

고속도로 분기부에서의 감속차로 길이에 관한 연구

A Study on the Length of Deceleration Lane at Freeway Diverging Areas

김동녕*

Kim, Dong Nyong

Abstract

At present, the length of deceleration lane at freeway diverging areas are designed based on the design speed of main lines and ramps. This is possible on assumption that diverging vehicles decelerate at deceleration section after moving to shoulder lane in advance. But with high diverging volume, several vehicles will try to change to exit lane at the same time. This will cause the distribution of main lane flows or some vehicles may encounter short deceleration length because they miss the proper time to change the lane. The purpose of this study is to establish a design guideline of the length of deceleration section considering the volume of diverging traffic. Also, the results of analysis by the FRESIM simulation model shows that some improvements in respect of delays, speeds and speed deviations of mainline and deceleration lane.

Keywords : diverging areas, deceleration lane, critical headway, time headway distribution model

요 지

현재 고속도로 분기부의 감속차로길이 설계는 본선 및 연결로의 설계속도를 고려하여 감속에 요구되는 길이인 감속구간을 고려하고 있다. 이는 유출 차량이 분기부 이전에 노견측차로에 진입하여 변이구간을 통해 감속구간에서 감속을 진행한다는 전제가 필요하다. 그러나 진출하려는 연결로 교통량이 많아지면 동시에 여러 대가 감속차로로 진입하는 상황이 발생한다. 이것은 본선교통량의 흐름을 방해하거나 뒤늦게 감속차로에 진입하여 충분한 감속구간을 확보하지 못하게 하는 원인이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 유출교통량의 크기를 고려하여 분기부에서의 동시진입 상황시 본선의 주행성을 확보하면서 진출차량이 감속차로로 안전한 차로변경을 하기 위한 감속구간 확장길이와 이에 대한 방법론을 제시하는데 목적이 있다. 본 연구의 결과를 FRESIM을 통해 효과분석을 한 결과 분기부의 본선 및 감속차로에서의 차량당 지체의 감소와 평균속도의 증가 그리고 차로별 속도편차의 감소효과를 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 고속도로 분기부, 감속차로, 임계차간간격, 차두시간 확률 분포모형

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

유출하려는 차량은 일반적으로 분기부 이전에 설치된 안내 표지를 통해 유출로의 존재를 인식하고 노견측차로로의 차로변경, 변이구간 및 감속구간으로의 진입과 감속, 연결로 진입. 이상의 과정을 통해 고속도로에서 간선도로로 유출하게 된다.

여기서 감속구간은 본선의 설계속도에서 Ramp의 설계속도까지 감속을 위한 길이만을 정하고 있어 모든 진출차량은 감속차로 시점부에서 진입할 것이라는 전제를 하고 있다. 그러나 실제 교통상황에서는 일반적인 유출과정을 통해 감속차로로 진입하려는 차량과 미리 노견측차로에 진입하지 못하고 본선에서 도중에 진입하려는 차량간 진입부에서 상충이 발생하는 상황 즉, 동시진입 상황이 발생할 수 있으며

이것은 감속차로의 교통량에 따라 달라질 것이다.

따라서 감속구간 설계시 동시진입 상황을 고려한 감속차로 진입부의 확장이 요구되며 이때 동시진입 상황은 감속차로의 교통량에 따라 달라지므로 감속차로의 교통량을 고려하여야 할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 분기부에서의 동시진입 상황시 본선의 주행성을 확보하면서 진출차량이 감속차로로 안전한 차로변경을 하기 위한 감속차로 교통량을 고려한 감속구간 확장길이를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위

본 연구는 단일 감속차로를 갖는 고속도로 분기부의 감속구간을 공간적 범위로 하며 본선 및 Ramp의 지·정체가 없는 자유교통류 상태를 대상으로 한다.

*정희원 · 교신저자 · 단국대학교 공학대학 토목환경공학과 교수 (E-mail : kdng@dankook.ac.kr)

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1 국내의 설계기준

「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서는 다음과 같이 제시하고 있다.

“변속차로중 감속차로의 길이는 다음 표의 길이 이상으로 하여야 한다. 다만, 연결로가 2차로인 경우 감속차로의 길이는 다음 표의 길이의 1.2배 이상으로 하여야 한다.”

표 1. 국내의 감속차로 설계기준

본선설계속도 (킬로미터/시간)		120	110	100	90	80	70	60
연결로 설계속도 (km/h)	80	120	105	85	60	-	-	-
	70	140	120	100	75	55	-	-
	60	155	140	120	100	80	55	-
	50	170	150	135	110	90	70	55
	40	175	160	145	120	100	85	65
	30	185	170	155	135	115	95	80

2.1.1 변이구간 길이의 계산

평행식 감속차로의 변이구간길이의 계산법에는 다음과 같은 세 가지 방법이 있다.

- ① 자동차가 한 차로를 변경하는 데 필요한 시간(3~4초)으로 계산하는 방법
- ② S형 주행의 궤적을 배향곡선으로서 계산하는 방법
- ③ 배향곡선 사이에 직선을 삽입하는 방법

$$T = \frac{1}{3.6} V_a \times t \quad (1)$$

2.1.2 감속차로 길이의 계산

감속차로의 길이는 다음의 세 가지 요소를 기준으로 하여 정해진다.

- ① 자동차가 감속차로에 진입할 때의 도달속도
- ② 자동차가 감속차로를 주행 완료하였을 때의 속도
- ③ 감속의 방법 또는 감속도

$$S = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{50.8} \quad (2)$$

여기서, S : 브레이크를 밟으면서 주행한 거리(m)

v_1 : 유출부 평균 주행속도(m/sec)

v_2 : 감속차로 시점부 도달속도(m/sec)

d : 감속도(1.96m/sec²)

V_1 : 유출부 평균 주행속도(km/h)

V_2 : 감속차로 시점부 도달속도(km/h)

2.2 외국의 설계기준

2.2.1 미국의 설계기준

감속차로 연장과 변이구간(테이퍼)연장을 본선과 램프의 설계속도별로 차등을 두어 설치하며 표 2와 같다.

2.2.2 독일의 설계기준

본선과 램프의 설계속도별로 차등을 두지 않고 본선출구유

표 2. 미국의 감속차로 설계기준

출구 곡선 V 설계 속도(km/h)에 대한 감속 길이, L(m)									
도로 설계 속도 V (km/h)	도달 속도 V_a (km/h)	정지 조건	20	30	40	50	60	70	80
		출구 곡선에서의 평균 주행 속도, V_a (km/h)							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	47	75	70	60	45	-	-	-	-
60	55	95	90	80	65	55	-	-	-
70	63	110	105	95	85	70	55	-	-
80	70	130	125	115	100	90	80	55	-
90	77	145	140	135	120	110	100	75	60
100	85	170	165	155	145	135	120	100	85
110	91	180	180	170	160	150	140	120	105
120	98	200	195	185	175	170	155	140	120

형과 연결램프유형을 구분하여 유형에 따라 감속차로 길이가 결정되며 다음과 같다.

표 3. 독일의 감속차로 설계기준

본선 차로 수		RAMP 차로수	테이퍼 길이	감속 차로	비고
유입부	본선				
2	2	1	60	190	
2	2	2	60	190	(본선 1차로 포함)
2	3	2	120	380	
3	3	2	60	440	

2.2.3 일본의 설계기준

본선 설계속도가 높은 것은 연결로 주행속도도 높다고 가정하여 본선설계속도에 따라서 그 길이를 정하였으며 다음과 같다.

표 4. 일본의 감속차로 설계기준

도로의 구분	제 1종, 제 2종, 제 3종 도로					
본선 설계속도(km/h)	120	100	80	60	50	40
변이구간을 제외한 감속차로 길이(m)	100	90	80	70	50	30
평행식 감속차로의 표준 변이구간 길이(m)	70	60	50	45	40	40

3. 연구 방법론

고속도로 분류부에서의 위험은 진출목적의 차량으로 인한 차로변경과 이에 따른 가·감속이 주요 원인이며 특히, 감속차로 진입부에서의 동시진입 상황은 위험요소가 될 수 있거나 감속할 경우 본선흐름에 영향을 줄 수 있다. 여기서 동시진입 상황이란, 진출하려는 차량이 감속차로의 진입부 이전에 미리 근접차로에 진입하여 변이구간을 통해 감속구간에 진입하려는 차량과 미리 근접차로에 진입하지 못하고 본선의 근접차로 외 차로에서 감속차로에 진입하려는 차량간 진입부에서의 상충상황을 말하며 그림 1과 같다.

동시진입 상황시 진출차량으로 인한 본선의 혼란을 방지하

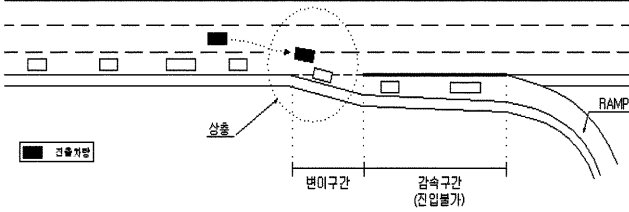


그림 1. 동시진입 상황

고 감속차로로의 안전한 차로변경을 위해서는 진출차량은 본선의 설계속도 이상으로 본선을 주행하면서 감속차로의 안전한 차간간격을 탐색하여 차로변경을 수행하여야 한다. 여기서 분류부 시점으로부터 진출차량이 감속차로로 차로변경하기까지의 거리를 찾는 것이 본 연구의 목적이며 곧 감속차로 확장길이에 해당한다. 이를 위해 우선은 안전한 차로변경을 위해 요구되는 차간 간격, 즉 임계차간간격의 정의가 필요하며 이 임계차간간격은 감속차로의 교통량에 의한 차두간격분포에 따라 달라지므로 감속차로의 교통량에 따라 감속차로 교통류의 차두시간확률분포 모형을 결정하고 결정된 임계차간간격이 차두간격분포에서 발생할 확률을 찾아 추월해야 할 감속차로의 차량수를 산정하여 진출차량이 감속구간에 진입하기까지의 시간 및 이론적 요구거리를 산정하게 된다.

이와 같은 전체적인 연구의 흐름은 그림 2와 같다.

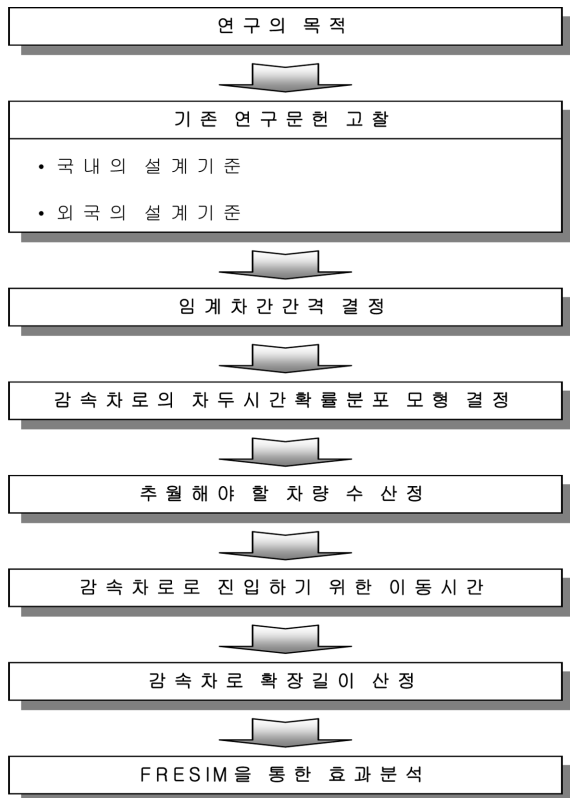


그림 2. 연구수행 과정

3.1 임계차간간격 결정

임계차간간격은 진출차량이 안전하게 감속차로로 진입하기 위한 감속차로 내 선행차와 후행차간의 간격으로 그림 3과 같다.

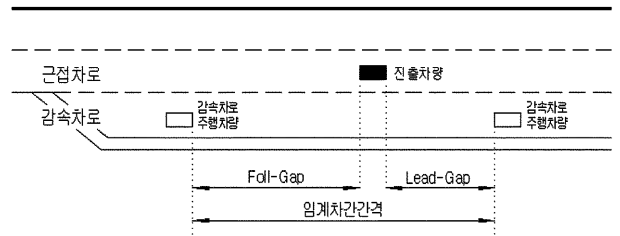


그림 3. 임계차간간격

본 연구에서는 임계차간간격의 결정에 있어 현장 데이터를 바탕으로 한 기존연구에서의 Raff에 의해 제시된 임계차간간격과 차로변경이론 및 추종이론을 통해 결정된 임계차간간격을 검토하였다.

Raff가 제시한 임계차간간격은 일반적으로 사용되는 방법으로 현장조사를 바탕으로 운전자가 수락한 간격과 거절한 간격을 누적시킨 곡선의 교차점을 정의하는 방법으로 그림 4와 같다.

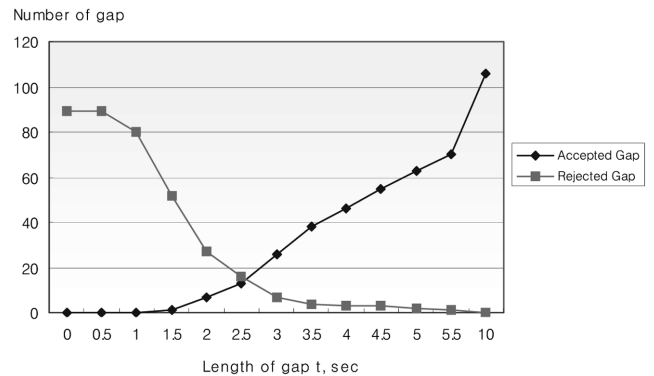


그림 4. Raff의 임계차간간격 산출방법

차로변경이론 및 추종이론에서의 임계차간간격은 추종이론에서의 차량간 최소안전거리와 차로변경차량과 선행차량, 후행차량간의 속도차로 차로변경시간동안 이동한 거리를 고려하여 산정되며 기본 식은 다음과 같다.

$$G_{L,min} = G_{min} + C_l(V_S - V_L), \quad \text{if } V_S > V_L$$

$$G_{min} + 0, \quad \text{if } V_S < V_L$$

$$G_{F,min} = G_{min} + C_f(V_S - V_F), \quad \text{if } V_F > V_L$$

$$G_{min} + 0, \quad \text{if } V_F < V_L$$

$$\text{임계차간간격} = G_{L,min} + G_{F,min}$$

여기서, $G_{L,min}$ = 선행차와의 최소수락간격(m)

$G_{F,min}$ = 후행차와의 최소수락간격(m)

V_S = 차로변경 차량의 속도(m/s)

V_L = 선행차량의 속도(m/s)

V_F = 후행차량의 속도(m/s)

G_{min} 은 최소안전거리로 차량간 속도차와는 무관한 값으로 추종이론에서 (Car-following theory) 찾을 수 있으며 동시에 이 부분은 추종이론에서 차로변경시와 합류부에서의 문제점을 설명하기 위한 연결 부분이다.

위 식에서 두 번째 term은 목적차량과 선행차량, 후행차량간의 속도차로 차로변경시간동안 이동한 거리를 고려해 주

는 부분이므로 C_f, C_l 은 차로변경시간이다.

3.2 감속차로의 차두시간 확률분포 모형

위에서 결정된 임계차간간격이 감속차로에서 발생하는 시점을 찾아야 하며 이 발생시점은 감속차로의 교통량에 따른 차두시간 분포에 따라 달라질 것이다.

기존의 차두시간 분포모델은 크게 3가지로 분류되는데 무작위로 도착하는 낮은 교통량 상태에서는 포아슨 분포(Poisson Count Distribution)로부터 유도된 음지수 분포(Negative Exponential Distribution), 높은 교통량상태에서는 정규분포(Normal Distribution), 교통량 패턴이 중간상태일 때는 일반화된 수학적 모델로써 Pearson Type III 분포가 있다.

3.3 감속차로 교통량에 따른 추월 차량 수 산정

본 단계는 위에서 산정된 임계차간간격이 감속차로의 교통량에 따른 차두시간 분포에서 발생할 경우 발생하는 임계차간간격과 간격 사이에 위치하는 차량의 수, 즉 진출차량이 임계차간간격을 발견하고 추월해야 할 차량 수를 산정하는 단계이다.

감속차로 시점부에서 동시진입 상황시 진출차량은 감속차로의 차두간격을 탐색하며 이때, 감속차로의 첫 번째 차두간격이 임계차간간격 t 이상일 확률 $P(h>t)$ 는 감속차로의 차두시간 확률분포 모형에서 산정할 수 있다. 첫 번째 차두간격이 임계차간간격 보다 작을 경우 진출차량은 첫 번째 차를 추월하여 두 번째 차두간격을 탐색한다. 이러한 과정을 목표한 신뢰도를 만족할 때까지 수행하였으며 n 번째 차두간격이 t 이상일 확률은 다음과 같다.

$$P_n(h>t) = P_{(n-1)}(h>t) + P_1(h>t) \times (1 - P_1(h>t))^{n-1} \quad (3)$$

여기서, $P_1(H>t)$: 첫 번째 차두간격이 t 이상일 확률

$P_{n-1}(H>t)$: $n-1$ 번째 차두간격이 t 이상일 확률

$P_n(H>t)$: n 번째 차두간격이 t 이상일 확률

3.4 감속차로로 진입하기 위한 이동시간

분류부 진입부에서 동시진입 차량은 위에서 산정된 차량군내 차량수를 본선을 주행하며 추월해야 비로소 안전한 차로변경을 위한 임계차간간격에 해당하는 차량군간 차간간격을 찾을 수 있으며 이에 소요되는 시간은 다음 식과 같다.

$$T = \frac{(n-1) \times H_d}{V_s - (V_F, V_L)} \quad (4)$$

여기서,

T : 임계차간간격 발생위치까지의 이동시간(sec)

$n-1$: 임계차간간격이 발생하기까지 추월해야 할 차량수

H_d : 차량군내 평균차두거리(m)

V_s : 본선 설계속도(m/s)

V_F, V_L : 감속차로 시점부 진입속도(m/s)

여기서, n 은 감속차로 교통류 내에서 발생하는 두 임계차간간격 사이의 차량군에 포함된 차량 수로써 동시진입 상황시를 기준으로 하므로 추월해야 할 차량수는 $(n-1)$ 이 되며 그림 5와 같다.

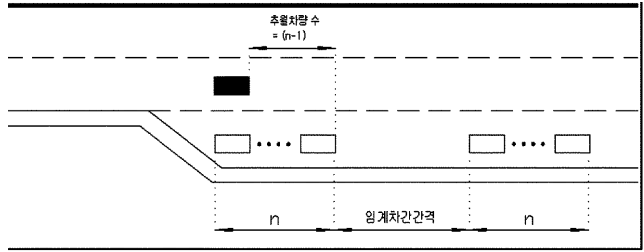


그림 5. 임계차간간격이 발생하기까지 추월해야 할 차량수

또한, 차량군내 평균차두거리 H_d 는 목적차량이 추월하는 차량군내 차량들의 평균차두거리이다. 이 차두거리는 $0 \text{ sec} < \text{차량군내 평균차두거리} < \text{임계차간간격}$ 범위에서 다양하게 분포한다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 차량군내 차량들의 차두간격을 평균 차두간격으로 적용하였으며 이 값은 교통량에 따라 구분된 차두시간 분포 모형에서 임계차간간격보다 작은 차두간격에 대해 발생빈도를 각각의 차두시간에 가중 평균하여 산정하였으며 산정식은 다음과 같다.

$$H_d = \frac{H_{t1} \times f_1 + H_{t2} \times f_2 + \dots + H_{tm} \times f_m}{f_1 + f_2 + \dots + f_m} \times V_{(L,F)} \quad (5)$$

여기서,

H_d : 차량군 내의 평균차두거리(m)

H_t : 교통량에 따른 차두시간분포 모형에서의 차두 시간(sec, $H_t < \text{임계차간간격}$)

f : 교통량에 따른 H_t 에 대한 빈도(frequency)

$V_{(L,F)}$: 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서 제시한 감속차로 시점부 도달속도

따라서, 진출차량이 감속차로로 진입하기 위해 요구되는 거리는 추월 차량수 $(n-1)$ 과 차량군 내 평균차두거리를 곱해줌으로써 얻을 수 있으며 본선에서 감속차로로 진입하기까지의 소요시간은 위에서 구해진 이동거리를 노면속도로의 진출차량과 감속차로 주행차량간의 상대속도로 이동하는데 소요되는 시간이며 이때 상대속도는 본선설계속도와 감속차로 시점부 진입속도와 차가 된다.

3.5 감속구간 확장길이

이 거리는 위에서 산정된 본선에서 감속차로로 진입하기까지의 소요시간 동안 본선의 진출차량이 이동한 거리이며 여기서 진출차량의 차로변경과정에서 본선 교통류의 흐름에 영향을 주지 않으려면 진출차량은 본선의 설계속도 이상으로 주행하면서 감속차로로 차로변경이 이루어져야 하므로 목적 차량의 속도는 본선의 설계속도 이상이어야 한다.

분류부에서 동시진입 상황과 감속차로의 교통량을 고려한 감속구간 확장길이는 다음 식에 의한다.

$$D' = V_s \times T \quad (6)$$

여기서, D' : 감속구간 확장 길이(m)

V_s : 진출차량의 속도(m/s)

T : 임계차간간격 발생위치까지의 이동시간(sec)

4. 결과 및 모형의 검증

위 방법론에 의한 단계별 결과는 다음과 같으며 최종으로 산정된 적정 감속구간 길이를 FRESIM을 통해 재현하여 효과분석을 수행하였다.

4.1 임계차간간격

현장조사를 바탕으로 Raff는 임계차간간격을 2.5sec로 제시하였으며 차로변경이론 및 추종이론에서의 임계차간간격은 3.7sec로 산정되었다. 본 연구에서 두 임계차간간격에 대해 감속구간 길이를 산정한 결과 차로변경이론 및 추종이론에서의 임계차간간격 3.7sec를 적용하였을 경우 다소 비현실적이라 판단되어 Raff에 의해 제시된 2.5sec를 최종 임계차간간격으로 결정하였다.

4.2 감속차로의 차두시간 확률분포

교통량에 따른 차두시간 분포모델의 적용시 모델간 경계가 되는 교통량의 구분이 명확하지 않으므로 본 연구에서는 감속차선의 교통량에 따른 차두시간 분포 형태를 무작위 형태(100vph~600vph)와 중간형태(600vph~1000vph)로 구분하여 음지수 분포와 Pearson Type III로 각각 적용하였다.

4.3 감속차로 교통량에 따른 추월 차량 수

감속차로의 차두시간분포에서 임계차간간격 2.5sec 미만의 차두간격을 갖는 차량들은 하나의 차량군으로 볼 수 있다. 여기서 차량군내의 차량수가 증가할수록 차량군간의 차두간격이 2.5sec 이상이 될 확률은 증가하며 차량군내의 차량수는 곧 임계차간간격 발생지점까지의 거리를 의미한다.

본 연구에서는 90%의 신뢰도로 차량군간에 2.5sec 이상의 간격이 발생할 확률을 산정하였으며 결과는 다음과 같다.

여기서, 보통 공학적 분석에서 95%의 신뢰도를 많이 적용하지만 신뢰도를 높일 경우 감속차로 길이가 지나치게 증가할 우려가 있어 90%를 적용하였다.

표 5. 차량군간 차두간격이 2.5sec 이상 있을 확률 및 추월 차량 수

차두시간 분포	감속차로 교통량 (vph)	차량군 내 차량 수							추월차량수(n) 신뢰도 90%
		1	2	3	4	5	6	7	
음지수 분포	100	0.933	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
	200	0.870	0.983	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	2
	300	0.812	0.965	0.993	0.999	1.000	1.000	1.000	2
	400	0.757	0.941	0.986	0.997	0.999	1.000	1.000	2
	500	0.707	0.914	0.975	0.993	0.998	0.999	1.000	2
	600	0.659	0.884	0.960	0.986	0.995	0.998	0.999	3
Pearson Type	700	0.614	0.851	0.942	0.978	0.991	0.997	0.999	3
	800	0.572	0.817	0.922	0.966	0.986	0.994	0.997	3
	900	0.529	0.778	0.896	0.951	0.977	0.989	0.995	4
	1000	0.488	0.738	0.866	0.931	0.965	0.982	0.991	4

4.4 감속차로로 진입하기 위한 이동시간

그 결과 임의의 교통량 각각에 대해 0~2.5sec 범위의 차두시간을 범위로 빈도를 가중평균하여 산출한 평균 차두시간간격은 1.42sec로 산정되었다. 여기서 위 식 (5)에서 차두거리 H_d 는 시간적 개념이므로 산출된 평균 차두시간을 거리 개념으로 바꾸어야 하며 감속차로 시점부 주행차량에 대한 차두거리이므로 본선 설계속도에 따른 감속차로 시점부 진입속도를 곱해줌으로써 구할 수 있다. 본선설계속도에 대한 감속차로 차량군내 차량의 평균차두거리는 다음과 같다.

표 6. 차량군 내 평균차두거리(H_d)

본선	설계속도(km/h)	120	110	100	90	80	70	60	50
	감속차로 시점부 도달속도(km/h)	98	91	85	77	70	63	55	47
차량군내 평균 차두거리, m		39	36	34	30	28	25	22	19

본선의 진출차량이 감속차로로 진입하기까지의 소요시간은 식 (5)에 의해 다음과 같다.

표 7. 감속차로로 진입하기까지의 소요시간 (sec)

감속차로 교통량 (vph)	추월 차량수 (대)	본선 설계속도 및 감속차로 시점부 진입속도(km/h)		
		120	100	80
		98	85	70
100	0	0.0	0.0	0.0
200	1	4.4	4.8	4.0
300	1	4.4	4.8	4.0
400	1	4.4	4.8	4.0
500	1	4.4	4.8	4.0
600	2	8.7	9.6	7.9
700	2	8.7	9.6	7.9
800	2	8.7	9.6	7.9
900	3	13.1	14.5	11.9
1000	3	13.1	14.5	11.9

4.5 감속구간 확장길이

식 (6)에서 진출차량의 속도를 본선 설계속도와 추월시 가속을 고려한 본선 설계속도에 10km/h 증가된 속도, 두 개의 경우를 가정하여 산정한 결과 가속한 속도 적용시의 감

가속한속도 적용, 신뢰도 90%(임계차간간격:2.5sec)

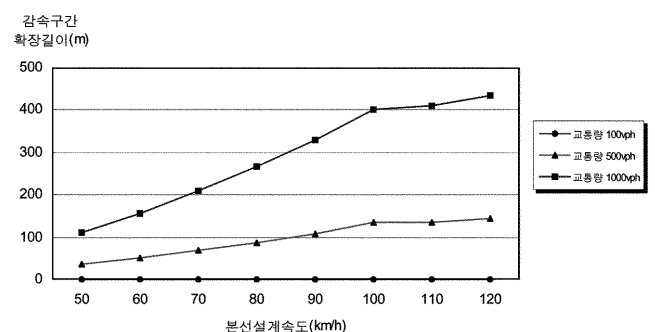


그림 5. 감속구간 확장길이

속구간 길이가 적절하다고 판단되며 최종 감속구간 확장 길이는 다음과 같다

표 8. 가속한 속도 적용시 감속구간 확장 길이

본선 설계 속도 (km/h)	감속차로 교통량 (vph)	연결로 설계속도(km/h)				
		40	50	60	70	80
80	100	100	90	80	55	0
	200	188	178	168	143	88
	300	188	178	168	143	88
	400	188	178	168	143	88
	500	188	178	168	143	88
	600	277	267	257	232	177
	700	277	267	257	232	177
	800	277	267	257	232	177
	900	365	355	345	320	265
	1,000	365	355	345	320	265
100	100	145	135	120	100	85
	200	279	269	254	234	219
	300	279	269	254	234	219
	400	279	269	254	234	219
	500	279	269	254	234	219
	600	413	403	388	368	353
	700	413	403	388	368	353
	800	413	403	388	368	353
	900	547	537	522	502	487
	1,000	547	537	522	502	487
120	100	175	170	155	140	120
	200	320	315	300	285	265
	300	320	315	300	285	265
	400	320	315	300	285	265
	500	320	315	300	285	265
	600	465	460	445	430	410
	700	465	460	445	430	410
	800	465	460	445	430	410
	900	610	605	590	575	555
	1,000	610	605	590	575	555

4.6 현재 설계기준과의 비교

현재 도로의 「구조·시설 기준에 관한 규칙」에서 제시하는 감속차로중 변이구간을 제외한 감속구간의 길이는 본선과 연결로의 설계속도에 따라 구분되어 있다. 본 연구에서 산정한 감속구간 확장길이는 위 설계기준값이 확보된 상태

표 9. 현재 설계기준과의 비교

본선 설계속도	80(km/h)			100(km/h)		
	감속차로 길이, (m)		증가율	감속차로 길이, (m)		증가율
	설계기준	본연구		설계기준	본연구	
100vph	100	100	1.0	145	145	1.0
500vph		188	1.9		279	1.9
1,000vph		365	3.7		547	3.8

에서 감속차로의 교통량에 따라 확장되어야 할 길이를 제시한 것이므로 현재 설계기준상의 연결로 설계속도 각각에 대한 본선 설계속도에 따른 감속구간 길이에 본 연구의 감속구간 확장길이를 반영하면 최종의 감속구간 길이가 되며, 연결로의 설계속도가 40km/h일 경우에 대해 비교한 결과는 다음과 같다.

현재 설계기준과의 비교

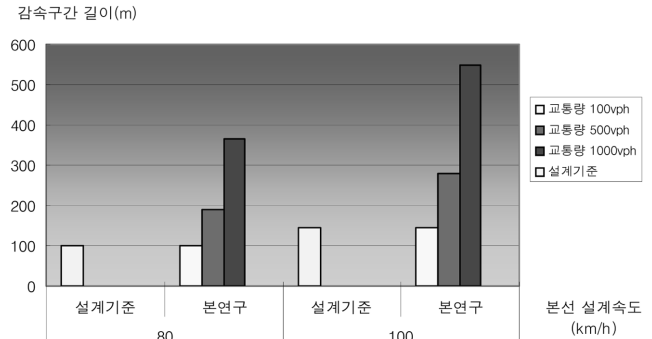


그림 6. 현재 설계기준과의 비교 그래프

4.7 효과분석

본 연구에서 최종으로 제시한 적정 감속구간 확장길이를 도로의 「구조·시설 기준에 관한 규칙」에 규정된 감속구간 길이에 반영하여 현재기준과 확장후의 효과를 분석하였다.

효과분석은 미시적 고속도로 시뮬레이션 모델인 FRESIM을 사용하여 연결로 설계속도 40km/h, 본선 설계속도 100 km/h로 운영되는 1차로의 감속차로 및 유출로를 갖는 본선 4차로의 분류부를 재현하였으며 본선의 교통량은 도로용량편람에서 제시한 고속도로 기본구간의 서비스 수준 A, C, E 상태의 교통량으로, 감속차로의 교통량은 500vph, 1,000vph로 하여 각각의 경우를 조합하여 분석을 수행하였다.

효과척도로는 고속도로 본선과(노즈부 시작점에서 변이구간 상류 200m지점) 감속차로의 속도 및 지체를 산정하여 고속도로의 기능적인 측면에서의 효과를 분석하였고 고속도로 본선의(노즈부 시작점에서 변이구간 상류 200m지점) 차로별 속도편차를 통해 안전성 측면에서의 효과를 분석하였다. 여기서 차로별 속도편차는 차로별 속도의 분포를 나타내는 것으로 편차가 클수록 운행조건 향상을 위한 임의차로변경과 가·감속을 유발하므로 그만큼 위험성은 증가한다고 볼 수 있다.

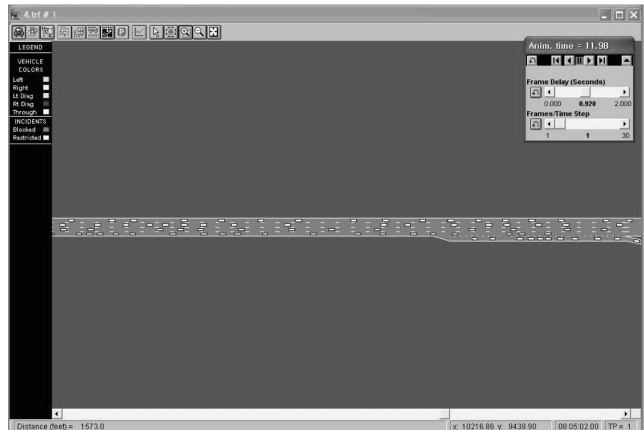


그림 7. FRESIM을 통한 효과분석 예시(현재 기준)



그림 8. FRESIM을 통한 효과분석 예시(본 연구)

분석결과 본선 설계속도 100km/h에서 본선 교통량이 서비스 수준 A, C일 경우 감속차로의 속도가 차량당 18~34km/h 증가되었고 본선의 지체 및 속도 속도편차 그리고 감속차로의 지체면에서의 개선효과는 미비하였으며 본선 교통량이 서비스 수준 E일 경우 본선의 지체는 차량당 33.3sec 감소, 속도는 8.7~45.4km/h 증가, 속도편차는 0.6~16.8km/h 감소되었고 감속차로의 지체는 1.6~4.9sec 감소, 속도는 30.8~40.0km/h 증가되었으며 표 10과 같다. 즉, 개선효과는 본선과 감속차로의 교통량이 많은 상태일수록 본선 및 감속차로에서의 지체 및 속도 그리고 속도편차에서의 개선효과는 크게 나타났으며 그 중에서도 이러한 개선효과는 근접차로인 본선 4차로에서 더욱 크게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 감속차로 설계기준의 문제점을 제기하고 적절한 감속구간 확장길이 산정을 위한 방법론과 길이를 제시하였으며 적정 감속구간 길이에 대한 효과분석을 수행하였다..

즉, 동시진입상황과 감속차로 교통량을 고려하여 유출목적의 차량이 안전하게 감속차로로 진입하기 위해 요구되는 간격인 임계차간간격을 결정하였으며 감속차로의 교통량에 따라 차두시간분포 모형을 결정하여 여기서 임계차간간격이 발생할 확률과 진출차량이 감속차로에 진입하기 위해 추월해야 할 차량 수를 산정하였다. 마지막으로 진출차량의 속도와 신뢰도를 다양하게 가정하여 교통량에 따른 감속구간 확장길이를 산정하였으며 그 중 적정 감속차로 길이를 제시하였다.

그 결과 감속구간의 확장길이는 감속차로의 교통량에 따라 0m~435m로 산정되었으며 현재 기준과 비교할 때 1.0~3.8배 증가한 길이이다.

또한 결과를 FRESIM을 통해 재현하여 효과분석을 수행한 결과 본선교통량이 비교적 적은 서비스 수준 A, C 상태에서는 개선효과가 미비하였으나 교통량이 많은 서비스 수준 E상태에서는 본선과 감속차로에서 지체의 감소, 속도의 증가를 통해 기능적인 측면에서의 개선효과와 본선의 차로별 속도편차의 감소를 통해 안전적인 측면에서의 개선효과를 확인할 수 있었다.

이는 차량동력학적 요구거리만을 감속구간 길이로 정하고

표 10. 효과분석 결과(본선설계속도 100km/h, 본선 LOS : E)
(차량당)

구분	본선		감속구간		차로차로	지체(sec)	속도(km/h)	속도편차(km/h)	
	설계속도(km/h)	교통량(vph)	길이(m)	교통량(vph)					
설계기준			127		본선	1차로	5.2	84.5	9.8
						2차로	5.9	82.9	8.2
						3차로	9.0	76.1	1.4
						4차로	22.8	55.3	-19.3
					감속차로	7.2	49.9	-	
본연구	100	8,800	530	1,000	본선	1차로	2.1	93.2	1.4
						2차로	2.0	93.0	1.2
						3차로	2.3	91.7	-0.1
						4차로	3.1	89.3	-2.5
					감속차로	2.3	89.9	-	
개선효과			+403		본선	1차로	-3.1	+8.7	-8.4
						2차로	-3.9	+10.1	-7.0
						3차로	-6.7	+15.6	-1.3
						4차로	-19.7	+34.0	-16.8
					감속차로	-4.9	+40.0	-	
설계기준			127		본선	1차로	20.1	58.6	5.0
						2차로	21.1	57.4	3.9
						3차로	24.0	54.2	0.7
						4차로	36.4	43.9	-9.6
					감속차로	3.9	59.1	-	
본연구	100	8,800	260	500	본선	1차로	2.1	93.2	1.4
						2차로	2.0	93.0	1.2
						3차로	2.3	91.7	-0.1
						4차로	3.1	89.3	-2.5
					감속차로	2.3	89.9	-	
개선효과			+133		본선	1차로	-18.0	+34.6	-3.6
						2차로	-19.1	+32.6	-2.7
						3차로	-21.7	+37.5	-0.6
						4차로	-33.3	+45.4	-7.1
					감속차로	-1.6	+30.8	-	

주 1) (-)는 감소를 (+)는 증가를 의미.

주 2) 속도편차는 본선 평균속도와 해당차로의 속도간 차이를 의미.

있는 상황에서 발생 가능한 동시진입 상황시 진출차량으로 인한 본선의 혼란을 방지하고 안전한 감속차로로의 진입을 확보할 수 있으리라 판단된다.

하지만 연구에 있어 감속차로의 교통량에 따른 정확한 차두분포를 조사하여 이에 적합한 차두시간확률분포 모형을 결정하고, 운전자 행태 중 양보에 대한 분석과 반영이 있었다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

향후연구로는 본 연구결과가 주로 모형실험에 의존하여 나온 값이므로 실제 적용하기 위해서는 현장자료를 조사하여 검증할 필요가 있다. 또한 본 논문의 가정사항이 내재적인 한계를 가지고 있기 때문에 본 연구결과가 동일한 한계를 가지고 있다

감사의 글

이 연구는 2006학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

- 건설교통부(2000) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, pp. 435~445.
- 김병성(2002) 고속도로-분류부 구간의 교통 특성 분석 및 교통분포 모형식 개발, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제10권 제20호, pp. 9~22.
- 문재필(1997) 2차로 도로의 차두시간 분포 모델에 관한 연구, 석사학위논문, 단국대학교 대학원.
- 이광원(1996) 고속도로 1차선 유입연결로의 속도와 교통량 및 가

- 속차선 길이와의 관계에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교 대학원.
- 정희빈(2000) 차량추종이론을 통한 자동주행도로상의 차량군 교통행태와 안전성 분석, 석사학위논문, 이주대학교 대학원.
- Geometric Design of Highway and Streets (2001) American Association of State Highway and Traffic Officials, pp. 853~860
- May, A.D. (1990) *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall.
- Kazi I. Ahmed, Modhe E. Ben-Akira, Haric N. Koutsopoulos, Rabig. Mishalani (1996) Models of Freeway Lane Changing And Gap acceptance Behavior, *Transportation and Traffic Theory*.
- Kazi Iftekhar Ahemed (1999) Modeling Drivers Acceleration and Lane Changing Behavior.
- William R. Mcshane, Roger P. Roess, Elena S. Prassas (1998) *Traffic Engineering*, Prentice Hall.
- (접수일: 2008.12.24/심사일: 2009.1.16/심사완료일: 2009.1.16)