

설계일관성을 반영한 감가속도 프로파일 개발

- 지방부 다차로도로를 중심으로 -

Acceleration and Deceleration Profile Development of Reflecting Road Design Consistency

최재성	Choi, Jaisung	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail: traffic@uos.ac.kr)
이종학	Lee, Jong-hak	한국산업관계연구원 수석연구원 · 교신저자 (E-mail: jonghack2000@hanmail.net)
정상민	Chong Sang min	주식회사 건영이엔씨 대표 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail: chongcck@hanmail.net)
조원범	Cho, Won Bum	정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail: worber@kict.re.kr)
김상엽	Kim, Sangyoup	정회원 · 전북발전연구원 부연구위원 (E-mail: road@jthink.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Previous Speed Profile reflects the patterns of speeds in sections of tangents to curves in the roads. However these patterns are uniform of speeds and Acceleration/Deceleration. In order to supplement these shortcomings, this study made a new profile which can contain factors of Acceleration/Deceleration through theories of Previous Speed Profiles.

METHODS : For sakes, this study developed the speed prediction model of Rural Multi-Lane Highways and calculated Acceleration/Deceleration by applying a Polynomial model based on developed speed prediction model. Polynomial model is based on second by second. Acceleration/Deceleration Profile is developed with the various scenarios of road geometric conditions.

RESULTS : The longer an ahead tangent length is, The higher an acceleration rate in curve occurs due to wide sight distance. However when there are big speed gaps between two curves, the longer tangent length alleviate acceleration rate.

CONCLUSIONS : Acceleration/Deceleration Profile can overview the patterns of speeds and Accelerations/Decelerations in the various road geometric conditions. Also this result will help road designer have a proper guidance to exam a potential geometric conditions where may occur the acceleration/deceleration states.

Keywords

acceleration and deceleration profile, speed profile, road design consistency, running speeding, road safety

Corresponding Author : Lee, Jong Hak, Senior Researcher
Korea Institute for Industrial Research, 173, No. 501, Elysia the
knowledge Industry Center Building, Digital-ro, Geumcheon-gu,
Seoul, 153-801, Korea
Tel : +82.2.588.2162 E-mail : jonghack2000@hanmail.net

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

도로 기하구조의 안전성을 평가할 수 있는 방법은 여러 가지가 있지만, 가장 널리 알려져 있는 방법론은 주

행속도 프로파일을 이용하여 도로 기하구조의 설계 일관성을 평가하는 방법이다. 속도프로파일은 램이 제안하여 도로구간의 주행속도에 따른 사고안전성을 평가하

기 위해서 개발되었으며 주행속도(V85)¹⁾ 차이를 분석하여 도로구간의 안전성 평가를 3가지로(우수, 양호, 불량) 구분하였다(AASHTO, 1995). 램의 이론은 속도프로파일을 적용하여 안전성 평가를 수행하는데 있어서 유용한 정보를 제공하고 있으나 주행속도 프로파일의 가정은 주행속도가 항상 일정하다는 가정이기 때문에 가속인지 감속인지 구분할 수 없는 한계가 있다. 실제 차량의 주행속도는 다양한 인적요소 및 도로의 다양한 환경이 존재하기 때문에 등속도 운동은 쉽게 발생하지 않는다. 최근 램의 이론의 한계점을 보완하기 위해서 평면곡선부 구간의 감가속도를 반영한 연구를 수행하였다(Kim Sangyoup, 2011). 그러나 평면직선부 구간에 대해서 기존의 한계점(등속도 및 등감가속도 등)을 보완하지는 못하고 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위해서는 도로 기하구조 유형에 따라서 순간 감가속도를 반영할 수 있는 프로파일을 개발해야 한다. 이러한 감가속도 프로파일의 필요성은 도로 기하구조 유형에 따라서 주행속도 및 감가속도의 패턴을 세밀하게 반영함으로써 사고 위험지점을 보다 명확하게 파악하여 적절한 도로설계 유형을 제시할 수 있다는 점이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 주행속도 프로파일에 대한 이론을 검토하여 감가속도를 반영할 수 있는 프로파일 개발방안을 마련하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 주행속도 예측모형

주행속도 예측모형 연구는 도로 기하구조와 주행속도와의 관계를 규명한 연구이다. 주행속도는 85백분위속도로 쓰여졌으며 주행속도에 영향을 미치는 변수로는 곡도(Degree of Curve, DC), 곡률변화율(Curvature Change Rate, CCR), 곡선반경(Radius, R) 등으로 설명할 수 있다. 이렇게 선정된 변수를 통하여 다음과 같이 도로기하구조 조건에 따른 주행속도 예측 모형을 개발할 수 있다(AASHTO, 1995). Eq. (1)은 복합곡선일 때의 CCR의 산출식이다.

$$CCR_s = \frac{(L_{C11}/2R + L_{CR}/R + L_{C12}/2R)63,700}{L} \quad (1)$$

1) 주행속도(V85)는 설계의 표준을 결정하기 위해 자유교통류 상에서의 85백분위속도의 개념으로 사용하고 있는 것으로서 보통 설계속도보다 높기 때문에 주행속도는 설계속도대신 편경사와 정지시거를 결정하는데 쓰여지고 있다.

여기서,

CCR_s : 복합곡선부에서의 곡률변화(gon/km)

L : 평면곡선부의 총 길이(km)

L_{CR} : 단일 평면곡선부의 길이(m)

R : 곡선반경(m)

Eq. (2)는 단일곡선일 때의 CCR의 산출식이다(AASHTO, 1995).

$$CCR_s = \frac{L_{CR}/R + 63,700}{L} \quad (2)$$

여기서,

CCR_s : 단일 곡선부에서의 곡률변화(gon/km)

L : 평면곡선부의 총 길이(km)

L_{CR} : 단일 평면곡선부의 길이(m)

R : 곡선반경(m)

램이 CCR과 관련하여 연구한 결과를 살펴보면, 지방부 도로에 평면선형 구간에서 2차원적인 주행속도 예측모형을 CCR을 이용할 것을 제안하였다. CCR은 다음의 Eq. (3)으로 계산된다(AASHTO, 1995).

$$CCR = \frac{57,300}{L_t} \left(\sum_i \frac{L_{ci}}{R_i} + \sum_j \frac{L_j}{2R_i} \right) \quad (3)$$

여기서,

CCR : 곡률변화율(gon/km)

L_{ci} : 평면곡선 i 길이(m)

L_j : 나선형 곡선 j 길이(m)

R_i : 평면곡선 i 의 평면곡선반경(m)

L_t : 지점의 총 길이(m)

이후, Lamm et al(1987)은 도로 폭이 3.65m인 구간 84개의 곡선지점의 자료를 이용하여 85백분위 주행속도를 예측하기 위한 회귀모형식을 개발하였다. 회귀모형식에는 CCR Eq. (4)와 곡선반경 Eq. (5)를 이용하였다.

$$V_{85} = 95.780 - 0.076 CCR \quad (4)$$

$$V_{85} = 96.152 - \frac{2,803.769}{R} \quad (5)$$

여기서,

V_{85} : 평면곡선부 85백분위 주행속도(km/h)

CCR : 곡률변화율(gon/km)

R : 평면곡선반경(m)

2.2. 주행속도 프로파일

속도 프로파일은 램이 제안하여 도로구간의 주행속도에 따른 사고안전성을 평가하기 위해서 개발되었다(AASHTO, 1995). 램의 속도 프로파일을 살펴보기 위해서 주행속도 프로파일 용어정의를 살펴보면 다음과 같다.

- $V_{85_{C_n}}$: n번째 평면곡선부 주행속도(km/h)
- $V_{85_{TMAX}}$: 평면직선부 최대속도(km/h)
- S_n : $V_{85_{C(n)}}$ 으로 진출하는 차량이 $V_{85_{TMAX}}$ 에 도달하기 위한 가속거리(m)
- S_{n+1} : $V_{85_{TMAX}}$ 로 주행하는 차량이 $V_{85_{C(n+1)}}$ 에 도달하기 위한 감속거리(m)
- L_T : 평면직선길이(m)
- L_{TS} : 평면곡선부에서 진출하는 차량이 다음 평면곡선부까지 감속하여 하류부 평면곡선부의 주행속도에 도달하기 위한 최소 직선거리(m)
- L_{TL} : 임계 직선길이로서 평면곡선부에서 진출하는 차량이 직선부에서 $V_{85_{TMAX}}$ 에 도달했다가 감속하여 하류부 평면곡선부의 주행속도에 도달하기 위한 최소 직선거리, (S_1+S_2)(m)

주행속도 프로파일은 Fig. 1~Fig. 3과 같이 3가지 유형으로 구분된다. 유형 1($L_T \geq L_{TL}$)은 평면직선길이가 충분히 길어 상류부 평면곡선에서 진출한 차량이 평면직선부에 도달한 후 다시 감속하여 하류부 평면곡선으로 진입하는 경우이다. Fig. 1은 유형 1의 주행속도 프로파일 개념도를 나타낸 것이다.

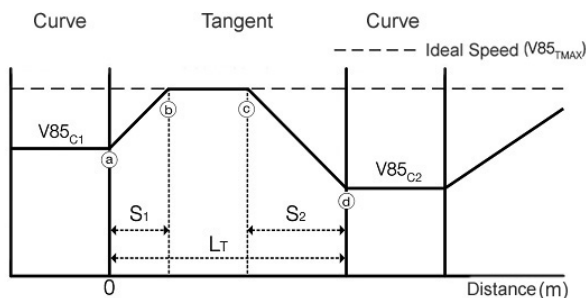


Fig. 1 Type 1 of Speed Profile

유형 2($L_T < L_{TL}$)는 상류부 평면곡선에서 진출한 차량이 평면직선 구간에 도달하기 위해 가속하지만 도달하지 못하고 하류부 평면곡선으로 진입하기 위해 감속해야 하는 경우이다. Fig. 2는 유형 2의 주행속도 프로파일 개념도를 나타낸 것이다.

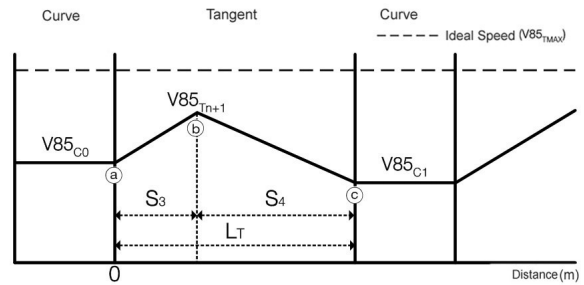


Fig. 2 Type 2 of Speed Profile

유형 3($L_T \leq L_{TS}$)은 평면직선구간 길이가 짧아 상류부 평면곡선에서 진출한 차량이 평면직선구간에서 감속 또는 가속만 한 후 하류부 평면곡선으로 진입하는 경우이다. Fig. 3은 유형 3의 주행속도 프로파일 개념도를 나타낸 것이다.

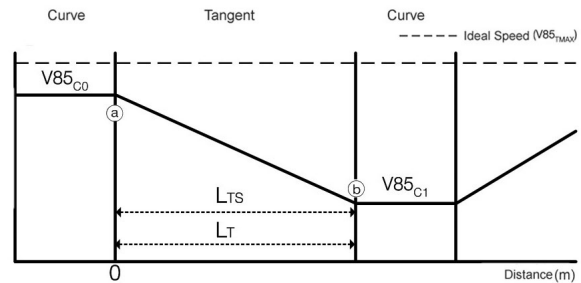


Fig. 3 Type 3 of Speed Profile

2.3. 감가속도 모형

감가속도를 반영할 수 있는 Polynomial 모형은 1초 단위(second by second) 시간에 근거한 모형으로서 주행속도의 변화량을 반영할 수 있도록 만들어진 모형이다(Akcelik, R. et al, 2001; Akcelik, R. et al, 1987). 이 론을 살펴보면 다음과 같다.

Eq. (6)은 감가속도의 패턴을 나타내며, Eq. (7)~(9)는 파라미터 값인 m , r , am 등을 산출하기 위한 산출식이다.

$$a(t) = ra_m \theta (1 - \theta^m)^2 (m > -0.5) \quad (6)$$

여기서,

a_m : 최대가속도

θ : 총 가속시간에 대한 가속시간 비율(t/t_a)

m, r : 파라미터

$$\frac{V_a - V_i}{V_f - V_i} = \frac{2m^2 + 15m + 19}{3[(m+3)(2m+3)]} \quad (7)$$

$$r = \frac{[(1+2m)^{2+\frac{1}{m}}]}{4m^2} \quad (8)$$

$$a_m = \frac{V_f - V_i}{rt_a} \frac{[(2m+2)(m+2)]}{m^2} \quad (9)$$

여기서, V_a 는 평균속도, V_f 는 나중속도, V_i 는 처음속도로써 t 시간에 대한 감가속도를 계산할 수 있다. t 시간에 대한 속도함수는 Eq. (10)~Eq. (11)과 같이 전개할 수 있으며, 거리함수는 Eq. (12)~Eq.(13)로 전개할 수 있다.

$$dV = a(t)dt = ra_m\theta(1-\theta^m)^2dt = ra_m\left(\frac{t}{t_a}\right)\left[1-\left(\frac{t}{t_a}\right)^m\right]^2dt \quad (10)$$

$$V(t) = \int_0^t ra_m\left(\frac{t}{t_a}\right)\left[1-\left(\frac{t}{t_a}\right)^m\right]^2 dt \quad (11)$$

$$dx = V(t)dt = \left\{ \int_0^t ra_m\left(\frac{t}{t_a}\right)\left[1-\left(\frac{t}{t_a}\right)^m\right]^2 dt \right\} dt \quad (12)$$

$$x(t) = \int_0^t \left\{ \int_0^t ra_m\left(\frac{t}{t_a}\right)\left[1-\left(\frac{t}{t_a}\right)^m\right]^2 dt \right\} dt \quad (13)$$

Eq. (11)과 Eq. (13)을 활용해서 t 시간에 대한 속도는 Eq. (14)와 같이 나타낼 수 있으며, t 시간에 대한 거리 함수식은 Eq. (15)와 같다.

$$V(t) = V_i + 3.6ra_mt_a\theta^2 \left[0.5 - \frac{2\theta^m}{(m+2)} + \frac{\theta^{2m}}{(2m+2)} \right] \quad (14)$$

$$\chi(t) = \frac{V_it}{3.6} + ra_mt_a^2\theta^3 \left[\frac{1}{6} - \frac{2\theta^m}{(m+2)(m+3)} + \frac{\theta^{2m}}{(2m+2)(2m+3)} \right] \quad (15)$$

Eq. (16)은 최종적으로 회귀분석에서 산출된 Akcelik, R의 polynomial 함수식으로서 t 시간에 대한 총 감가속도를 나타낸 것이다.

$$t_a = \frac{V_f - V_i}{2.08 + 0.127(V_f - V_i)^{1/2} - 0.0182V_i} \quad (16)$$

2.4. 소결

램의 속도 프로파일은 도로 기하구조 조합이 직선과 곡선의 연속으로 나타나는 구간에 대해서는 주행속도 유형을 잘 반영하고 있다. 그러나, 실제 차량의 주행속도는 다양한 인적요소 및 도로의 다양한 환경이 존재하기 때문에 감가속도가 매순간 변화하지만 이 연구에서는 주행속도 및 감가속도는 항상 일정하다는 가정이다. 이 한계점을 보완하기 위해서 도로 기하구조 조건에 따른 순간 감가속도를 반영해야 한다. 이러한 관점에서 Polynomial 모형은 도로 기하구조 조건에 따른 감가속도 유형을 파악하는데 유용한 이론이다. 특히, 이 이론의 장점은 감가속도 산정 시 1초 단위(second by second) 시간에 근거를 했기 때문에 구간을 보다 세밀하게 분석할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 관점에서 주행속도 프로파일 및 감가속도에 대한 이론을 검토하여 본 연구에 적용할 수 있는 방안을 마련하였다.

3. 자료수집

본 자료는 한국건설기술연구원의 협조를 받아서 수집된 자료이다. 수집된 자료는 국가 R&D 사업인 '도로기하구조 안전성 평가 기술 개발(2010) 과제에서 쓰였던 자료로서 본 연구의 목적에 맞게 재분석을 한 것이다.

3.1. 조사구간 선정조건

현장조사 대상구간은 다음과 같은 기준에 의해 선정되었다. Table 1은 분석구간 선정조건을 검토한 것이다.

- 지방부 일반국도 왕복 4차로
- 평면선형 및 종단선형 선형설계요소 및 조합이 다양하게 포함된 구간
- 도로선형 외 운전자 주행행태에 영향을 미치는 요

Table 1. Overview of Road Conditions

Road Conditions	Application
• Road type	• Rural Multi-Lane Highways
• Design speed	• 80~90km/h
• Radius	• N/A
• Grade	• N/A
• lane width	• 3.5m / lane
• Tangent length	• More than 100m

소(과속단속카메라, 평면교차, 터널, 주변상가 등)가 최소인 구간

- 교통량이 비교적 적은 구간

3.2. 대상지 선정

3.2.1. 대상구간 선정 및 기하구조 조사·분석

주행속도예측모형을 개발하기 위해서 최종 선정된 구간은 37호선(경기도 포천), 6호선(양평), 3호선(경상북도 문경) 등의 3개 노선이며, 총 구간은 7개 구간이다. Table 2는 현장조사 대상구간 선형설계제원 분포도를 나타낸 것이다.

Table 2. Information of Highways

Num	City	Route number	Distance (km)	R	L_T	G
Total			134.7	140~5,700	0~2,920	-5.6~+7.0
1	Mungyeong City	03	4.5	140~1,500	0~360	-2.4~+2.6
2			4.5	140~1,500	0~360	-2.6~+2.4
3			21.9	280~5,700	0~2,360	-4.8~+4.7
4			21.9	280~5,700	0~2,360	-4.7~+4.8
5	Yangpeong City	06	39.3	400~3,400	0~1,640	-4.8~+7.0
6	Cheon City	37	28.1	240~2,000	100~2,920	-5.6~+4.8
7			14.5	240~1,500	160~2,920	-4.4~+5.0

where, R = Radius(m)

L_T = Tangent length(m)

G = Grade(%)

4. 모형 개발

4.1. 변수 선정

평면곡선부 및 직선부 구간의 주행속도 예측모형을 개발하기 위해서는 우선적으로 독립변수를 선정해야 한다. 본 연구에서 고려된 독립변수로는 선행연구 검토 및 본 연구의 목적을 종합적으로 고려하여 다음과 같이 선정하였다.

평면곡선부 구간에서 고려된 변수로는 곡률변화율(gon/km), 곡선부 종단경사 절대치(%), 곡선부 길이(m), 감가속도(m/s^2)가 선정되었다. 여기서 곡선부 종단경사 절대치(%)는 평면곡선부의 상하류부 경사(%)비율에 대한 절대값을 나타낸 것이다. 곡률변화율은 곡선반경의 역수로서 곡선반경과 유사한 개념이지만 평면곡선부의 완화곡선을 반영할 수 있으며 일반적으로 곡률변화율이 크면 클수록 주행속도는 작아진다. 감가속도는

평면곡선부 측정값에서 하류부 100m 지점의 주행속도 값을 비교한 것으로서 상류부 100m 값보다 작으면 가속, 크면 감속을 나타낸 것이다. 본 연구에서 감가속도의 의미는 기하구조 조건에 따라서 운전자가 가속 및 감속을 선택할 때의 주행속도에 영향을 줄 수 있다는 가정이다. Table 3은 평면곡선부의 주행속도 예측모형을 개발하기 위해서 선정된 변수이며 표본수는 44개 지점이다.

Table 3. Selection of Variables in Curve

Abbreviation	Explanation
CCR	Curvature Change Rate (gon/km)
$ G $	Algebra of Curve Grade (%)
RL	Curve Length (m)
$A \cdot D$	Acceleration/Deceleration Rate (m/s^2)

평면직선부에서 고려된 변수로는 평면직선길이(m), 직선부 종단경사 절대치(%), 감가속도(m/s^2), 하류부 곡선부의 곡률변화율(gon/km) 및 상류부 곡선부의 곡률변화율(gon/km)을 선택하였다. 상류부 및 하류부 구간의 CCR은 곡선부 진출입부에서 직선구간에 진출입했을 때 상하류부 CCR의 크기에 따라서 직선부 구간의 주행속도 값이 달라진다는 가정이다. 또한 평면직선부에서의 감가속도는 앞서 설명하였듯이 측정값과 하류부 100m 지점의 주행속도 값을 비교한 것으로서 기하구조 조건에 따라서 운전자가 가속 및 감속을 선택할 때의 주행속도에 영향을 줄 수 있다는 가정이다. Table 4는 평면직선부의 주행속도 예측모형을 개발하기 위해서 선정된 변수이며 표본수는 42개 지점이다.

Table 4. Selection of Variables in Tangent

Abbreviation	Explanation
TL	Tangent length (m)
$ G $	Algebra of Tangent Grade (%)
$A \cdot D$	Acceleration/Deceleration Rate (m/s^2)
D_oCCR	Down Stream CCR (gon/km)
U_pCCR	Up Stream CCR (gon/km)

4.2. 주행속도 예측모형 개발

4.2.1. 평면곡선부 모형

본 연구에서는 주행속도 예측모형 개발을 위해서 통계프로그램인 SPSS를 활용하였다. 이 프로그램에서 회귀분석을 실시하기 위해서 후진제거법(Backward estimation)을 선택하였다. 후진제거법은 모든 독립변수를 사용해 하나의 회귀방정식을 수립하여 회귀식에

유기적으로 기여하지 못하는 독립변수 값 검정을 실시한 뒤, 그 값이 가장 작은 변수부터 하나씩 제거하고 남은 나머지 독립변수를 이용해 회귀모형을 재추정하는 방법이다. 평면곡선부의 주행속도 예측모형을 개발하기 위해 제외된 변수는 곡선부 길이(RL)이다.

분석 결과에서 비표준화계수를 살펴보면 CCR 값이 1(gon/km) 증가할 때마다 주행속도는 -0.098 만큼씩 감소한다는 것을 알 수가 있으며, 절대치 값인 경사비율이 1% 증가할 때마다 주행속도는 -1.023 만큼씩 감소한다는 것을 알 수가 있다. 또한 감가속도가 $1(m/s^2)$ 증가할 때 주행속도는 13.642 만큼씩 증가한다.

표준화계수²⁾를 살펴보면 CCR 의 변수 값이 -0.640 로 가장 높게 나타났기 때문에 감가속도와 경사비율 값보다 주행속도에 가장 큰 영향력을 주고 있다. 공차한계 값은 $0.941\sim 0.992$ 이며, VIF는 $1.008\sim 1.063$ 으로서 본 연구에서는 공선성³⁾의 문제는 나타나지 않는다. Table 5는 평면곡선부 주행속도 예측모형을 개발하기 위한 계수 추정값을 나타낸 것이다.

Table 5. Coefficients of Curves

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	p-value	Collinearity	
	B	Standard Error	Beta		Tolerance	VIF
Constant	119.111	2.325		.000		
CCR	-0.098	0.015	-0.640	.000	0.941	1.063
$ G $	-1.023	0.482	-0.206	.040	0.945	1.058
$A\cdot D$	13.642	2.866	0.451	.000	0.992	1.008

평면곡선부 구간의 주행속도 예측모형 결과는 Eq. (17)과 같다(여기서, Adjusted $R^2 = 0.617$).

$$V_{85R} = (-0.098 \times (CCR)) + (-1.023 \times (|G|)) + (13.642 \times (A\cdot D)) + (119.111) \quad (17)$$

여기서,

$$V_{85R} : \text{곡선부 85백분위 주행속도(km/h)}$$

2) 표준화계수는 독립변수 각각의 유의성과 관련하여 종속변수에 영향력을 비교할 수 있는 지표이다.

3) 다중공선성은 적어도 하나의 독립변수가 다른 독립변수들과의 선형결합으로 표시가 된다는 의미이며, 공차한계값(Tolerance)이 0.10보다 작고, 분산팽창요인(VIF)이 10보다 크고, 상태지수(Condition index) 값이 15보다 클 경우에 발생하게 된다.

CCR : 곡률변화율(gon/km)

$|G|$: 평면곡선부 종단경사 절대치(%)

$A\cdot D$: 감가속도(m/s^2)

4.2.2. 평면직선부 모형

평면직선부의 주행속도 예측모형을 개발하기 위해 제외된 변수는 하류부 곡선부의 곡률변화율(D_oCCR)이다. 분석 결과에서 비표준화계수를 살펴보면 직선부 길이가 1m 증가할 때마다 주행속도는 0.006 만큼씩 증가하고 절대치 값인 경사비율이 1% 증가할 때마다 주행속도는 -0.873 만큼씩 감소한다는 것을 알 수가 있다. 상류부 구간의 CCR 값이 1(gon/km) 증가할 때마다 주행속도는 -0.074 만큼씩 감소한다는 것을 알 수가 있으며, 감가속도가 $1(m/s^2)$ 증가할 때 주행속도는 11.323 만큼씩 증가한다.

각각의 독립변수가 종속변수에 대한 영향력을 비교할 수 있는 표준화계수를 살펴보면 상류부 구간의 CCR 값이 -4.570 로 가장 높게 나타났기 때문에 주행속도에 가장 큰 영향력을 주고 있다. 공차한계 값은 $0.816\sim 0.963$ 이며, VIF $1.039\sim 1.225$ 로서 본 연구에서는 공선성의 문제는 나타나지 않았다. Table 6은 평면직선부 주행속도 예측모형을 개발하기 위한 계수 추정값을 나타낸 것이다.

Table 6. Coefficients of Tangents

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	p-value	Collinearity	
	B	Standard Error	Beta		Tolerance	VIF
Constant	112.942	2.929		.000		
TL	0.006	0.002	0.369	.002	0.899	1.113
$ G $	-0.873	0.481	-0.197	.078	0.917	1.090
$A\cdot D$	11.323	2.879	0.418	.000	0.963	1.039
$UpCCR$	-0.074	0.016	-0.527	.000	0.816	1.225

평면직선부 구간의 주행속도 예측모형 결과는 Eq. (18)과 같다(여기서, Adjusted $R^2 = 0.555$).

$$V_{85T} = (-0.006 \times (TL)) + (-0.873 \times (|G|)) + (11.323 \times (A\cdot D)) + (-0.074 \times (UpCCR)) + (112.942) \quad (18)$$

여기서,

V_{85_T} : 평면직선부 85백분위 주행속도(km/h)

TL : 평면직선길이(m)

$|G|$: 평면직선부 종단경사 절대치(%)

$A \cdot D$: 감가속도(m/s²)

U_pCCR : 상류부 곡선부의 곡률변화율(gon/km)

5. 감가속도 프로파일 작성

5.1. 시나리오 작성

본 장에서는 주행속도차가 큰 도로 기하구조 조건에서 감속 및 가속도가 어떻게 발생하는 지를 알아보고자 시나리오를 작성하였다.

이를 수행하기 위해서는 본 연구에서 개발한 평면곡선부 및 평면직선부의 주행속도 예측모형을 적용하여 도로 기하구조 조건별 주행속도 예측값을 산출해야 한다. Table 7은 평면곡선부에서 CCR에 따른 주행속도(V_{85}) 예측값을 예측한 것으로서 Eq. (17)로부터 도출하였다. 주행속도차가 큰 도로 기하구조 조건을 구현하기 위해서는 두 곡선부의 CCR의 차이가 커야한다. 따라서 시나리오 작성에서는 CCR 25(gon/km)와 CCR 250(gon/km)에 대해서 분석이 이루어 졌다.

Table 7. Prediction Speeds of Curves

CCR(gon/km)	25	50	100	150	200	250
Speed(V_{85})	117	114	109	104	100	95

Table 8은 평면직선부 구간의 주행속도(V_{85}) 예측값을 나타낸 것으로서 평면길이(TL)와 상류부 구간의 CCR(U_pCCR)에 따른 주행속도(V_{85}) 예측값을 나타낸 것이다. 이 값은 Eq. (18)로부터 도출하였다.

Table 8. Prediction Speeds of Tangents

TL (m)	U_pCCR (gon/cm)					
	25	50	100	150	200	250
200	112	110	107	103	99	96
600	115	113	109	105	102	98
1200	118	116	113	109	105	102

5.2. 주행속도(V_{85}) 산출

시나리오 작성(5.1)에서 선택된 도로 기하구조 조건일 때의 주행속도(V_{85})값은 평면곡선부의 경우는 Eq.

(17), 평면직선부는 Eq. (18)로부터 산출할 수 있다.

예를 들어 주어진 평면곡선부($R1$) CCR의 값이 25(gon/km)일 때에 주행속도(V_{85}) 예측값은 다음과 같이 산출할 수 있다. 다만, 본 예시에서는 CCR값만 고려하였다.

$$V_{85_R} = (-0.098 \times (CCR, 25 \text{ gon/km})) + (-1.023 \times (|G|, 0)) + (13.642 \times (A \cdot D, 0)) + (119.111) = 117 \text{ km/h}$$

평면직선부도 평면곡선부와 같은 방법으로 주행속도(V_{85}) 예측값을 산출하였으며 본 예시에서는 상류부 평면곡선부의 CCR과 평면직선부의 길이만 고려하였다.

$$V_{85_T} = (-0.006 \times (TL, 1200m)) + (-0.873 \times (|G|, 0)) + (11.323 \times (A \cdot D, 0)) + (-0.074 \times (U_pCCR, 25 \text{ gon/km})) + (112.942) = 118 \text{ km/h}$$

이러한 산출과정을 통해서 작성된 구간별 주행속도(V_{85}) 예측값에 대한 시나리오 작성 개념도는 Fig. 4와 같다. 여기서 $R1$ 과 $R2$ 사이의 구간은 감속하는 구간이고, $R2$ 와 $R3$ 사이의 구간은 가속하는 구간이다.

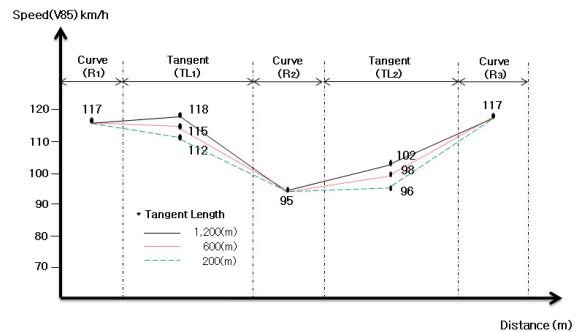


Fig. 4 Results of Prediction Speed in Scenario

5.3. 감가속도 분석

주행속도(V_{85}) 예측모형에서 산출한 예측값을 토대로 본 연구에서 분석하고자 하는 구간에 대해서 t 시간에 대한 총 감가속도를 Eq. (16)를 통해서 산출할 수 있다. 예를 들어, 평면직선부 길이가 1,200m일 때에 주행속도 예측식으로부터 산출한 평면곡선부($R1$) 주행속도(V_{85}) 예측값은 117km/h이고, 평면직선부($TL1$)의 주행속도(V_{85}) 예측값은 118km/h이다. 여기서 평면직선부의 주행속도(V_{85}) 예측값이 나중 속도이고 평면곡선부의 주행속도 예측값이 처음속도이므로 이 구간은 가속

을 하는 구간이다. 이 구간의 총 가속시간은 다음과 같이 12.89초가 된다.

$$t_a = \frac{118 \text{ km/h} - 117 \text{ km/h}}{2.08 + 0.127(118 \text{ km/h} - 117 \text{ km/h})^{1/2} - 0.0182 \times 117 \text{ km/h}}$$

$$= 12.89 \text{ seconds}$$

이번 단계는 t 시간에 함수식을 통해서 t 시간에 대한 감가속도(Eq. 6), 속도(Eq. 14), 거리(Eq. 15)를 산출할 수 있다. 예를 들어, 분석구간의 총 가속도 시간이 12.89초이므로 5초일 때의 가속도, 속도, 거리값은 다음과 같다.

$$a(5) = ra_m \theta (1 - \theta^m)^2 (m > -0.5) = 0.03 \text{ m/s}^2$$

$$V(5) = V_i + 3.6ra_m t_a \theta^2 \left[0.5 - \frac{2\theta^m}{(m+2)} + \frac{\theta^{2m}}{(2m+2)} \right] = 117 \text{ km/h}$$

$$\chi(5) = \frac{V_i t}{3.6} + ra_m t_a^2 \theta^3 \left[\frac{1}{6} - \frac{2\theta^m}{(m+2)(m+3)} + \frac{\theta^{2m}}{(2m+2)(2m+3)} \right]$$

$$= 163 \text{ m}$$

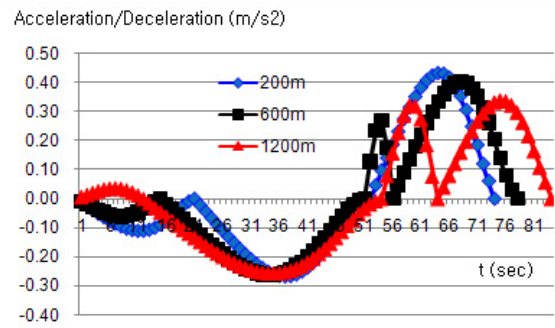
여기서 $m = 3.2122$, $ra_m = 0.09$ 이며, 이 값들은 Eq. (7)~(9)로부터 산출할 수 있다.

5.4. 감가속도 프로파일 작성

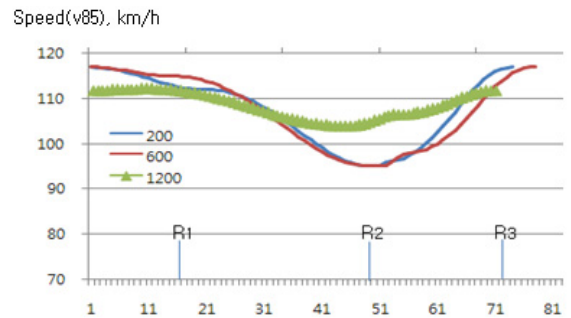
주행속도(V85) 및 감가속도 분석이 끝나게 되면 시나리오에 따른 감가속도 프로파일을 작성할 수 있다. 분석 결과를 살펴보면, 평면직선 길이가 200m와 600m일 때에 평면곡선부(R1)에서는 감속하는 경향을 보였고 1,200m일 때에 평면곡선부(R1)에서는 가속을 하였다.

왜냐하면 평면직선부의 연장이 길수록 차량의 주행속도가 높기 때문에 평면곡선부에서 미리 가속을 하는 것으로 보인다. 곡선부(R2)와 곡선부(R3) 구간을 살펴보면 평면직선 길이가 길수록 가속도의 변화율이 적게 나타났다. 다시 말해서, 두 곡선부의 주행속도 차이가 큰 경우에 평면직선 길이가 짧은 것 보다는 긴 경우가 차량의 주행속도를 일정하게 유지시켜 준다.

평면직선길이별 최저 감속도와 최고 가속도는 평면곡선부의 길이가 200m일 때에 각각 -0.27 , 0.43 m/s^2 이며, 600m일 때에 -0.26 , 0.40 m/s^2 , 1,200m일 때에는 -0.26 , 0.34 m/s^2 이다. Fig. 5는 감가속도 프로파일 작성사례를 제시한 것이다.



(a) Acceleration/Deceleration



(b) Speed

Fig. 5 Acceleration/Deceleration Profile

6. 결론

본 연구는 지방부 다차로도로의 도로 기하구조 유형에 따른 순간 감가속도를 반영할 수 있는 프로파일을 개발하였다. 감가속도 프로파일을 개발하기 위해서 첫째로 다차로 도로에서의 기하구조에 따른 주행속도 예측 모형을 개발하였다. 모형개발은 평면곡선부와 평면직선부에 대해서 각각 모형개발이 이루어졌기 때문에 상하류부 도로 기하구조 조건을 동시에 고려할 수 있는 장점이 있다.

둘째로 개발된 주행속도 예측모형을 토대로 감가속도를 산출하였다. 감가속도는 Polynomial 모형으로서 1초 단위(second by second) 시간에 근거하였다.

마지막으로, 산출해낸 감가속도를 토대로 도로 기하구조 시나리오 작성에 근거한 감가속도 프로파일을 개발하였다. 감가속도 프로파일은 도로 기하구조 조건별 감가속도 및 주행속도 패턴을 파악할 수 있다.

연구결과를 살펴보면 곡선부 구간 사이에 평면직선길이가 각각 200m, 600m일 때의 감속도가 1,200m 때보다 높게 나타났다. 다시 말해서 두 곡선부의 주행속도 차이가 큰 경우에는 직선의 길이를 길게 해 줌으로써 차량의 감가속도를 최소화할 수 있었다.

지금까지의 연구는 주행속도차에 따른 감속도가 크면 클수록 도로 선형설계가 불량하다는 것을 제시하였지만, 실제 도로 기하구조 조건이 어떠한 유형인지는 파악하기 어려웠다. 그러나 본 연구에서 제시한 감가속도 프로파일을 현장에 적용하게 되면 도로 기하구조 유형에 따른 감가속도의 유형을 보다 세밀하게 살펴봄으로써 어느 지점이 사고 위험성이 높은지를 보다 명확하게 제시하여 바람직한 개선방안을 제시할 수 있을 것이다. 향후 연구로는 운전자의 행태분석 등에 대한 종합적인 방법론을 이용하여 도로 기하구조 유형에 따른 감가속도 프로파일을 제시해야 할 것이다.

References

- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation(2010). *Development of an Algorithm for Safety Evaluation of the Road Alignment Design(Fifth year)*
- AASHTO(1995). *'Safety Module for Highways Design'*, 1995.
- Akcelik, R., and M. Besley(2001). *'Acceleration and Deceleration Models'*, 23rd Conference of Australian Institute of Transportation Research, Monash University, Melbourne, Australia.
- Akcelik, R., and D. C. Biggs(1987). *'Acceleration Profile Models for Vehicles in Road Traffic'*, *Transportation Science*, Vol. 21, No. 1, pp. 36-54.
- Kim Sangyoup(2011). *'Development of Safety Evaluation Criteria Based on Vehicle Speeds and Crash Data for Multi-lane Highways'*, Ph.D. Dissertation, Dept, Transportation Engineering, Seoul City University.
- Lamm, R., and E. M. Chouiri(1987). *'Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods'*, Research Report for the State University of New York, Research Foundation, Parts 1, Albany, N.Y., U.S.A.
- Lamm R(1995). *'Safety Module for Highways Design'*, Unpublished Manuscript, Institute for Highway and Railroad Engineering, University of Karlsruhe, Germany.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2009), *Guideline and Manual for Road Structure and Facility*.

(Received : Apr. 5 2013, Revised : Apr. 23 2013, Accepted : Nov. 11 2013)