

도시고속도로 연속류의 교통특성을 고려한 가변속도제어 활성화 방안 - 부산광역시를 중심으로 -

정용화* · 최양원** · 임창식***

Jeong, Yong-Hwa*, Choi, Yang-Won**, Lim, Chang-Sik***

The Activation Plan of Variable Speed Control of Considering Urban Freeway Continuous Traffic Characteristics (In Busan Metropolitan City)

ABSTRACT

Currently the highest speed limit on the road traffic congestion or because you can not cope with climate change to cause a traffic accident may be a factor. According to the Road Traffic Act as well as 20% to 50% in case of inclement weather, but the driver must slow speed left to the judgment of the difficulties, and to slow the vehicle and the relative velocity between the vehicle does not run longer be a big influence on the environment and safety. Thus, variable speed control for drivers on the road, specify the appropriate maximum speed limit in bad weather It keeps motorists slowed the run rate to prevent accidents or reduce the severity of accident damage is expected to be possible. The purpose of this study is the frequent traffic accidents Continuous Busan (City Freeway) around the variable speed control in the appropriate sections so that it can be done by analyzing the characteristics of traffic accidents were the severity of the accident. Highway and urban environment, the geometry of the structure because it has a lot of Curved planar point compared to wet and dry road surfaces by simulated rain wet had bom the more the speed the greater the risk of an accident was the result. Based on these results, the primary section, first urban highway tunnel, near the lamp, near Toll Plaza, near binary Outlet after considering various factors such as speed reduction is needed in the first period by conducting awareness and recognize the need for the participation of the driver and the future city installation and operation of highways in all sectors is expected to be expanded.

Key words : Variable speed limit, Continuous traffic flow, Severity of accidents, A speed limit

초 록

현재 도로상에서의 최고속도제한은 교통 혼잡이나 기상변화에 대처하기 힘들기 때문에 교통사고를 유발하는 요인이 될 수 있다. 물론 도로교통법에 따르면 악천후 시 20~50% 속도를 감속시켜야 하지만 운전자들의 판단에 맡겨야 하는 어려움이 있고, 감속하는 차량과 하지 않는 차량들 간의 상대속도가 달라져서 주행환경과 안전에 큰 영향을 끼친다. 따라서 가변속도제어는 도로상의 운전자들에게 적절한 최고속도제한을 지정해 줌으로써 운전자들이 악천후 시에 감속된 속도로 달리게 하여 사고를 미연에 방지하거나 사고피해 심각도를 낮출 수 있을 거라 예상된다. 본 연구의 목적은 교통사고가 잦은 부산광역시의 연속류(도시고속도로)를 중심으로 적절한 구간에서 가변속도제어가 실시될 수 있도록 교통사고의 특성을 분석하여 사고 심각도를 조사하였다. 그리고 도시고속도로의 기하구조상 많은 곡선부 환경을 가지고 있으므로 평면 곡선부 지점을 건조

* 도로교통공단 부산지부 담당 (abc@koroad.or.kr)

** 정회원 · 영산대학교 교통공학과 부교수 (ywchoi@ysu.ac.kr)

*** 정회원 · 교신저자 · 도로교통공단 부산지부 선임과장 (Corresponding Author · Busan Branch of Road Traffic Authority · cslim@koroad.or.kr)

Received October 28, 2013/ revised November 9, 2013/ accepted January 13, 2014

한 노면과 젖은 노면을 비교 시뮬레이션 해봄으로써 비에 젖은 노면일수록 속도에 따른 사고위험이 크다는 결과를 얻었다. 이러한 결과를 토대로 먼저 도시고속도로에서 기본구간, 터널부근, 램프부근, 요금소 부근, 진출입부 등 다양한 요인을 고려한 뒤 속도감소가 필요한 구간에서 우선 실시하여 운전자들의 참여의식과 필요성을 인식시키고 향후 도시고속도로 전 구간에 설치 및 운영이 확대되어야 할 것으로 판단된다.

검색어 : 가변속도제어, 연속류, 사고심각도, 최고속도제한

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 도로상에서 도로조건, 도로환경 및 기하구조 등으로 고정된 최고제한속도는 주행환경에 따라서 유동적이지 않는 정보표출로 기후변화가 생기더라도 고정된 속도로 달려야 한다는 인식을 가져다준다. 특히 지난 2010년 장마철에 발생한 우리나라 교통사고 사상자는 총 22만 853명으로 2010년도 대비 2011년도에는 3.1%가 증가했으며, 하루 평균 4,330명의 인명피해가 있었던 것으로 나타났다. 또한 2009년 사상자는 2008년에 비해 8.91% 증가한 것을 고려할 때 장마철 교통사고가 지속적으로 증가하고 있으며 이를 예방하기 위한 대책이 시급한 실정이다.

특히 안개가 자욱한 날이나 폭우가 쏟아지는 등의 기상변화가 있을 때 도로교통법으로 최고속도보다 20% 혹은 50%를 감속하여 주행하도록 권고 및 규정하고 있으나 운전자들의 성별이나 인지능력 등에 따른 개별 판단으로 규정을 지키거나 지키지 않는 차량 간의 속도차이가 심하게 나게 된다. 따라서 도로를 통행하는 운전자에게 가변속도제어(VSL: Variable Speed Limit)를 인식하게 하여 자연스러운 속도감소를 유도함으로써 도로구간의 속도와 밀도를 평준화시키고 안정적인 통행흐름에 가질 수 있다.

우리나라의 지방 및 도시 외곽지역은 80km/h로 운영하고 있다. 하지만 이 속도는 날씨 변화에 대처하지 않은 고정된 속도이다. 안개로 인해서 가시구간이 짧아 질 때나 눈이나 비가 내려서 도로표면이 미끄러울 때, 도로최고제한속도만 믿고 달리는 운전자들은 안전정지거리가 짧아져 사고위험에 노출되기 더욱 쉽다.

특히 비오는 날 차량과속은 사고가 심각해지는 원인이 되는데 국내 연구소의 연구에 의하면 비혼잡 시간대(오후 1시~2시), 경부고속도로의 24개 지점을 대상으로 주행하는 차량의 속도를 조사한 결과, 맑은 날은 평균 100.4km/h, 비오는 날은 평균 100.5km/h의 속도로 주행하고 있는 것으로 조사되었다. 이와 같이 비오는 날에도 운전자들이 전혀 속도를 줄이지 않으므로 운전자들의 안전을 위해 인위적으로 속도제어를 해야 할 필요성이 가진다.

1.2 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 부산지역 도시고속도로의 연속류 구간을 선정한 뒤 교통사고의 특성을 분석하였고, 기후조건 특히 악천후 시에 발생하는 교통사고의 심각도를 고려해보기 위해 사고심각도법과 시계열분석을 사용하였으며, PC-Crash 시뮬레이션을 사용하여 곡선부 지점에서 젖은 노면과 건조한 노면의 속도변화에 따른 차량의 이탈율을 분석하여 기하구조에 따른 속도감소의 필요성을 제고하였다.

또한, 사고가 잦은 도시고속도로는 평면선형이나 종단선형 등을 개선하여 교통사고를 감소시키는 것은 결코 쉽지 않기 때문에 교통사고 심각도를 줄이고 차량 간의 속도분산을 최소화시킴으로써 안정적인 교통흐름이 유지될 수 있도록 가변속도제어시스템이 적정구간에서 활용될 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

2.1 이론적 배경

2.1.1 제한속도 변동의 이론적 근거

국토교통부에서 정의된 설계속도는 기후가 양호하고 교통밀도가 낮으며, 차량의 주행조건이 도로의 구조적인 조건만으로 지배되고 있는 경우에 평균적인 운전기술을 가진 운전자가 안전하고도 쾌적성을 잃지 않고 주행할 수 있는 최고속도로 정의한다.

따라서 악천후 상황이나 교통밀도가 높은 경우는 설계속도가 낮아지게 된다. 다만, 제한속도 감소폭은 전체 주행차량 평균속도에 근접한 값에 기초하거나 도로교통법에 제시된 제한속도에 기초하여 산정하는 등 다양한 방법이 존재한다.

2.1.2 속도와 교통사고 관계

차량속도 30~50km/h 사이에서 사망사고로 발전할 가능성이 결정되고, 충돌당시 속도가 20km/h일 경우 10%의 사망확률이 있으나 60km/h에서는 85%로 사망확률²⁾이 높아진다. 따라서 통상 차량의 속도와 사고의 관계를 두 가지 관점에서 보면 다음과 같다.

첫째 차량의 속도가 높아질수록 운전자가 돌발적인 상황을 만나서 회피하기 위한 적절한 안전정지 거리가 높아지며 운전자가 어떤 상황을 회피하는데 필요한 시간보다 먼저 자동차가 그 상황에

1) 손해보험협회 2011 교통사고 통계

2) 유럽 교통안전연합(1995)

마주치게 되는 인지반응시간이 짧아지게 되므로 사고가 발생된다.

둘째 질량과 속도에 관련된 운동에너지의 물리적 관계에서 충격량이 속도 제곱에 비례하므로 속도가 높아질수록 차량의 피해나 부상정도가 심각해질 확률이 높아진다.

2.1.3 가변속도에 대한 법적근거

2.1.3.1 도로교통법 시행규칙(제19조2항)

- ① 최고속도의 100분의 20을 줄인 속도로 운행하여야 하는 경우
 - 비가 내려 노면이 젖어있는 경우
 - 눈이 20밀리미터 미만 쌓인 경우
- ② 최고속도의 100분의 50을 줄인 속도로 운행하여야 하는 경우
 - 폭우·폭설·안개 등으로 가시거리가 100미터 이내인 경우
 - 노면이 얼어붙은 경우
 - 눈이 20밀리미터 이상 쌓인 경우

2.1.3.2 가변형 속도제한표지 규정(11.7.10시행)

① 설치기준

악천후가 잦아 교통사고가 많이 발생하거나 발생 가능성이 높은 곳, 교통 혼잡이 잦은 곳 등에 설치한다.

② 만드는 방식

숫자는 10단위로 증감을 표시할 수 있어야 하며, 전산장치 또는 수동으로 최고속도를 조절할 수 있어야 하고, 구역 또는 구간의 시작과 끝을 나타내는 보조표지를 함께 부착해야 한다.

2.2 문헌고찰

P. Allaby (2007)는 가변속도제어시 안전도에 관한 변화를 분석하였다. 그 결과 상대적 안전 이익이 침투시에 39%, 비침투시에 5%감소로 나타났다. 이는 혼잡상황에 대해 교통상황에 따른 평균 속도에 근접한 가변속도제어를 수행함으로써 정지나 출발 등의 운행행태를 예방하며 안정된 상태의 교통류를 유지시켜주는 것으로 분석하였다. Ali S. AL-Chamdi (2007)는 안개발생시 경고정보 시스템의 운영평가에 대해서 연구하였고, 운전자의 행태에 시거의 확보가 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 감속메시지를 표출했을 시 6.5km/h의 감속효과를 보였고 차량들 간의 분산은 커지지 않았다. 따라서 경고정보시스템은 높은 속도의 차량들이 속도를 줄이고 차량 간의 속도분산을 감소시키는 정온화에 기여한다고 보았다.

Park (2009)은 사고로 인해 용량이 50%로 감소되었을 경우에 대해 가변속도제어 운영효과를 분석하고, 이를 교통류모형과 충격파이론을 이용하여 설명하였다. 그 결과 100km/h의 환경에서 60km/h로 가변속도제어시 사고지점에 도달하기 전 차량들이 속도

를 미리 감소함으로써 대기행렬 생성시간이 늦춰지는 효과를 확인하였다. Jo et al. (2011)은 밀도 및 지체도의 급격한 증가를 방지하고 시공간적으로 분산시킴으로써 운전자가 실제 지체를 체감하는 시간에 대한 개선효과가 있는 것으로 보고하였다. 즉 가변속도제어를 통해 불안정교통류를 안정교통류로 전환시킴으로써 전체적으로 교통류를 안정시킨다고 하였다.

2.3 해외 적용사례

선진국들은 이미 가변속도제어시스템을 구축하고 있으며 그 중 대표적인 국가들을 선별하여 운영효과를 보고자한다. 미국은 도시고속도로에 속도와 교통량을 감지하는 루프검지기와 Remote Processing Unit으로 구성된 차량검지시스템과 CCTV를 설치하여 교통정보를 수집한 뒤 사고, 교통혼잡, 공사, 노면상태, 강설, 안개 등에 따라서 제한속도를 결정한다. 만약 차량검지 및 도로 기상정보 시스템에 의해 교통 및 기상상황이 정상으로 판정될 경우 제한속도는 기본값으로 재설정된다. VSL 실시 후 속도분산은 조금 높아졌으나 평균속도는 13%감소된 결과를 나타내었다. 핀란드는 남쪽해안도로에 가변제한속도정보판, VMS 및 2개의 환경 센서스테이션(ESS)으로 구성된 도로 기후정보 시스템을 가지고 있다. 가변속도제어는 포장상태, 강우(설)량, 풍속에 따라 자동으로 제어되지만, 자동으로 표출되는 내용이 현실과 적합하지 않을 경우 수동 조작된다. 그리고 제한속도가 감소될 경우 VMS는 감속원인과 함께 도형문자를 표출한다. 도로 기후정보 시스템 설치 후 평균속도는 0.4~1.4%감소하였고 연간 8~25%의 사고감소를 이루어 냈다. 스웨덴은 온도, 습도, 풍속 및 풍향에 의해 계산된 노면마찰계수의 예측치에 따라 제한속도를 변경, VSL 실시 전까지 제한속도 60km/h가 될 만큼 아주 미끄러운 도로에서도 90km/h 이상의 속도(맑은 날에 비해 9km/h정도 낮은 속도)로 주행하고 있었으나 VSL 실시 후 제한속도를 60km/h로 낮췄을 때 맑은 날에 비해 27km/h, VSL 실시 전에 비해 14km/h 낮은 속도로 주행하는 결과를 이끌어냈다. 설치 후 효과로 사고비용이 10%감소(사고건수는 34건에서 29건으로 감소)하였다. 독일은 지방부 고속도로에 VSL이 설치되어 제한속도는 60~130km/h이고 도로의 노면상태나 바람 등에 따라 속도를 달리한다. 그리고 교통량, 주간 및 야간을 구분하여 제한속도를 적용하고 있다. 설치 후 전체사고율은 20~30% 감소시키는 효과를 이끌어냈다.

3. 부산시 연속류 구간 사고현황 분석

3.1 사고데이터 분석

가변속도제어가 적절한 구간에서 설치 및 운용될 수 있도록 사고의 심각도를 고려하기 위해 부산지역 연속류인 동서고속도로,

관문대로, 번영로를 선정하여 2007년부터 2011년까지의 사고통계를 분석하였다.

3.1.1 동서고가로 현황

동서고가는 편도 2차로, 총연장 14.0km, 설계속도는 80km/h, 노선은 낙동대교에서 8부두 방향으로 이어지며, 진출입은 감전램프, 학장램프, 주례램프, 진양램프, 범내골램프, 황령산램프, 문현램프, 7부두램프, 감만사거리에서 가능하다. 그리고 주말(토·일), 공휴일을 제외한 평일(오후 6시~8시)은 문현방향 주례IC에서 램프미터링(Ramp Metering)을 적용하고 있다.

동서고가도로의 기상상태별 교통사고는 2007년부터 2011년도까지 인명피해는 27명에서 95명으로 매년 증가하고 있다. 특히 맑은 날은 2007년 9명(33.3%)에서 점차적으로 증가하여 2011년

75명(78.9%)으로 증가했고, 안개의 경우에도 2007년 0명에서 2011년 9명(9.5%)로 다소 높게 증가하였다.

2007~2011년 5년간 사고를 분석해보면 맑은 날과 흐린 날이 각각 52.4%, 56.3%로 램프부근에서 사고발생 비율이 높게 나타난다. 그리고 안개(43.8%)와 비(40.8%)는 기본구간에서 높은 사고율을 보여준다.

3.1.2 관문대로 현황

관문대로는 연장 10.8km인 부산광역시 제3의 도시고속도로로서 총 터널은 2개소가 있으며, 터널을 이용함에 따른 통행료를 부과하고 있다. 이 도로는 부산항 제5부두~수정터널~가야고가교~부산진구~당감동~백양터널~모라고가도로~삼락IC 등을 경유한다.

Table 1. Status of Traffic Accidents in Dongseo Elevated Highway by Weather Condition

Division	Damage	Sunny		Cloudy		Rainy		Foggy		Total
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
2007	Death	1	50.0	0	0.0	1	50.0	0	0.0	27
	Serious injury	1	9.1	5	45.5	5	45.5	0	0.0	
	Slight	7	50.0	3	21.4	4	28.6	0	0.0	
2008	Death	0	0.0	0	0.0	1	100	0	0.0	58
	Serious injury	7	46.7	4	26.7	3	20.0	1	6.7	
	Slight	30	71.4	3	7.1	5	11.9	4	9.5	
2009	Death	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	57
	Serious injury	9	50.0	4	22.2	4	22.2	1	5.6	
	Slight	25	64.1	4	10.3	9	23.1	1	2.6	
2010	Death	1	50.0	0	0.0	1	50.0	0	0.0	82
	Serious injury	28	77.8	1	2.8	5	13.9	2	5.6	
	Slight	26	59.1	3	6.8	15	34.1	0	0.0	
2011	Death	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	95
	Serious injury	18	66.7	0	0.0	6	22.2	3	11.1	
	Slight	57	83.8	2	2.9	3	4.4	6	8.8	

Table 2. Status of Traffic Accidents in Gwanmun Boulevard by Weather Condition

Division	Damage	Sunny		Cloudy		Rainy		Foggy		Total
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
2007	Death	1	100	0	0.0	0	0.0	0	0.0	67
	Serious injury	19	63.3	1	3.3	10	33.3	0	0.0	
	Slight	27	75.0	4	11.1	3	8.3	2	5.6	
2008	Death	0	0.0	1	100	0	0.0	0	0.0	90
	Serious injury	37	86.0	0	0.0	3	7.0	3	7.0	
	Slight	43	93.5	0	0.0	1	2.2	2	4.3	
2009	Death	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	101
	Serious injury	30	76.9	4	10.3	3	7.7	2	5.1	
	Slight	54	87.1	0	0.0	4	6.5	4	6.5	
2010	Death	5	100	0	0.0	0	0.0	0	0.0	127
	Serious injury	38	86.4	2	4.5	2	4.5	2	4.5	
	Slight	65	83.3	3	3.8	7	9.0	3	3.8	
2011	Death	4	100	0	0.0	0	0.0	0	0.0	66
	Serious injury	14	51.9	4	14.8	3	11.1	6	22.2	
	Slight	26	74.3	4	11.4	1	2.9	4	11.4	

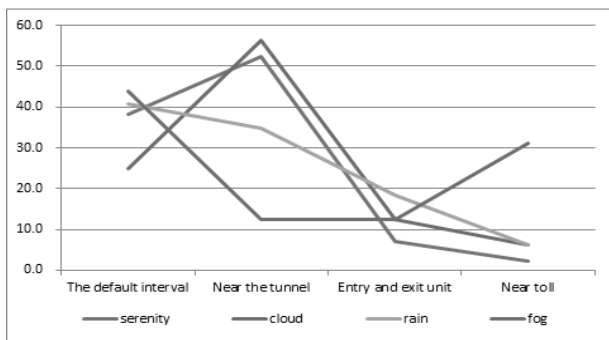


Fig. 1. Accident Rate of Dongseo Elevated Highway by Element

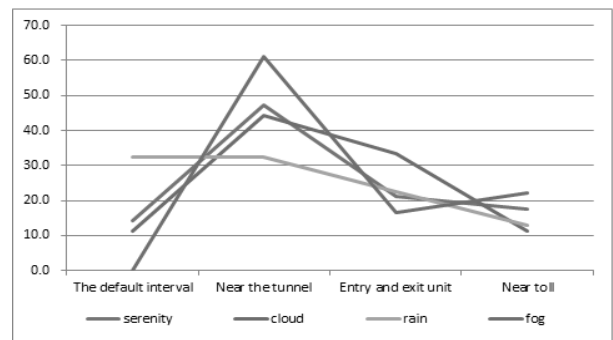


Fig. 2. Accident Rate of Gwanmun Boulevard by Element

관문대로의 경우는 터널구간이 있고 연속류 구간임에도 불구하고 국제백야이파트와 일부상가 옆을 바로 지나가기 때문에 사고위험이 높은 편이다. 관문대로의 인명피해를 Table 2에서 보면 전체 피해수가 2007년 67명에서 2010년 127명까지 증가하였다가 2011년에는 66명으로 감소하였다. 전반적으로 2010년 이후 맑음은 85%에서 66.7%로 감소하였고 비도 7.1%에서 6.1%로 2011년에 비율이 낮아졌다. 다만 안개는 2007년 기준 3%에서 2011년 15.2%까지 점차적으로 증가하였다.

Fig. 2에서 사고는 램프주변으로 집중되는 경향을 보인다. 맑음(47.2%), 흐림(44.4%), 비(32.3%), 안개(61.1%)로 기본구간과 잔·출입부 그리고 요금소 대비 높은 사고율을 나타낸다.

Table 3. Status of Traffic Accidents in Beonyeong Road by Weather Condition

Division	Damage	Sunny		Cloudy		Rainy		Foggy		Total
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
2007	Death	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	114
	Serious injury	37	66.1	4	7.1	15	26.8	0	0.0	
	Slight	38	65.5	3	5.2	17	29.3	0	0.0	
2008	Death	3	75.0	1	25.0	0	0.0	0	0.0	85
	Serious injury	30	78.9	2	5.3	6	15.8	0	0.0	
	Slight	20	46.5	6	14.0	16	37.2	1	2.3	
2009	Death	5	83.3	1	16.7	0	0.0	0	0.0	113
	Serious injury	29	60.4	3	6.3	16	33.3	0	0.0	
	Slight	38	64.4	6	10.2	15	25.4	0	0.0	
2010	Death	1	100	0	0.0	0	0.0	0	0.0	122
	Serious injury	38	70.4	6	11.1	9	16.7	1	1.9	
	Slight	46	68.7	2	3.0	18	26.9	1	1.5	
2011	Death	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	97
	Serious injury	18	51.4	10	28.6	7	20.0	0	0.0	
	Slight	53	85.5	2	3.2	7	11.3	0	0.0	

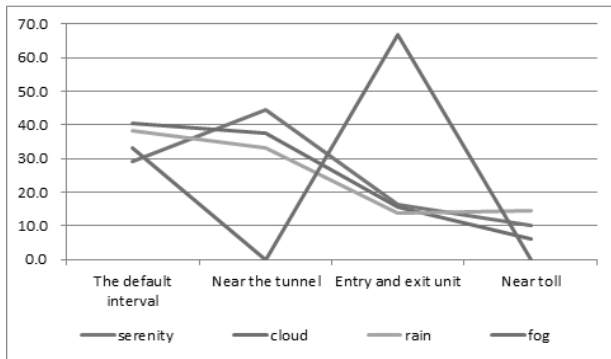


Fig. 3. Accident Rate of Beonyeong Road by Element

3.1.3 번영로 현황

부두와 경부고속도로의 기점 구서 나들목을 남북으로 연결하며 총연장 15.7km로 부산광역시에서 교통량이 많은 도로 중 하나로 중앙로와 같이 부산광역시의 핵심 중추 도로이다. 특히 번영로는 다른 도시고속도로와 달리 터널(문현, 광안, 대연, 오류, 수영)이 많은 편이고 오전·오후 첨두시간에 극심한 정체를 빚어낸다.

Table 3에 맑은 날의 피해는 2007년(65.8%)부터 2011년(73.2%)까지 꾸준히 증가하고 있고 흐림 역시 2007년도 대비 2011년에 6.3%증가하였다. 하지만 비에 의한 피해는 2007년 28.1%에서 2011년 14.4%까지 감소하였다. Fig. 3에서 안개는 66.7%로 램프부근에서 높은 비율을 나타낸다. 그리고 터널부근에서 맑음은 44.7%, 흐림과 비는 각각 37.5%, 33.3%로 기본구간 다음으로 높은 비율을 보이고 있다.

3.2 교통사고 심각도 분석

3.2.1 사고심각도법

사고율을 계산할 때 사용되는 사고피해의 종류에는 상당한 기간(보통 3년, 최소1년)동안 조사된 사고건수, 사망자수, 부상자수, 사망사고건수, 재산피해 등이다. 이러한 각각의 사고율을 계산해서 비교함으로써 사고율을 알아낼 수 있다. 따라서 각 피해의 종류를 등가로 환산하여 하나의 피해단위로 나타내고 기상조건에 따른 사고심각도를 측정하기 위해서 EPDO (Equivalent Property Damage Only)방법을 사용하기로 한다. 이 방법은 여러 심각도를 고려한 방법들 중에 하나로써 높은 사고빈도를 보인 장소를 대상으로 중요도를 산출하기 위해 사용하고 있으며 위험구간 파악을 위해 인피사고만 고려하기로 한다.

$$\text{미국 EPDO} = 9.5(F+A) + 3.5(B+C) + 1(PDO)$$

- 여기서, F = 사망사고 건수
- A = 유혈상처, 신체변형
- B = 멍, 찰과상
- C = 외관상 상처는 없으나 고통호소
- PDO = 대물사고

$$\text{국내 EPDO} = 12(F) + 3(A) + 1(PDO)$$

- 여기서, F = 사망자수
- A = 부상자수
- PDO = 대물사고

Fig. 4는 사망자, 중상, 경상자에게 각각 가중치를 준 뒤 교통사고

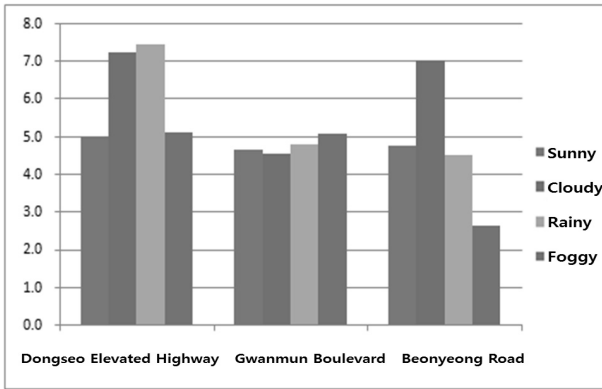


Fig. 4. Seriousness of Damages by Accident

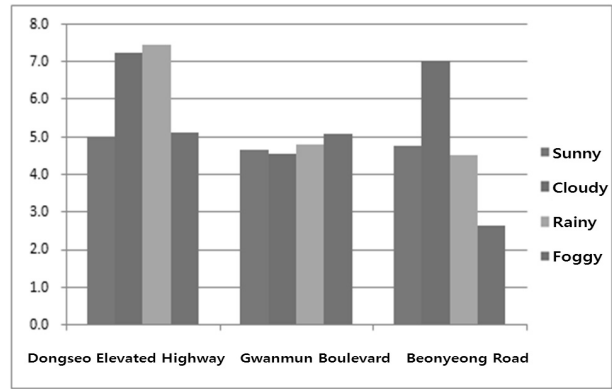


Fig. 6. Traffic Accidents Trends

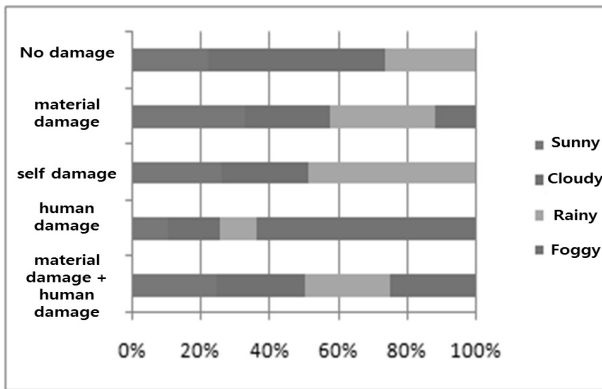


Fig. 5. Seriousness of Damages by Weather

건수별로 나누어 비교해 본 것이다. 동서고가로는 맑음(5.0)에 비하여 흐림(7.3), 비(7.5), 안개(5.1)로 습기가 많은 날이나 악천후 시 사고심각도가 높게 나타난다. 그리고 관문대로는 흐림(4.6), 맑음(4.7), 비(4.8), 안개(5.1)로 안개 시 사고가 났을 때 피해심각도가 맑은 날 대비 0.4이상 높은 결과를 나타낸다. 변영로는 흐린 날이 7.0으로 다른 기후에 비해 습기가 있는 날에 심각도가 높다. 이 결과를 놓고 보면 향후 잦은 습기나 안개 혹은 장마철의 심한 강우 시 피해 심각도는 점점 높아질 것이라 예상된다.

동서고가로, 관문대로, 변영로의 EPDO 심각도를 종합하여 피해 상황별로 나누어본 결과 Fig. 5에서 비가 내리는 날의 본인피해가 43.9%로 이는 빗길에 미끄러움으로 인해 방호벽이나 공작물 등을 충돌하는 피해비율이 높다는 것을 나타낸다. 그리고 안개 낀 날에 인적피해가 61.6%로 높은 심각도를 보이는데 이는 전방주의태만 및 안전거리 미확보로 차로변에서 공사 등 작업하는 사람을 충격하거나 급정지로 인한 차량 안 승차인원들의 피해가 높다는 결과가 나왔다. 그리고 흐린 날은 피해 없음(53.7%)의 비율이 높았고 맑은 날에는 33.3%의 물적 피해율이 크다는 것을 나타낸다.

3.2.2 시계열 분석

통계학에서 시계열 분석이란 시간의 경과에 따라 순서대로 관측되는 값(시계열 자료-Time series)을 대상으로 이들의 추세, 변동요인 등을 파악하여 자료의 패턴을 유추함으로써 미래에 대해 예측하는 기법이다. 시계열자료의 예로는 연도별 도매물가지수, 월별 소비자물가지수, 일별 주가지수, 월별 판매량, 월별 강수량 등이 있으며 우리 주위에 수 없이 많이 존재한다. 이러한 관측 자료의 통계적이나 확률적인 성질을 분석하여 해당 확률로 현상의 미래는 예측하는 것이 가능하다. 그중에 지수평활법은 과거의 모든 자료를 사용하여 평균을 구하되 최근의 자료에 더 많은 가중치를 높게 부여하는 방법으로써,

$$F_t = \alpha Y_{t-1} + (1-\alpha) F_{t-1}$$

단, F_t : 기간 t 의 예측값

F_{t-1} : 기간 $(t-1)$ 의 예측값

Y_{t-1} : 기간 $(t-1)$ 의 실제값

α : 지수평활계수($0 < \alpha < 1$)

동서고가로, 관문대로, 변영로의 사고추세는 Fig. 6에서 전체적으로 상승하는 형태를 띤다. 동서고가로의 강우 시 사고는 2011년 대비 2012년에는 2% 감소할 것으로 예상되나 안개 시에는 2011년도(26.7%)에서 2012년도(40.3%)까지 사고가 증가할 것으로 예상된다. 그리고 관문대로는 2011년을 기준하여 맑음(26.9%)을 제외하고 흐림(24.6%), 비(25.8%), 안개(25.8%)사고가 2012년도에 전체적으로 상승함을 보여준다. 변영로는 2011년도에 흐림(26.3%)과 비(25.8%)가 2012년도에는 각각 26.3%, 25.3%로 다소 비슷하게 유지할 것으로 나타난다. 이 결과들에 의하면 기후에 따라 2011년도 대비 2012년도에 비율이 다소 감소되거나 유지 혹은 증가할 것으로 나타난다. 이러한 변화는 기후변화에 따라 사고가 더 일어날

것이라는 우려를 보여주고 매년 적정한 교통사고 피해비용이 지불 되어야 함을 의미한다.

3.3 시뮬레이션 분석

동서고가로의 한 곡선부 지점을 분석하여 현장과 같은 도로모형을 3차원으로 구현하였다. 그리고 도로의 기하구조 중 종단경사, 곡선반경, 곡선장 길이는 고정된 변수도 두고 차량의 종류와 무게중심을 변화시키면서 차량들의 이탈가능 속도를 PC-Crash (교통사고 재현 프로그램)을 이용하여 실험하였다.

노면상태에 따라 마찰계수를 적용하여 건조한 날씨와 노면이 젖은 날씨로 구분하였다. 그리고 승차인원수는 최대승차인원이 차량에 승차했을 경우에 사고의 위험성이 크기 때문에 최대승차인원이 승차하였다고 가정 하에 승객 1인당 무게는 65kg으로 설정하였다.

PC-Crash를 사용하여 차량이탈 및 전복 시 차량의 거동형태를 Fig. 7에서 판단할 수 있으며, Fig. 8은 분석된 자료 중 차량의 이탈 및 전복유무를 판단하기 위한 차량의 Roll각도를 나타낸 것이다.

Table 4에서 결과를 보면 승차인원과 편경사(%)에 따라서 이탈 사고에 많은 영향을 주는 요인으로 작용한다. 승차인원이 5명이고 건조한 노면일 때는 이탈속도가 82.5km/h에서 85.6km/h의 사이에서 이탈가능속도임을 나타낸다. 하지만 비로 인해 노면이 젖어있을 때에는 이탈속도가 59.8km/h에서 63.2km/h사이의 분포를 나타낸다

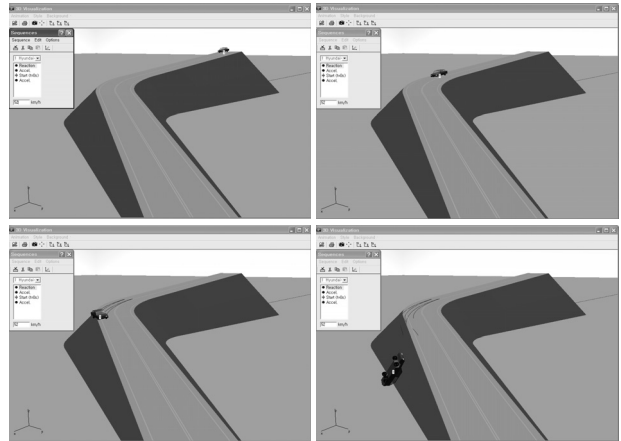


Fig. 7. Description of Vehicle Breakaway Accident Process Using PC-Crash

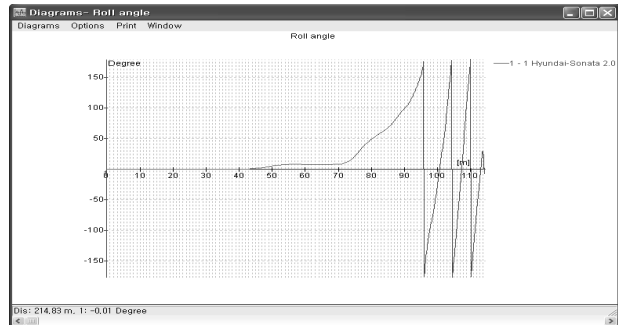


Fig. 8. Roll Angle of Vehicle

Table 4. Result of Simulation Experiment for Possible Vehicle Breakaway Speed by Road Condition

Car model for experiment	Number of passengers (Persons)	Height of center of gravity (m)	Superelevation (%)	Possible vehicle breakaway speed(km/h)					
				Dried road surface (0.7 ~ 0.9)		Wet road surface (0.3 ~ 0.5)			
Car (SUV)	5 (7)	0.522 (0.664)	0	82.5	(79.2)	59.8	(59.7)		
			4	85.6	(83.1)	63.2	(62.9)		
		0.550 (0.700)	0	82.5	(74.7)	59.8	(59.7)		
			4	85.6	(78.5)	63.2	(62.9)		
		0.578 (0.736)	0	82.5	(71.5)	59.8	(59.7)		
			4	85.6	(74.8)	63.2	(62.9)		
		Van	12	0.727	0	67.8		59.2	
					4	71.3		62.5	
0.766	0			65.1		59.2			
	4			68.6		62.5			
0.806	0			62.4		59.2			
	4			66.0		62.5			
Bus	45	1.164	0	41.9		42.5			
			4	46.5		47.0			
		1.227	0	37.4		37.6			
			4	42.1		42.3			
		1.290	0	33.2		33.1			
			4	38.1		38.0			

다. 만약 악천후 시 운전자가 80km/h의 도로에서 80km/h 속도로 주행 시 이탈할 위험이 크다는 것을 보여준다. 물론 승차인원이 많아질수록 이탈가능속도는 점점 낮아진다.

또한, 노면의 상태와 편경사(%)에 따라서 이탈가능 속도가 달라짐을 알 수 있다. 곡선부에 편경사를 설치하는 것이 바람직하지만 악천후 시에는 속도에 따라 차로를 이탈할 가능성이 높아진다.

4. 도시고속도로 내 가변속도제어 적용방안

4.1 가변속도제어 적용검토

젖은 노면상황에서 마른 노면에서와 같은 속도로 주행 시에는 차량의 마찰계수가 맑은 날에 비해 절반이나 떨어지기 때문에 사고의 위험성은 좀 더 증가된다. 이를 위해 가변속도제어를 악천후 시에 활용할 뿐만 아니라 램프나 터널 내 혹은 진출부에서 교통혼잡이 있을 경우에도 사전에 미리 감속을 유도하는 시설로서의 활용도 충분하다고 판단된다.

4.1.1 가변속도제어 구간 선정

동서고가도로와 관문대로의 경우 악천후 시 피해심각도가 높게 나오고 있고, 기본구간과 램프 및 터널 안이나 터널 진출입부에서 악천후로 인한 사고가 자주 발생하고 있다. 따라서 피해 심각도를 낮추고 속도에 따른 사고를 방지하기 위해서 제한속도 최소구간 길이를 2km³)로 정하여 10km/h 단위로 속도변동이 가능한 가변제어속도 적정실시구간을 우선 선정할 필요가 있다.

- 동서고가도로는 램프를 포함한 2km구간
- 관문대로, 변영로는 터널을 포함한 2km구간

안개나 강풍 같은 경우는 불특정 구간에서 일어날 확률이 있고 곡선부나 편경사 등 기하구조에 따라서 많은 폭우가 쏟아질 때 위험에 노출되는 도로구조도 있다. 따라서 피해가 집중되는 구간을 중심으로 선정된 뒤 시행하여 운전자들에게 가변속도제어의 효용과 필요성을 인식시키고 점차 전 구간으로 확대하여 시행하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4.1.2 가변속도제어 운영방안

가변속도제어 운용구간에 도달하기 전에 급격한 속도변화에 따른 사고를 사전에 예방하기 위해서 속도감소분의 절반정도(20km/h 감소 시 10km/h)로 가변속도제어 운영구간에 접근하기 전 1km전부터 속도감소를 유도할 필요가 있다.

국내 실정상 많은 운전자들이 지정된 설계속도 이상으로 과속하기 때문에 이동식카메라 및 구간단속카메라와 연계하여 복합적인 시스템으로 구축되어야 할 것으로 판단된다. 가변속도제어 구간만 운영할 경우 감속정보를 표출은 해주지만 속도를 선택하고 따르는 것은 운전자의 성향과 판단이 들어간다. 다수의 운전자가 가변속도 제어구간을 지켜도 1명의 과속운전자가 있을 경우 상대속도에 따른 위험이 크기 때문에 단속카메라로 인해 속도를 인위적으로 감소시키는 것이 교통안정적인 측면에서 나을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구에서는 연속류 교통사고 특성을 분석하기 위하여 부산의 도시고속도로 구간을 2007년부터 2011년까지 교통사고 자료를 수집한 뒤 수집된 자료를 기후조건에 따라 교통사고를 분류하였고, 인적요인과 관련하여 단순 교통사고 건수 당 EPDO를 산출하여 연속류 구간의 교통사고 특성을 분석하여 사고의 심각도를 고려하였다. 그리고 동서고가도로의 평면 곡선부 지점에 대하여 PC-Crash로 시뮬레이션 및 분석해 본 결과 비에 젖은 노면일수록 과속에 따른 사고의 위험이 매우 크다는 결과를 도출하였다.

이러한 결과를 토대로 동서고가도로와 관문대로 등의 피해심각도를 낮추고, 변영로의 교통사고를 사전에 방지하기 위해서는 터널구간, 램프, 곡선부를 중심으로 악천후 시 속도감소가 반드시 필요하고, 가변속도제어를 실시하는 것이 바람직하다고 판단된다. 그리고 향후 가변속도제어를 설치 및 운영하기 위해서는 가변속도제어에 능숙한 실무자들을 육성해야 할 필요성이 높아 보인다. 먼저 여러 가지 고려사항들을 전문적으로 조사하여 필요설치구간을 명확히 선정할 수 있는 인력이 있어야 하며, 기후변화나 교통혼잡 등의 교통상황들을 신속히 판단하여 결정을 내릴 수 있는 운영 전문가가 필요하다고 본다.

References

- Ali S. Al-Ghamdi (2007). "Experimental evaluation of fog warning system." *Accident Analysis and Prevention*, Elsevier, Vol. 39, No 6, pp. 1065-1072.
- Choi, Saerona (2011). *Effects of weather and traffic conditions on accident severity on freeways*, Master's Thesis, Graduate School of Hanyang University.
- Jo, H. R., Kim, Y. C. and Ha, D. I. (2011). "Development of uninterrupted flow variable speed model and analysis on its effect." *Korea ITS Association Journals*, Vol. 10, No. 1, pp. 16-26.
- Jo, Y. T. and Jeong, I. B. (2010). "Real-time variable speed limit for city expressway." *Korea Information Science Society*, Vol. 6, No. 10, pp. 962-974.

3) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 건설교통부(2000)

- Kim, J. K. (2008). *Analysis on the characteristics of highway accidents utilizing EPDO for each traffic accident*, Master's Thesis, Graduated School of Chonnam National University.
- Lim, C. S. (2009). *Analysis on the driving safety and investment effect using severity model of fatal traffic accidents*, Doctorate Thesis, Graduated School of Pukyung National University.
- P. Allaby, et al. (2007). Variable speed limits : Safety and Operational Impacts of a Candidate Control Strategy for Freeway Applications, *IEEE*, Vol. 8, No. 4.
- Park, J. E. (2009). *Operational effect of variable speed control in uninterrupted flow*, Master's Thesis, Graduate School of University of Seoul.
- Road Traffic Authority (2009; 2010; 2011). *Development of Variable Speed Limit System I · II · III* (in Korean).
- Samsung Culture & Traffic Research Center (2008). *Introduction of variable speed limit* (in Korean).
- Um, J. A., Lee, S. B. and Lim, C. S. (2011). "Analysis on the preference of traffic accident reduction solutions for structure improvement projects of urban dangerous roads through AHP decision-making model." *Collection of dissertations of Korean Society of Civil*, Vol. 32, No. 2D, pp. 111-119.