/IC 하행선		480분	30

3) 자료의 정리

조사된 자료의 정리는 다음의 과정으로 수행하였다. 현장조사된 검지기는 컴퓨터와 On-Line으로 연결하여 각 지점별 자료를 추출한다. 추출된 자료는 통계Software인 SAS(Statistical Analysis Software)를 이용하여 조사구간별, 지점별로 단위관측시간인 15분을 기준으로 교통량 자료(15분 교통량, 시간환산교통량), 속도자료(85% 누적속도, 50% 누적속도, 15% 누적속도), 차두간격 자료 등을 정리한다. 이과정에서 40km/h 이하의 속도자료는 불안정 교통류이므로

자료분석에서 삭제하였으며 삭제된 교통량은 차두시간(Headway)을 기준으로 보정하였다.

본 연구에서는 속도관련 자료중 85%속도비와 50%속도비도 산출하였다. 여기에서 85%속도비란 첫번째 유입연결로의 합류부(om지점)의 85% 속도와 각 지점에서의 85%속도와의 비율을 의미하며, 50%속도비란 첫번째 유입연결로의 합류부(om지점)의 50% 속도와 각 지점에서의 50%속도와의 비율을 의미하며 이를 도식화하여 나타내면 다음 <그림2>에서 보는바와 같다.



<그림 2> 속도비 산출방법

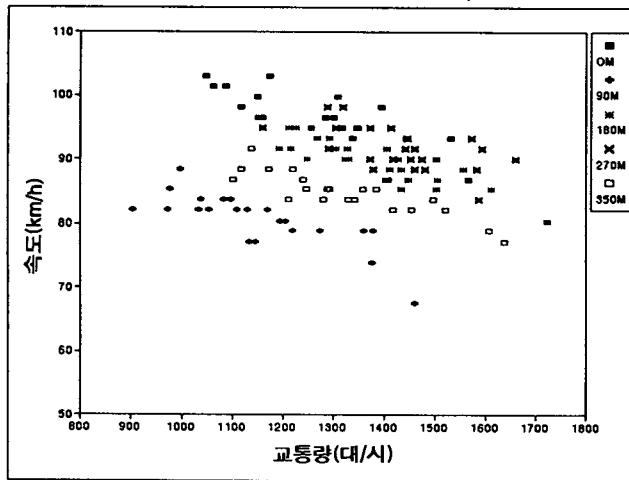
IV. 자료분석

1. 연속된 유입연결로 구간 교통류 특성 분석

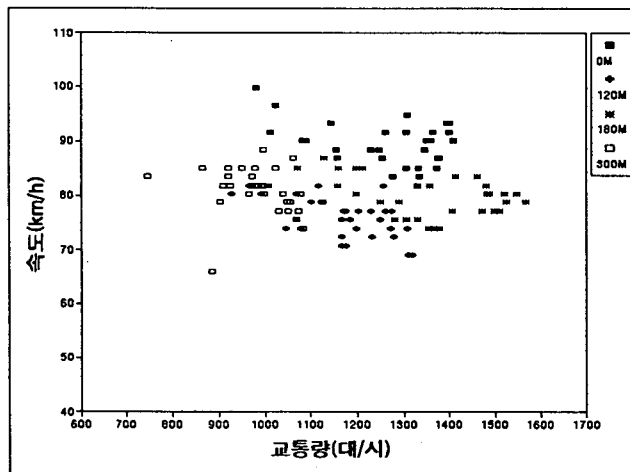
1) 속도-교통량 관계

연속된 유입연결로 구간의 속도-교통량 관계는 자료 조사시점이 안정교통류(Stable Flow)상

태로서 교통량이 증가함에 따라 속도는 떨어지는 일반적인 속도-교통량 관계를 보여주고 있음을 알 수 있다. 각 지점별 속도-교통량 곡선의 차이를 살펴보면 유입연결로의 영향으로 인하여 0m지점(첫번째 유입연결로에 접속되는 노즈부분)에서의 속도-교통량 곡선에 비하여 각 지점에서의 속도-교통량 곡선이 밑으로 떨어져서 나타남을 알 수 있다.



<그림 3> 상일 I/C 상행선 85%속도-교통량 관계



<그림 4> 상일 I/C 하행선 85%속도-교통량 관계

2) 속도와 거리와의 관계

연속된 유입연결로 구간의 거리에 따른 속도의 추이는 그림 <그림 5>와 같다. 상일 I/C 상행선의 경우, 85% 속도는 첫번째 유입연결로 부분에서 속도하락을 보인후 서서히 증가하다 두번째 유입연결로 합류부분에서 다시 속도가 하락하는 위로 볼록한(Concave) 2차함수의 형태를 보이는 것을 알 수 있다. 상일 I/C 하행선의 경우도 상행선의 경우와 마찬가지로 속도가 증가하였다가 감소하나, 두번째 유입연결로 합류부분에서의 속도하락이 상행선 만큼 크지 않은 것으로 관찰되었다.

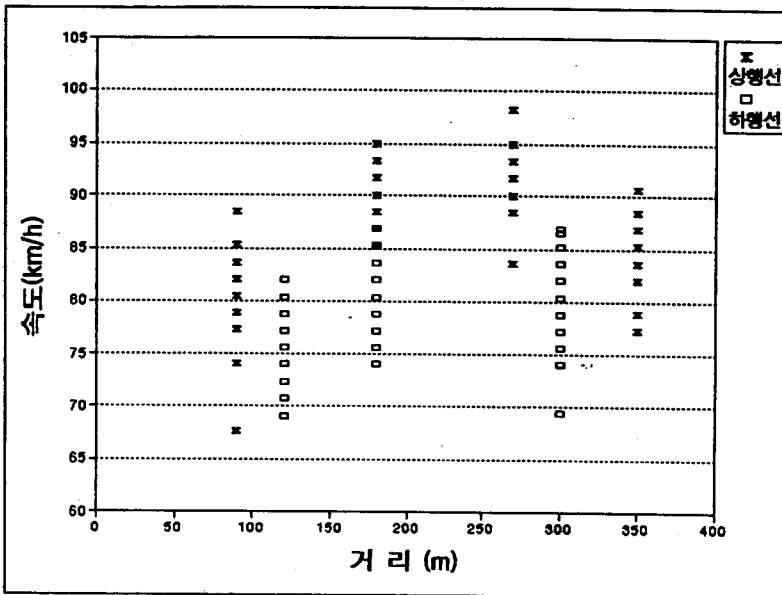
이것은 상일I/C 하행선의 경우 두번째 유입연결로의 가속차선의 길이가 230m이나 상일I/C 상행선의 경우 80m로 매우 짧아, 두번째 유입연결로 합류부분에서 속도의 하락이 상일I/C 상행선이 훨씬 크게 나타난 것으로 판단된다.

이러한 특성이 다음절의 속도예측모형 정립시 두번째 유입연결로의 가속차선 길이가 상당히 설득력을 지니는 독립변수로서 사용될 수 있음을 보여주는 부분이다.

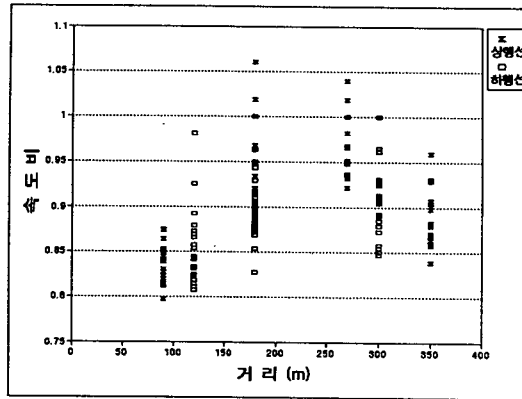
3) 속도비와 거리와의 관계

첫번째 유입연결로 합류부에서의 속도(om)와 각 지점에서의 속도와의 차이를 나타내는 속도비와 거리와의 관계도 <그림 6>에서 보는바와 같이, 속도와 거리와의 관계와 마찬가지로 거리가 따라 증가하였다가 감소하는 위로 볼록한(Concave)한 2차함수 형태를 취함을 알 수 있다.

본 절에서는 전절에서의 관계를 토대로 연속된 유입연결로 구간에서 본선 접속차선의 운영상태의 질을 평가하기 위한 속도관계모형을 정립하려 한다.



<그림 5> 85%속도와 거리 관계



〈그림 6〉 85%속도비와 거리 관계

2. 속도관계 모형의 정립

1) 종속변수, 독립변수의 선택 및 범위

회귀모형을 설정하기 위한 종속변수는 본 연구의 목적이 속도관계모형의 정립에 있으므로 85%속도(S85), 50%속도(S50)와 85%속도비(SR85), 50%속도비(SR50)로 하였다.

종속변수의 설명을 위한 독립변수의 선택에 앞서 과연 두 지점(상일 I/C 상행선, 상일 I/C 하행선)의 자료를 하나로 합하여 분석할 수 있는지, 즉 두 표본간에 모분산의 차이가 있는지 없는지를 F검정통계량¹⁾을 이용하여 분석하였다.

분석결과 <표 8>에서 보는바와 같이 네개의 종속변수 모두 p-value가 기준 유의수준(α) 0.05보다 커 분산이 동일하다는 귀무가설(H_0)을 기각할 수 없으므로(fail to reject) 유의수준(α) 0.05에서 분산이 동일한 것이라 결론내릴 수 있으므로 두 개지점의 자료를 하나로 합하여 분석에 임하였다.

종속변수의 설명을 위한 독립변수로는 본선 접속차선 교통량(Q, 대/시), 첫번째 유입연결로 합류부에서의 이격거리(D, m), 두번째 유입연결

로 가속차선길이(AL2, m)를 기본으로 이를 조합한 D, D², 1/Q, D/Q, D²/Q, D/AL2으로 하였다. 여기에서 첫번째 유입연결로 합류부에서의 이격거리 D는 전절에서 확인하였던 속도, 속도비와의 2차함수관계를 근거로 변수변환을 시도하였으며, 본선 접속차선 교통량(Q)에는 유입연결로 차량들이 합류를 하여 결국에는 본선의 접속차선으로 진입하여야 하기 때문에 접속차선 교통량에 연결로의 교통량도 포함되어 있다고 가정할 수 있다.

독립변수간의 상관관계분석은 Correlation Matrix를 통하여 분석하였는데, 현상을 설명하려면 2차함수의 관계를 가져야 하므로 2차함수들의 관계를 갖는 변수들의 상관관계는 의미가 없다. 그러므로 이를 제외한 나머지 변수들의 상관관계를 분석한 결과 <표 9>와 같이 D와 Q/D 경우를 제외하고는 변수간의 상관관계가 0.015~0.476으로 독립변수로 사용해도 좋은 것으로 판명되었다. 그러나 D와 Q/D의 경우 상관관계가 0.87로 높아 하나의 모형식에서 같이 사용될 경우 다중공선성 등의 문제가 우려되므로 회귀식의 설정시 위의 두변수는 하나의 모형식에 같이 포함되는 경우는 제외하였다.

한편, 독립변수로 선택한 Q, D, AL2의 적용

주1) $F_{v1,v2} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$

값 범위는 다음과 같다.

· Q(대/시) : 750대/시 ~ 1,700대/시

· D(m) : 0m ~ 350m

· AL2(m) : 80m, 230m

〈표 8〉 종속변수별 분산비교 통계검정

Variable: S85						
TTEST PROCEDURE						
SITE	N	Mean	Std Dev	Std Error	Minimum	Maximum
0	120	81.63000000	6.35454710	0.58008813	66.00000000	99.80000000
110	88.55181818	6.60556801	0.62981620	67.60000000	103.00000000	
Variances		T	DF	Prob> T		
Unequal	-8.0838	224.4	0.0001			
Equal	-8.0975	228.0	0.0000			
For H0: Variances are equal, F' = 1.08 DF = (109,119) Prob>F' = 0.6779						
Variable: SR85						
TTEST PROCEDURE						
SITE	N	Mean	Std Dev	Std Error	Minimum	Maximum
0	120	0.91169167	0.06464873	0.00590159	0.71900000	1.00000000
110	0.92500909	0.06252273	0.00596131	0.79700000	1.06000000	
Variances		T	DF	Prob> T		
Unequal	-1.5876	227.3	0.1138			
Equal	-1.5853	228.0	0.1143			
For H0: Variances are equal, F' = 1.07 DF = (119,109) Prob>F' = 0.7241						
Variable: S50						
TTEST PROCEDURE						
SITE	N	Mean	Std Dev	Std Error	Minimum	Maximum
0	120	87.33083333	5.75918406	0.52573917	48.30000000	80.50000000
110	85.46272727	5.16764562	0.49271568	46.70000000	74.00000000	
Variances		T	DF	Prob> T		
Unequal	2.5927	227.9	0.0101			
Equal	2.5805	228.0	0.0105			
For H0: Variances are equal, F' = 1.24 DF = (119,109) Prob>F' = 0.2510						
Variable: SR50						
TTEST PROCEDURE						
SITE	N	Mean	Std Dev	Std Error	Minimum	Maximum
0	120	0.92685833	0.06823111	0.00622862	0.67400000	1.04000000
110	0.93301818	0.06236354	0.00594813	0.74400000	1.18900000	
Variances		T	DF	Prob> T		
Unequal	-0.7153	228.0	0.4751			
Equal	-0.7125	228.0	0.4769			
For H0: Variances are equal, F' = 1.20 DF = (119,109) Prob>F' = 0.3409						

〈표 9〉 독립변수간 상관관계

독립변수	D	1/Q	D/Q	D/AL2
D	1.000 P=	0.01496 P=0.043	0.87647 P=0.0001	0.47617 0.0001
1/Q	0.01496 P=0.043	1.000 P=	0.40622 P=0.0001	-0.37379 P=0.0001
D/Q	0.87647 P=0.0001	0.40622 P=0.0001	1.000 P=	0.42800 P=0.0001
D/AL2	0.47617 0.0001	-0.37379 P=0.0001	0.42800 P=0.0001	1.000 P=

2) 회귀식의 설정 및 모형의 적합성 검증

이상의 결과를 토대로 두 지점의 자료를 하나로 합하여 각 종속변수 4개에 대하여 11개의 회귀식(총 44개)을 정립하여 SAS의 Regression 변수선택방법중 STEPWISE²⁾를 이용하여 설명력이 없는 변수를 제거하는 방식으로 회귀식을 설정하였다.

설정된 회귀식에 대하여 통계학적 판단을 근거로 설정된 모형에 대하여 과연 모형이 현상을 제대로 설명하는지, 모형의 적합성을 검증하였다. 다음은 본 연구에서 기준한 적합성 판단 근거이다.

- ① 속도/속도비는 거리에 대하여 위로 볼록한 (Concave) 2차함수 형태를 띠고 있는가?
- ② 독립변수의 부호(+, -)가 과연 합리적인가?
- ③ 독립변수의 값이 의미를 가지는가?(t-value 기준)

2) 회귀모형의 적합을 증가시킬 수 있는 변수를 추가시키기도 하고, 일단 모형에 추가되었어도 모형의 적합에 도움이 안되는 변수는 삭제하는 방법

이상의 과정을 통하여 적합하지 않은 것으로 판정된 모형식을 제거하였으며, 총 26개(85%속도 8개, 85%속도비 6개, 50%속도 7개, 50%속도비 5개)의 회귀식이 최종적으로 설정되었다.

3) 최적속도관계 모형의 선정

이상의 과정을 거쳐 각 종속변수별로 적절한 것으로 판단된 모형에 대하여 모형의 적합도를 나타내는 F-value의 평균값을 기준으로 속도의 85%를 기준으로 한 모형과 50%속도를 기준으로 한 모형중 어느 종속변수를 기준으로 한 모형이 더 설명력이 있는가를 판단하였다. 속도의 85%와 50%를 기준으로 한 모형중 F-value의 평균값을 비교한 결과 속도의 85%를 기준으로 한 모형이 1.7배 더 설명력이 있는 것으로 확인되었다.

더 설명력이 있는 것으로 판정된 85%속도 모형과 85% 속도비 모형 중 F-value와 Adj R-sq를 기준으로 본 연구에서 최종적으로 선정한 모형을 제시하면 다음과 같다.

■ 종속변수가 85%속도인 경우

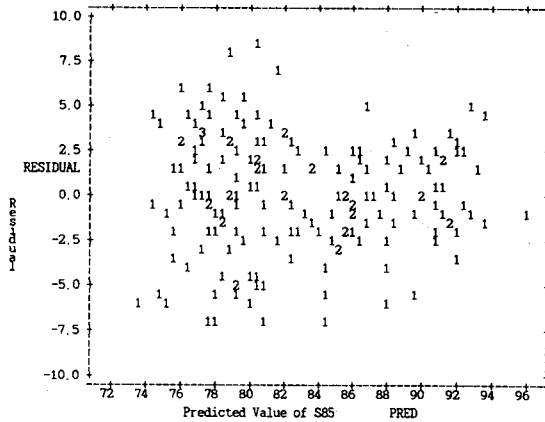
$$SR85 = 49.5 + 355.7(D/Q) - 0.94(D^2/Q) + 6.78(D/AL2)$$

독립변수	constant	D/Q	D ² /Q	D/AL2
t-value	23.537	13.894	-14.203	19.808
P> t	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
F-value = 142.03		Adj R-sq = 0.7050		
Durbin-Watson 값 = 1.709				

■ 종속변수가 85%속도인 경우

$$SR85 = 0.64 + 0.0023D - 0.0000053D^2 + 0.018(D/AL2)$$

독립변수	constant	D	D ²	D/AL2
t-value	31.764	11.538	-11.056	5.825
P> t	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
F-value = 62.23		Adj R-sq = 0.5093		
Durbin-Watson 값 = 1.645				



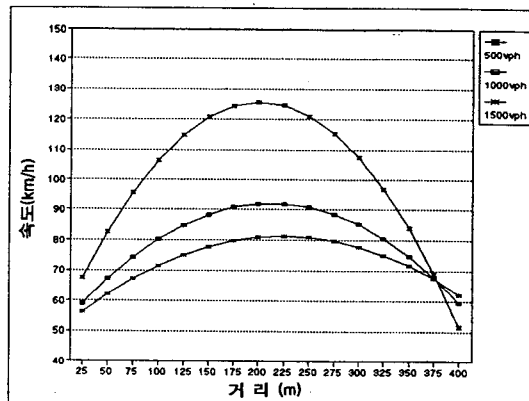
〈그림 7〉 85% 모형의 잔차 산포도

두 모형식 모두 p-value가 낮아 모수추정치가 의미있는 것으로 나타났으며, 모형의 설명력을 나타내는 Adj R-sq가 85% 속도모형이 0.70으로 설명력이 50%속도비 모형에 비하여 높은 것으로 판단된다. 또한 85%모형의 경우 더빈-왓슨 값이 1.709로 기준값 2에 가까워 잔차들은 정규 분포 하고 있다고 말할 수 있으며, 〈그림 7〉의 잔차 산포도 예시결과 잔차의 특별한 규칙성이 보이고 있지않아 무작위성이 확인되었다고 볼 수 있다.

3. 연속된 유입연결로 이격거리 설계기준 제시

안정교통류(Stable Flow)를 기준으로 최종 선정된 연속된 유입연결로 구간의 접속차선에서의 속도예측모형인 85%속도모형과 85%속도비 모형중에서 F-value 및 Adj R-sq가 좋은 85% 속도 모형을 기준으로 설계기준 값을 제시하고자 하였다.

먼저 85%속도와 각 변수와의 관계를 그림으



〈그림 8〉 85%속도와 각 변수와의 관계
(두번째 유입연결로 가속차선길이 150m인 경우)

로 나타내면 <그림 8>과 같이 거리에 대하여 속도는 위로 볼록한 2차함수 형태를 나타내며 교통량이 증가할수록 속도는 떨어짐을 알 수 있다.

연속된 유입연결로 구간에서 85%속도는 거리에 대하여 증가하였다 감소하는 2차함수형태를 보이고 있으므로 속도가 최대인 지점이 연속된 유입연결로 구간에서 운행상태가 가장 좋은 지점이라 판단할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 연속된 유입연결로의 이격거리 기준은 가장 양호한 운행상태를 보일 것이라 예상되는 속도가 최대인 지점 즉 속도예측 모형식의 거리에 대한 1차미분함수($\frac{dS}{dD}$)가 '0'이 되는 지점을 연속된 유입연결로의 최소 이격거리로 결정하였으며, 최소이격거리를 연속된 유입연결로 이격거리의 설계기준값으로 기준하였다.

$$S_{85} = 49.5 + 355.7(D/Q) - 0.94(D^2/Q) + 6.78(D/AL2)$$

$$\frac{dS_{85}}{dD} = \frac{355.6}{Q} - \frac{1.88}{Q} D + \frac{6.78}{AL2} = 0$$

$$D = [189.2 + 3.606 \frac{Q}{AL2}]$$

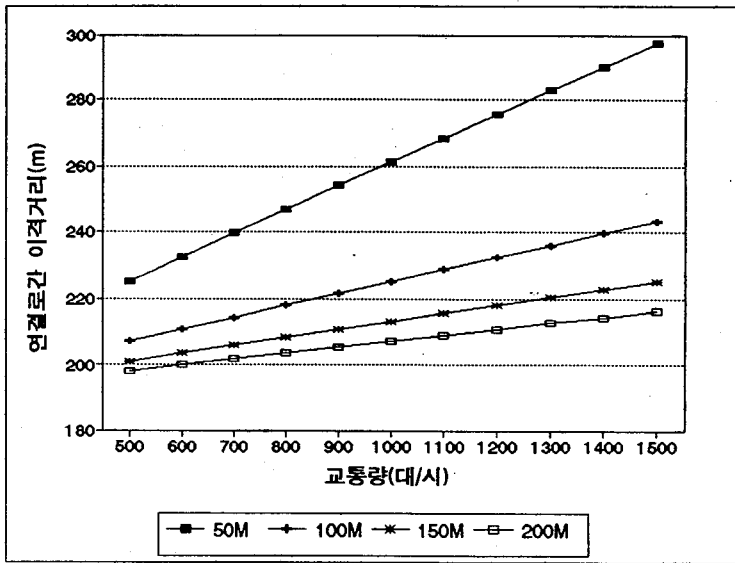
이상의 관계를 근거로 연속된 유입연결로의 최소 이격거리 기준은 특정한 하나의 값이 아닌 본선 접속차선 교통량(Q)과 두번째 유입연결로의 가속차선길이(AL2)에 따라 각각 다른 값을 가짐을 알 수 있으며, 최종적인 연속된 유입연결로 설계기준값은 <표 10>과 <그림 9>에서 보는바와 같다.

위의 결과를 보면, 연속된 유입연결로의 최소 이격거리는 교통량이 적을수록 짧아도 되며 교통량이 증가할수록 길어지며, 두번째 유입연결로 가속차선이 짧아질수록 연결로간 이격거리가 증가하여야 하며 두번째 유입연결로 가속차선이 길어질수록 이격거리는 짧아도 됨을 알 수 있다. 여기에서 두번째 유입연결로의 가속차선의 길이가 길어질수록 두번째 유입연결로 차량들의 가속합류의 기회가 늘어나 연결로간 이격거리의 연장효과로 작용함을 확인할 수 있다.

<표 8> 연속된 유입 연결로 최소 이격거리

(단위:m)

구 분		두번째 유입연결로 가속차선길이(m)			
		50	100	150	200
본 선 접속차선 교 통 량 (대/시)	500	230	210	200	200
	1000	260	230	220	210
	1500	300	250	230	220



〈그림 9〉 교통량과 두번째유입연결로 가속차선길이에 따른 최소 이격거리

V. 결론 및 건의

1. 결론

본 연구는 도시지역을 대상으로 연속된 유입연결로 이격거리의 설계기준 제시에 목적을 두고 현장조사결과를 근거로 안정교통류(Stable Flow)를 기준으로 2개지점에서 연속된 유입연결로 구간의 접속차선에서의 속도예측모형 개발 및 새로운 설계기준을 제시하였으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 연속된 유입연결로 구간에서 본선접속차선의 속도는 거리에 대하여 위로 볼록한(Concave) 2차함수 형태를 갖는다.

둘째, 연속된 유입연결로 구간의 85%속도와 첫번째 유입연결로 합류부에서 이격거

리(D, m), 본선 접속차선 교통량(Q, 대/시), 두번째 유입연결로 가속차선길이(AL2, m)와의 관계는

$$85\% \text{ 속도} = 49.5 + 355.7(D/Q) - 0.94(D^2/Q) + 6.78(D/AL2) \text{ 으로 확인되었다.}$$

셋째, 교통량이 많을수록, 두번째 유입연결로 가속차선의 길이가 짧을수록 연속된 유입연결로간 이격거리는 길어야 한다.

2. 건 의

첫째, 도시지역의 연속된 유입연결로의 이격거리 기준은 본 논문이 제시한대로 교통량과 두번째 유입연결로의 가속차선 길이에 따라 구분하여 산정되어야 한다.

둘째, 지방지역에 대한 현장조사를 기초로 지

방지역의 이격거리에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

셋째, 본 논문에서의 연구방법에 따라 연속된 유출연결로에 대해서도 연구가 이루어져야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 도로의 구조·시설기준에 관한 규정 해설 및 지침, 1990
2. 건설부, 도로용량편람, 1992
3. 김홍상, 입체교차로 설계지침(RAL-K-2), 한국도로공사
4. 일본도로협회, 도로구조령의 해설 및 운용, 昭和 58年2月
5. 이정도, 최병국, 윤여환, 정준화, 고속도로 합류부의 교통특성분석, 대한토목학회 논문집, 1991.10
6. 이정도, 윤여환, 김정은, 고속도로 연결로 분석 기법에 대한 평가, 대한교통학회지 제10권 1호, 1992
7. 장재남, 고속도로 연속유입연결로 이격거리 설계기준에 관한 연구, 한양대학교대학원, 1995, 12
8. 한국건설기술연구원, 교통개발연구원, 도로용량편람 연구조사(제 2,3단계) 제 3단계 최종 보고서, 1992. 10.
9. ASSTHO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1990
10. Chi-Hyun Shin, The Effect of Acceleration Lanes on Entrance Ramp Operation, Doctoral Dissertation, Polytechnic University, 1993
11. Drew, D. and Wattleworth, J., Gap Acceptance and Traffic Interaction in the Freeway Merging Process, Texas A&M University, 1966
12. Fukutome, I. and Moskowitz, K, Traffic Behavior and On-ramp Design, HRB Bulletin 235, HRB, Washington, D.C, 1960
13. TRB, Highway Capacity Manual : Special Report 209, Washington, D.C., 1985
14. TRB, Highway Capacity Manual : Special Report 209 Third Edition,, Washington, D.C., 1994
15. Michales, D. and Fazio, I, Driver Behavior Model of Merging, TRR 1213, Washington, D.C., 1985
16. TTRC, Capacity of Ramp-Freeway Junctions, NCHRP 3-37, Interim Report, 1991
17. Roess, R.P., and Ulerio, J.M., Capacity of Ramp-Freeway Junctions, Final Report, NCHRP Project 3-37, Polytechnic University Brooklyn, N.Y. 1993