

■ 論 文 ■

자동 과속단속시스템의 효과 증진을 위한 설치 방안 연구

A Study on the Installation of the Automated Speed Enforcement Camera for the Effectiveness

김 용 석

(한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원)

조 원 범

(한국건설기술연구원 도로연구부 연구원)

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구 목적 2. 연구 범위 및 방법 <p>II. 문헌 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 과속단속시스템의 효과 2. 과속단속시스템의 설치위치 3. 과속단속시스템의 설치에 따른 교통류 특성 개선 매커니즘에 대한 검토 <p>III. 과속단속시스템 설치 위치 결정을 위한 주행속도 프로파일 활용방안</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 주행속도 프로파일 모형의 적용 방안 | <ol style="list-style-type: none"> 2. 과속단속시스템 설치위치 결정기준 3. 설치지점 선정 알고리즘 <p>IV. 사례 연구</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 설치지점 선정 2. 주행속도 프로파일 작성 3. 단속구간 분석 4. 과속단속시스템 설치위치 결정 5. 선정기준에 따른 평가 <p>V. 결론 및 향후 연구 과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 과속단속시스템, 설계 일관성, 주행속도, 주행속도 프로파일

요 약

자동 과속 단속 시스템은 중요한 교통사고 예방 대책의 하나이다. 운전자는 자동과속단속시스템 설치 지점 부근에서 속도를 감속하고 설치지점 통과 후 다시 가속한다. 따라서 단속의 목적을 둔 과속단속시스템은 충분한 안전 효과를 발휘하는데 한계가 있으며, 속도 관리 개념의 설치 방안이 마련될 필요가 있다. 본 연구는 연속된 도로 구간을 주행하는 운전자의 주행속도 변화를 일정 범주 내로 유지시키는 도로 설계 일관성 개념을 과속단속시스템의 설치 위치 선정에 적용하였다. 또한 과속단속시스템도 도로 곡선부 등 선형 요소와 마찬가지로 운전자의 주행속도를 변화시키는 설계 요소의 하나로 간주하고, 설계 일관성 개념 및 평가기준을 동일하게 적용한 설치 방안을 제안하였다.

The speed enforcement camera has been regarded as one of the most important safety countermeasures. Drivers decelerate in front of the speed enforcement camera and gain speed up after passing the camera. So there is a strong need to develop the method how to place the camera to overcome this problem. This study applied the concept of design consistency to the installation of the camera, so speed difference along the road sections should be controlled within the predetermined boundary. Specially, this study also regarded camera as the one of the elements of the road alignments which can change the speed of drivers abruptly, and suggested the way to put this concept into the selection of the placement of the camera.

I. 서론

1. 연구목적

본 연구는 도로 선형 일관성 평가 개념을 과속단속시스템의 위치 결정에 적용하였다. 과속단속시스템의 주된 목적을 과속 운전자의 단속보다는 교통류의 안정적인 흐름(동질성 유지)에 중심을 두고 이를 실무에서 구체화할 수 있는 방안을 제시하는데 연구의 목적을 두었다.

과속단속시스템도 급 곡선이나 급경사와 마찬가지로 운전자의 작업부하를 높여주는 일종의 선형 요소로 간주하고 도로 선형 일관성에서 적용하는 개념을 응용하여 단속 시스템의 적합한 설치 위치를 결정하는 방안을 검토하였다.

본 연구는 과속 단속 시스템의 설치가 확대되는 상황에서 비용 대비 효과적인 시설 설치를 위한 최적의 설치 방법 결정에 대한 방법론을 제시하기 위한 것이며 향후 이 분야에 대한 지속적인 연구를 위한 단초를 제공할 목적으로 수행되었다.

2. 연구 범위 및 방법

본 연구는 도로 안전을 평가함에 있어 운전자의 주행속도의 중요성을 인지하고, 운전자의 과속 심리에 가장 영향을 미칠 것으로 판단되는 과속단속시스템의 효과적 설치에 대해 검토하였다.

최근 과속단속시스템의 지점 중심의 설치에 대한 한계를 극복하기 위해 구간 중심의 설치 제안 등이 이루어지고 있으나, 지점 중심의 단속은 해당 지점을 통과한 자동차들이 다시 과속을 함으로써 적용 범위의 한계를 가지고 있고, 구간 단속은 일정 구간에 대해서는 효과를 가질 수 있으나 이 또한 한원섭, 김만배, 현철승, 유성준(2005)이 연구에서 제안한 3~10km 범위에 국한된다는 한계를 내포하고 있다.

본 연구는 과속단속시스템의 위치 결정이 여전히 전문가의 경험적 판단에 의존할 수밖에 없는 점과 적용 범위에 있어 한계가 있다는 점에 착안하여 이상의 한계를 극복하기 위한 대안으로써 도로 설계 일관성을 평가하기 위한 주행속도 프로파일 모형을 과속단속시스템의 위치 결정에 활용하는 방안에 대해 검토하였다.

특히, 도로 설계 일관성 평가기준 중 연속된 선형의 안전성을 평가하기 위한 기준을 과속단속시스템 위치결

정 기준에 적용하여 과속행위 자체에서 유발되는 불안전 요소뿐만 아니라, 선형의 연결에서 유발되는 불안전 요소를 고려할 수 있도록 하였다.

연구 수행을 위해 과속단속시스템에 대한 사고 감소 효과 및 교통류에 미치는 영향에 대한 기존 연구를 수행하고, 주행속도 프로파일 모형을 이용한 단속 시스템의 설치 방안 검토, 사례 지역을 선정하여 제안된 방안에 대한 실무 활용 방안을 검토하여 제시하였다.

II. 문헌 고찰

1. 과속단속시스템의 효과

강정규, 현철승, 오세리(1999)는 자동 과속단속시스템의 도입으로 교통류 특성이 개선되고 이로 인해 교통사고 감소한다는 시스템 작동 메커니즘을 설명하였다. 동일 연구에서 1997년부터 운영된 32대 시스템의 1년간 운영효과를 분석한 결과 교통사고 28%, 사망자 수 60%가 감소하였음을 제시하였다.

도로교통안전관리공단(1999)은 1998년도 지방경찰청 관할 지역에 설치된 100대의 무인과속단속시스템에 대상으로 설치 6개월 전·후의 사고 발생건수와 사망자수를 비교한 결과 각각 29%, 40%가 감소하였음을 제시하였다. 동 연구에서는 1998년도에 설치된 과속단속시스템의 운영 5개월 후의 단속 건수를 조사한 결과, 총 단속 건수는 552,146건이며 해당 단속건수는 약 30건으로 조사되었으며, 15개 조사대상 지역을 직선, 곡선, 내리막, 내리막 곡선으로 구분하여 시스템 설치 전·후의 사고를 비교한 결과 사고 발생건수는 직선도로에서 39.1% 감소로 가장 크게 나타났으며, 사망 사고는 곡선도로와 내리막 도로에서 82.4%, 100%로 각각 나타났다. 특히 이 연구에서는 내리막 구간에서 사망사고가 시스템 설치 후에 발생하지 않았으나 교통사고 발생건수와 중상사고 등 인적 피해사고는 설치 이전과 유사하여, 내리막 구간에서 시스템 설치 시에 심도 있는 조사가 필요함을 제시했다.

2. 과속단속시스템의 설치위치

도로교통안전관리공단(1999)은 단속시스템의 설치를 직선 도로에서는 횡단보도, 진·출입로 등에서는 시설물의 100~300m 전방에 설치하는 것이 효과가 높

을 것임을 제시하였다. 곡선도로에서는 곡선부가 시작되기 전 100~300m 범위의 직선도로 상에 설치위치를 선정하도록 제안했다. 내리막도로는 내리막도로의 끝 지점 전 100~300m 범위에 설치하는 것을 제안하고, 내리막도로와 곡선도로가 연계된 경우에는 곡선도로 시작 전 100~300m 범위에 시스템을 설치하는 것을 제안하였다.

한원섭 등(2005)은 기존 지점 중심의 단속의 한계를 벗어나기 위한 구간 과속단속시스템의 도입을 제안하였다. 구간 단속 시스템의 적용 조건으로 교량, 터널, 종단경사 구간, 급 곡선부, 시계 불량 구간, 강 및 절벽 인접구간, 위험도로 구간의 거리가 지점 단속 영향권보다 긴 구간으로 제시하였다. 동 연구에서는 구간 단속 시스템의 설치에 있어, 단속구간이 너무 길 경우 운전자에게 부담을 주거나 회피 행동에 따른 부작용이 있을 수 있고, 너무 짧은 구간에 적용될 경우에는 시스템 기능상의 한계와 비용이 증대됨으로 효과를 극대화할 수 있는 적정 거리가 고려되어야 함을 제시하였다. 동 연구에서는 교량구간, 터널구간, 커브구간, 경사구간에 대해 구체적인 설치 위치 기준을 제안하고 있으며, 구간 단속시스템의 최소 거리를 기계적 특성 등을 감안하여 3km로, 최대 구간은 도로 설계 시 고려하는 설계구간 개념을 활용할 수 있음을 제안하였다.

3. 과속단속시스템의 설치에 따른 교통류 특성 개선 메커니즘에 대한 검토

강정규 등(1999)은 과속단속시스템이 도입되면 교통류 특성이 변화되고 이를 통해 도로 안전성이 향상된다고 제시하였다. 과속단속시스템의 메커니즘에 대해 매우 적합한 표현이며, 운전자의 행위를 규제함으로써 교통류의 동질성이 강조됨을 의미한다.

경제적인 이유 등으로 도로가 완전하게 설계되지 못하거나 공용 후 도로 주변 개발 등으로 인해 교통류의 동질성이 확보되지 못하는 경우, 특히 설계속도가 높은 도로에서 잦은 접근로 접촉으로 인해 교통류의 원활한 흐름이 단절되고 자동차의 가속빈도가 높아지는 경우 운전자의 작업부하가 증대되어 도로안전 측면에서 불안정한 상태로 전이될 개연성이 높아지게 된다.

과속단속시스템은 본질적으로 운전자의 행위를 제어하는 수단으로 인지되고 있으며, 그 자체가 목적이 될 수는 없다. 도로 구조의 계획 및 설계 단계에서 도로

안전이 확보될 수 있게 하고, 완공 후에는 완전한 접근관리를 통해 계획단계에서 정의된 도로 기능이 완전하게 유지될 수 있도록 하는 것이 중요하다. 과속단속시스템은 이러한 기본 요건이 만족되지 못하는 기존 도로에 대해 부득이 운전자의 속도를 균일하게 유지하기 위해 강제적으로 도입되는 시스템으로 간주되어야 하며, 가장 우선되어야 하는 것은 도로 구조의 완전성 확보를 위한 선형 개량 등 본질적 개선이 우선 검토되어야 할 것이고, 단속 시스템은 차선으로서 설치가 검토되어야 할 것이다.

본 연구는 과속단속시스템의 설치를 크게 세 가지 방법으로 구분하여 보았다. 첫 번째 방법은 현재와 같은 지점식 접근이다. 이 방법은 한원섭 등(2005)이 지적한 바와 같이 단속 영향 범위가 짧아 일시적 효과만을 기대할 수 없는 방법이라는 단점은 있지만 시설 설치 시 전문가가 설치 현장에 대해 조사하고 경험적 판단에 의해 설치 지점을 결정함으로 비록 단속이 미치는 영향 거리는 짧지만 매우 효과적인 지점이 선정될 소지가 높은 장점이 있다. 두 번째 방법은 구간 단속 시스템이다. 지점식 단속에 비해 단속 영향 범위가 큰 장점이 있으며 특별히 관리가 필요한 터널, 교량, 경사구간 등 위험구간 전체에 걸쳐 영향을 미칠 수 있는 효과적인 방법이다. 단, 여전히 단속 영향 범위가 구간 중심에 한정될 수 있다는 점과 실제 적용을 위해서는 운전자에게 시스템에 대한 이해와 시스템의 작동에 대한 이해 후에 이를 오용하는 사례(예를 들어 단속을 회피하기 위해 구간 내에서 정차 등)에 대한 대처, 법적 증거 능력 인정 여부 등에 대한 검토가 필요하다고 본다. 세 번째 방법은 본 연구에서 검토하는 설계구간 내에서 안정화된 속도를 유지할 수 있도록 관리하는 방안이다. 이 방법은 도로 설계 일관성 개념에서 그 배경을 인용한 것으로 일정 구간 내에서 최대속도를 최소화하고, 연속선형의 안전성을 확보할 수 있도록 주행속도를 관리하는데 초점을 둔 것이다. 즉 첫 번째, 두 번째 방법이 단속에 초점을 둔 것이라면 본 연구에서 제안하는 세 번째 방법은 단속보다는 속도를 일종의 관리 대상으로 검토하는 점이다. 이 방안의 장점은 보다 넓은 범위에서 과속단속시스템 간의 유기적인 상관관계를 검토하여 설계 구간 내에서 보다 균일하게 운전자의 주행속도를 유지한다는 점이고, 단점은 상대적으로 도로 선형 요소(기하구조 등) 및 관리 요소(신호등 등)에 따른 운전자의 주행속도 변화에 대한 추정이 요구된다는 점이다.

III. 과속단속시스템 설치 위치 결정을 위한 주행속도 프로파일 활용방안

주행속도 프로파일 모형은 도로 선형에 따라 운전자의 주행속도를 예측하여 특정 도로 구간에서 주행속도의 변화가 큰 지점을 안전 측면에서 결합구간으로 판정하는데 활용된다.

도로상에서 운전자의 주행속도 선택은 도로의 선형과 과속단속시스템 등의 교통운영요소에 의해 영향을 받는다. 과속단속시스템은 임의의 구간에서 운전자 속도선택에 영향을 미친다는 관점에서 일종의 도로의 선형요소로 해석할 수 있다.

본 연구는 이러한 관점에서 주행속도 프로파일 모형과 연속선형의 안전성 평가기준을 활용하여 해당구간을 주행하는 운전자의 안전을 보장할 수 있는 과속단속시스템의 위치 결정 방안을 마련하고자 한다.

1. 주행속도 프로파일 모형의 적용 방안

주행속도 프로파일 모형은 선형변화에 대한 주행속도의 변화를 표현한 것이다. 주행속도 프로파일은 첫째, 운전자는 도달하고자 하는 희망속도가 있고, 둘째, 가속과 감속은 평면곡선의 시점부와 종점부에만 발생하

며, 셋째, 평면곡선부에서는 일정한 속도를 유지함을 전제로 하고 있다.

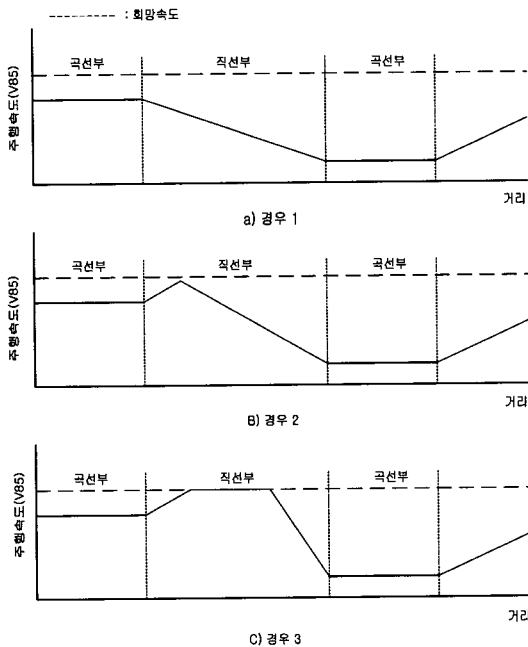
이와 같은 전제하에 직선부와 평면곡선부가 연결되는 선형 조건에서 주행속도 변화는 <그림 1>의 세 가지 경우 중 하나로 나타날 수 있으며, 각각의 경우는 평면곡선부의 주행속도, 직선부의 희망속도, 평면 곡선부 진입 및 진출부에서의 가속도에 의해 결정된다.

이와 관련하여 김용석, 조원범(2004)은 이론적인 주행속도 프로파일 모형이 실제 현장에서 적용될 수 있는지를 검증하기 위해 왕복 2차로 지방부 도로에서 간직선과 평면곡선부의 연속선형을 대상으로 연구를 수행하였으며, 결과로 주행속도 프로파일 모형이 실제 운전자 주행행태를 반영하고 있음을 제시하였다.

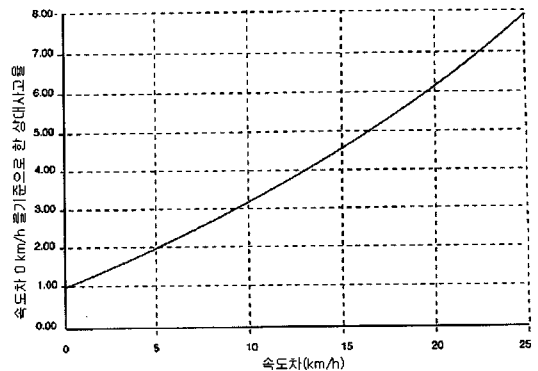
Lamm 등(1999)은 도로 선형 요소와 교통사고와의 관계를 토대로 다음과 같은 세 가지 도로 선형 안전성 평가 기준을 제시하였다.

- 평가기준 I : 개별적인 설계요소의 주행속도와 설계속도 차이를 이용한 안전성 평가
- 평가기준 II : 연속적인 설계요소(직선부와 평면곡선부, 평면곡선부와 평면곡선부) 사이의 주행속도 차이를 이용한 안전성 평가
- 평가기준 III : 공급 횡방향 마찰계수와 수요 횡방향 마찰계수를 이용한 안전성 평가

Krammes(1997)은 주행속도와 교통사고율 관계를 <그림 2>와 같이 제시하였다. 연속된 선형에서 운전자의 주행속도 변화가 교통사고율을 높이는 요소임을 보여주고 있다. 이는 연속된 선형에서 주행속도를 균일하게 유지함으로써



<그림 1> 주행속도 프로파일



<그림 2> 주행속도와 교통사고율의 관계(미국 IHSDM)

서 도로 안전이 보다 향상됨을 보여주는 연구 결과이다.

본 연구는 과속단속시스템이 주로 긴 직선부 구간에서 사용되고 있는 점을 감안하여 위의 평가 기준 가운데 두 번째 기준인 연속적인 설계요소 간의 주행속도 차이를 이용한 평가기준을 검토하였다. 또한 <그림 1>의 '경우 3'에 해당하는 경우를 본 연구의 주요한 분석 대상으로 하였다.

과속단속시스템이 설치된 경우의 주행속도 프로파일은 다음과 같은 전제조건을 이용하여 작성될 수 있다.

- ① 과속단속시스템 설치지점에서 운전자의 주행속도는 해당구간의 제한속도와 동일하다.
- ② 평면곡선부의 주행속도는 일정하다.
- ③ 직선부를 주행하는 운전자는 도달하고자 하는 희망속도가 있으며 이보다 높은 속도로 주행하지 않는다.
- ④ 가속과 감속은 평면곡선부와 과속단속시스템의 시·종점부에서만 발생한다.

2. 과속단속시스템 설치위치 결정기준

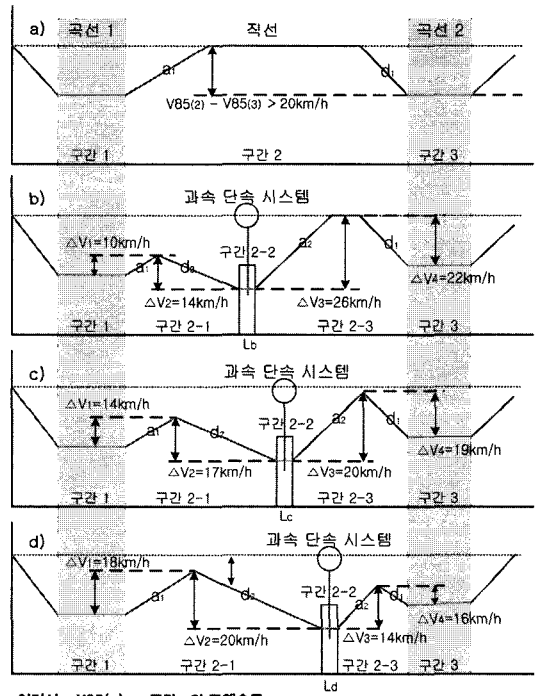
<그림 3>은 주행속도 프로파일 모형의 기본가정을 적용하여 과속단속시스템의 설치위치에 따른 주행속도 변화와 이에 따른 연속선형의 안전성의 변화를 사례를 통해 제시한 것이다.

<그림 3>의 a)는 과속단속시스템을 설치하지 않은 경우를 가정한 것으로서 구간 2와 구간 3의 속도차가 20km/h를 초과한다. 연속선형의 안전 확보 여부는 앞서 언급한 평가기준Ⅱ(구체적 기준은 <표 1> 참조)에 의해 평가되며 이 구간은 운전자의 안전을 충분히 확보할 수 없는 불량한 선형으로 판정된다.

<그림 3>의 b)~d)는 평가기준Ⅱ에 의해 불량한 선형으로 판정된 <그림 3> a)의 직선부(구간 2)에 과속단속시스템의 위치를 변화시키며 설치한 경우이다.

<그림 3>의 b)~d)에서 확인할 수 있듯이 과속단속시스템의 위치가 변경됨에 따라 직선부와 평면곡선부의 속도차가 달라지며, <표 1>에서 제시한 주행속도 일관성 평가기준에 따라 과속단속시스템의 적합한 위치를 선정할 수 있다. <그림 3>에서는 $\Delta V_1 \sim \Delta V_4$ 가 모두 20km/h 이하인 $L_c \sim L_d$ 가 적합한 위치이다.

그러나 <표 1>의 주행속도 일관성 평가기준은 적합·부적합만을 판별하는 것으로 이 기준만으로는 최적



여기서, $V85(x)$ = 구간 x의 주행속도
 ΔV_1 = $V85(1) - V85(2-1)$
 ΔV_2 = $V85(2-1) - V85(2-2)$
 ΔV_3 = $V85(2-2) - V85(2-3)$
 ΔV_4 = $V85(2-3) - V85(3)$
 a_1, d_1 = 평면곡선부 진입, 진출 가속도
 a_2, d_2 = 과속 단속 시스템 진입, 진출 가속도
 L_b, c, d = b), c), d)의 과속 단속 시스템 설치 위치

<그림 3> 과속단속시스템 위치에 따른 주행속도 변화

<표 1> 평가기준 Ⅱ

기준 구분	주행속도 일관성 (operating speed consistency)
우수	$ V85_i - V85_{i+1} \leq 10 \text{ km/h}$
양호	$10 \text{ km/h} < V85_i - V85_{i+1} \leq 20 \text{ km/h}$
불량	$ V85_i - V85_{i+1} > 20 \text{ km/h}$

주: $V85_i$: i번째 설계요소를 주행하는 운전자의 85백분위 주행속도
 $V85_{i+1}$: i+1번째 설계요소를 주행하는 운전자의 85백분위 주행속도

의 위치를 찾아내는 것은 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 <표 1>의 주행속도 일관성 평가기준을 우선으로 만족하며, 동시에 각 구간의 주행속도 변화를 최소화한다는 관점에서 제2의 기준을 마련하였다.

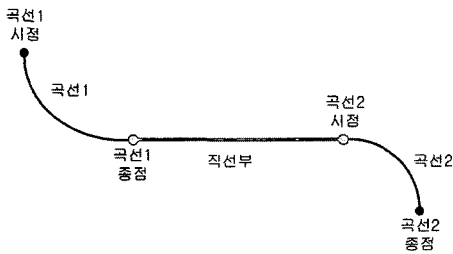
이를 정리하면 다음과 같다.

- 우선순위 1 : 주행속도 일관성 평가기준Ⅱ
 $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4 \leq 20 \text{ km/h}$ (1)
- 우선순위 2 : 구간별 속도 변화 최소화
 $\text{Min}[\text{Max}\{\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4\}]$ (2)

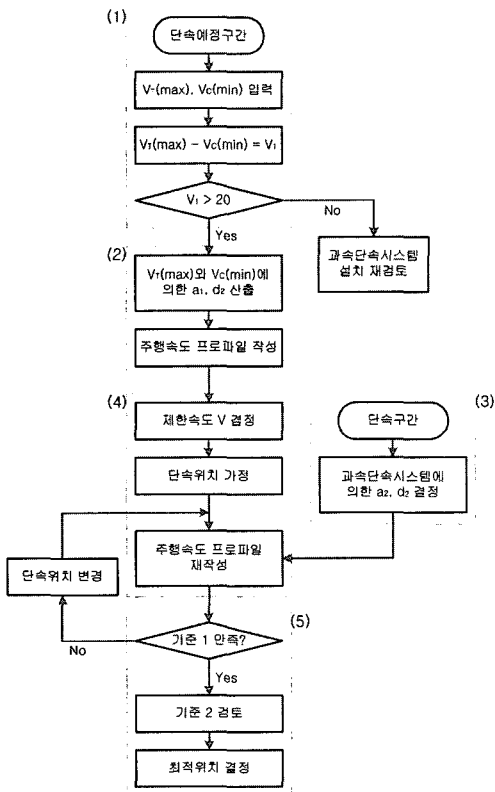
여기서, $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4$ 는 <그림 3>에 제시된 각 구간별 속도 변화량을 의미한다.

3. 설치지점 선정 알고리즘

앞서 제시한 주행속도 프로파일의 가정과 안전성 평가에 활용되는 두 가지 우선순위를 고려하여 과속단속시스템의 최적 위치를 선정하고자 하며 이를 위해 <그림 4>와 같이 두 개의 곡선부와 한 개의 직선부로 된 선형을 가정하였다.



<그림 4> 알고리즘 작성구간의 선형



<그림 5> 최적 위치 선정 알고리즘

<표 2> 변수 설명

단계	변수	설명
(1)	$V_{T(max)}$	직선부의 최대 속도
	$V_{C_2(min)}$	곡선2의 최소 속도
(2)	$V_{C_1(min)}$	곡선1의 최소 속도
	S_l	직선부 최대 속도 발생 지점
	$S_1(e)$	곡선1 종점
	$S_2(b)$	곡선2 시점
	$V(x)$	주행속도
(3)	V	제한속도
	S_c	과속단속시스템 설치 위치

<그림 5>는 안전성 평가기준을 모두 만족하는 과속단속시스템의 최적 위치를 선정하기 위해 개발된 알고리즘이다.

이상의 가정 조건들을 전제로 한 과속단속시스템 최적 위치 선정 알고리즘은 <그림 5>와 같이 (1)~(5)의 과정을 거쳐 결정된다.

$V_{T(max)}$ 는 직선부의 최대 속도, $V_{C(min)}$ 은 평면곡선부의 최저 속도를 의미한다. 곡선부나 과속단속시스템을 통과할 때의 가·감속도는 일정하며, 이는 $V_{T(max)}$, $V_{C(min)}$, 제한속도에 의해 산출된다.

본 알고리즘의 (1)~(3)단계에서 사용되는 변수는 <표 2>와 같다.

1) 설치 검토

과속단속시스템의 설치에 <표 1>의 주행속도 일관성 평가기준에 의하여 곡선부와 직선부의 속도 차이가 20km/h가 초과하는 경우에 안전 확보를 위해 설치하도록 한다(식(3) 참조).

$$\begin{cases} V_{T(max)} - V_{C_1(min)} > 20\text{km/h} \\ V_{T(max)} - V_{C_2(min)} > 20\text{km/h} \end{cases} : \text{설치} \quad (3)$$

2) 주행속도 프로파일 작성

곡선부와 직선부의 속도가 정해지면 곡선 진입부와 진출부의 가·감속도를 식(4), 식(5)에 따라 산출한다.

$$a_1 = \frac{[V_{T(max)}]^2 - [V_{C_1(min)}]^2}{2 \times 3.6 \times [S_l - S_1(e)]} \quad (4)$$

$$d_1 = \frac{[V_{C_2(min)}]^2 - [V_{T(max)}]^2}{2 \times 3.6 \times [S_2(b) - S_l]} \quad (5)$$

산출된 가·감속도를 이용하여 다음과 같이 지점의 주행속도를 산정하고, 주행속도 프로파일을 작성한다.

$$S_1(e) < x < S_t \text{ 일 때}$$

$$V(x) = \sqrt{[V_{C_1(\min)}]^2 + 2 \times 3.6 \times a_1 \times [x - S_1(e)]} \quad (6)$$

$$S_t \leq x < S_2(b) \text{ 일 때}$$

$$V(x) = \sqrt{[V_{T(\max)}]^2 + 2 \times 3.6 \times d_1 \times [x - S_t]} \quad (7)$$

각 지점의 산출된 $V(x)$ 중 최대값이 그 구간의 희망속도가 된다.

3) 단속구간 분석

단속예정구간에 과속단속시스템이 설치되는 경우의 주행속도 변화를 예측하기 위해서는 과속단속카메라 전·후방에서의 가·감속 행태가 분석되어야 한다. 본 연구에서는 단속구간에서 과속단속시스템으로 인한 가·감속도(a_2, d_2)를 분석하고 이를 적용하여 단속예정구간에 과속단속시스템이 설치된 경우의 주행속도 변화를 예측하였다.

4) 과속단속시스템 설치 가정

제한속도 V 를 정한 후 과속단속시스템을 설치할 위치 S_c 를 가정한다. 과속단속시스템은 직선부 중앙에서부터 전·후방으로 50m씩 이동하며, 주행속도의 변화를 일으킬 것이다. 이동거리 50m는 본 연구에서 임의로 설정한 값이며, 단속예정구간의 특성에 따라 변경이 가능하다.

과속단속시스템 설치로 인한 주행속도는 앞에서 산정된 a_2, d_2 를 이용하여 결정되며, 식(8)와 식(9)에 의해 산출된다.

$$S_1(e) < x < S_c \text{ 일 때}$$

$$V(x)' = \sqrt{V^2 - 2 \times 3.6 \times d_2 \times [x - S_1(e)]} \quad (8)$$

$$S_c \leq x < S_2(b) \text{ 일 때}$$

$$V(x)' = \sqrt{V^2 + 2 \times 3.6 \times a_2 \times [x - S_c]} \quad (9)$$

$V(x)$ 와 $V(x)'$ 중 최소값이 주행속도와 동일하며, 이 주행속도를 이용하여 과속단속시스템의 지점별 주행속도 프로파일을 재 작성한다.

단, 주행속도는 구간의 희망속도를 초과하지 않으

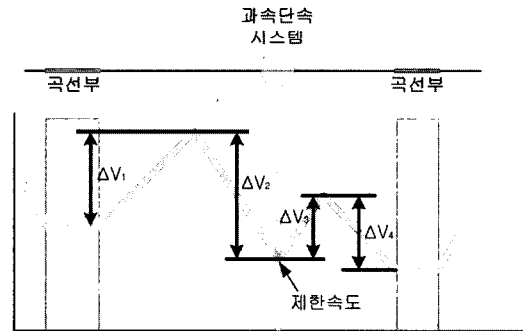
로 희망속도를 초과하는 주행속도에 대해서는 희망속도로 주행속도로 간주한다.

5) 선정기준에 따른 판별

주행속도 프로파일이 완성되면 과속단속시스템의 최적위치 결정을 위한 우선순위의 만족여부를 판별하여 적합한 위치를 결정한다.

〈그림 6〉은 과속단속시스템의 설치에 따른 주행속도의 변화를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 과속단속시스템을 짧은 급 곡선으로 가정하였으므로 〈그림 6〉의 $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4$ 각각에 대해 Lamm 등(1999)이 제시한 연속선형 안전성 평가기준, 즉 본 연구에서 제시한 우선순위 1(식(1) 참조)의 만족여부를 검토한다. 우선순위 1의 검토 결과 양호 또는 우수로 판정된 경우 우선순위 2를 적용하여 최적 위치를 결정한다.



〈그림 6〉 과속단속시스템에 의한 주행속도 변화

IV. 사례 연구

본 연구는 주행속도 프로파일을 이용하여 과속단속시스템의 최적위치를 결정하는 방법론과 관련한 연구로서, 이를 위해 일반국도 38호선 안성~장호원 구간을 대상으로 과속단속시스템이 설치되어 있는 단속구간과 과속단속시스템의 설치를 가정하고자 하는 단속예정구간의 주행속도 조사를 실시하였다.

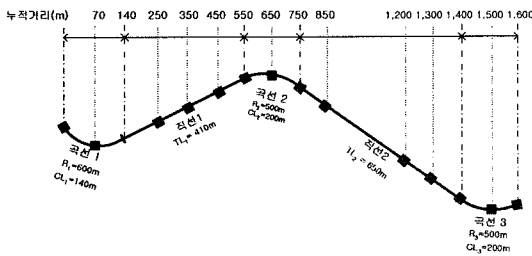
속도 자료수집은 미국 nu-metrics사의 NC-97을 이용하였다. 검지기는 가로 16cm, 세로 14cm, 높이 2cm 정도로 운전자에게 쉽게 식별되지 않을 정도의 크기이다. 검지기로부터 수집되는 자료는 차량속도, 검지시간, 차두시간, 차량길이이다. 조사장비를 통해 조사된 자료 중 추

중이 일어날 수 있는 차두시간이 6초 이하인 경우는 다른 차량의 영향을 받았다고 가정하고 자료에서 제외하였으며, 차종은 승용차로 국한하여 분석을 수행하였다.

1. 설치지점 선정

1) 연속 선형

단속예정구간은 '곡선1-직선1-곡선2-직선2-곡선3'의 연속된 선형으로 구성되어 있으며, 이 구간에 검지기를 연속적으로 설치하여 주행속도를 조사하였다. <그림 7>은 단속예정구간의 선형 및 검지기 설치위치이다.

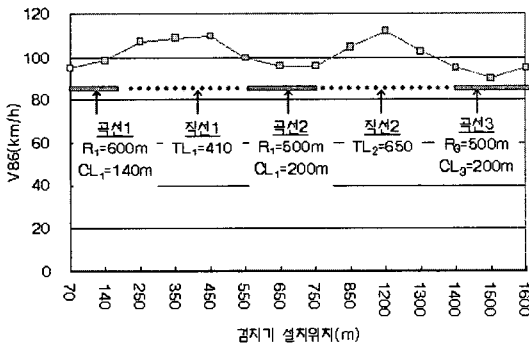


<그림 7> 단속예정구간의 연속선형 및 검지기 설치 위치

2) 주행속도 분석

<그림 8>은 단속예정구간에서 조사된 주행속도 프로파일이다.

주행속도는 95~112km/h 범위로서, 제한속도가 80km/h임을 감안했을 때, 대다수의 운전자들이 제한속도를 초과하여 주행하고 있음을 알 수 있다.



<그림 8> 주행속도 프로파일(단속예정구간)

3) 선정 근거

Lamm 등(1999)이 제안한 주행속도 일관성 평가기준

<표 3> 구간별 안전성 평가 결과

구분	$V_{T(max)}$	$V_{C(min)}$	속도차	평가
1구간	110	95	14	양호
2구간	112	90	22	불량

여기서, $V_{T(max)}$: 직선부 최고속도(km/h)

$V_{C(min)}$: 곡선부 최저속도(km/h)

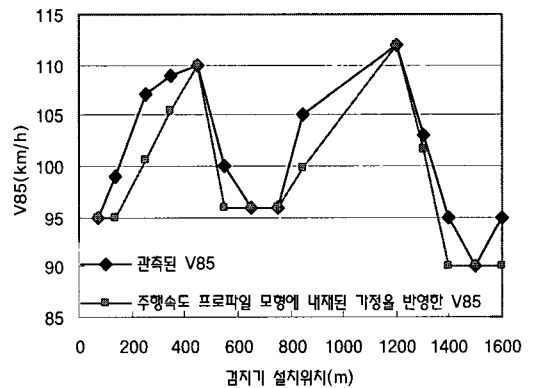
에 의한 안전성을 평가하기 위해 직선부와 곡선부의 주행속도차를 분석하였으며, 그 결과를 <표 3>에 제시하였다.

'곡선1-직선1-곡선2(1구간)'과 '곡선2-직선2-곡선3(2구간)'의 연결선형을 평가한 결과 1구간은 양호한 선형으로, 2구간은 불량한 선형으로 판정되었으며, 따라서 2구간에 과속단속시스템을 설치한다. 직선부 희망속도 결정을 위해 직선부 최대 속도인 112km/h를 단속예정구간의 직선부 희망속도로 가정하였다.

2. 주행속도 프로파일 작성

$V_{T(max)}$ 와 $V_{C(min)}$ 을 이용하여 구간별로 감·가속도를 산정하였다. 1구간은 가속도 $1.38m/s^2$, 감속도 $-4.01m/s^2$ 로 나타났으며, 2구간은 가속도 $1.03m/s^2$, 감속도 $-3.09m/s^2$ 로 나타났다.

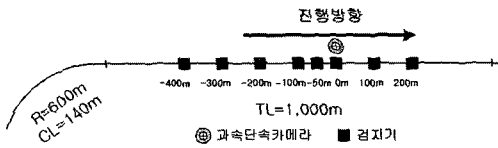
<그림 9>는 구간별 감·가속도를 이용하여 주행속도 프로파일을 작성한 결과이다.



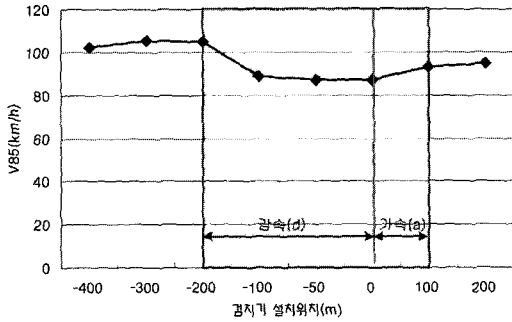
<그림 9> 주행속도 프로파일(단속예정구간)

3. 단속구간 분석

과속단속시스템 설치로 인한 가·감속도를 분석하기 위해 <그림 10>의 단속구간을 선정하여 주행속도 조사



〈그림 10〉 단속구간 선형 및 검지기 설치 위치

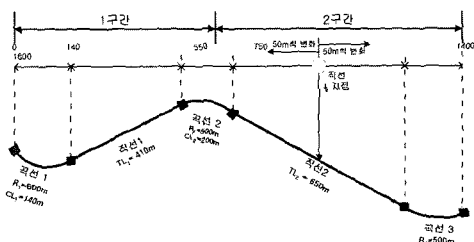


〈그림 11〉 단속구간의 주행속도 분석

를 실시하였으며, 그 결과는 〈그림 11〉과 같다. 곡선부에서 진출한 운전자는 과속단속시스템의 전방 200m부터 감속하는 경향을 보였으며, 과속단속시스템을 통과한 후 100m 지점까지 다시 가속하는 경향을 보인다. 과속단속시스템에 의한 감속도는 -2.26m/s^2 , 가속도는 2.05m/s^2 로 분석되었다.

4. 과속단속시스템 설치위치 결정

단속예정구간에 과속단속시스템의 설치 위치를 가정하였다. 과속단속시스템은 〈그림 12〉와 같이 직선2의 중앙에서 50m씩 전·후로 이동하며 설치된다. 단속예정구간의 주행속도 및 단속구간의 가·감속도를 이용하여 50m마다 주행속도 프로파일을 작성하였다. 〈표 4〉는 2구간에 과속단속시스템을 설치한 경우 설치 위치에 따른 주행속도 프로파일을 일부 나타낸 것이다. 〈표 4〉의 화살표로 표시된 부분은 선정기준에 따른 판별을 위한 데이터로 직선부와 곡선부의 속도 차이를 나타낸 것이다.

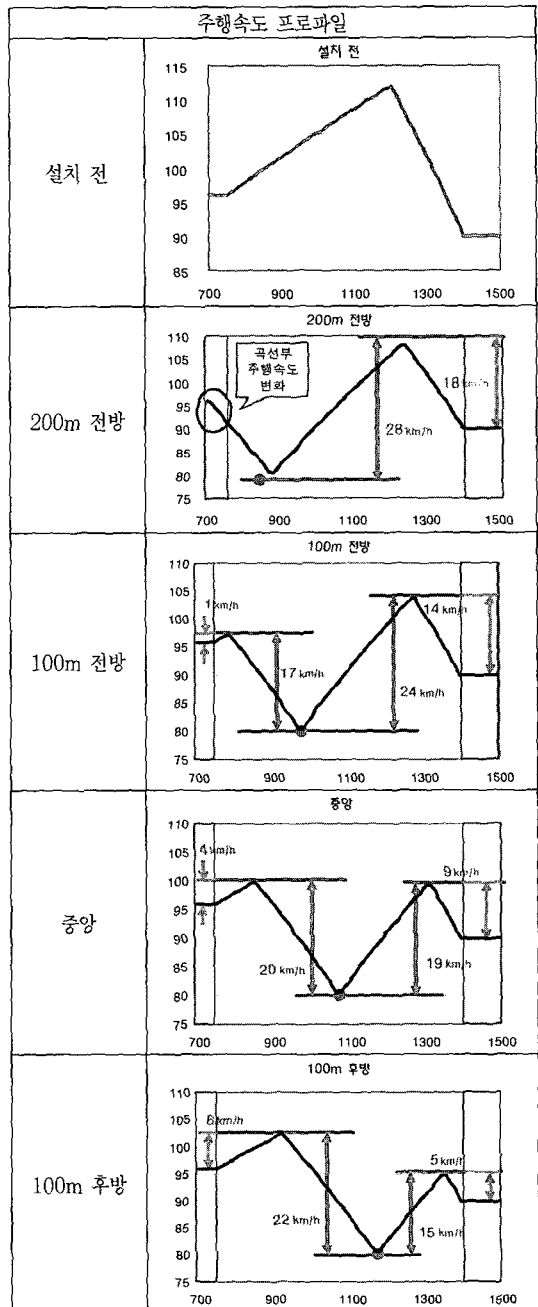


〈그림 12〉 과속단속시스템 설치

5. 선정기준에 따른 평가

〈표 4〉에서 직선부에 과속단속시스템이 설치된 경우 주행속도 프로파일을 살펴보았다. 과속단속시스템을 짧은 곡선으로 가정하였기 때문에 〈표 5〉의 변수들에 대

〈표 4〉 주행속도 프로파일



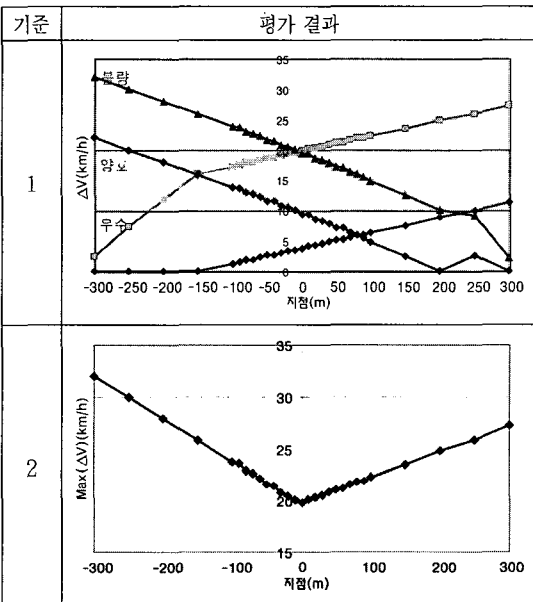
주: X축 : 검지기 설치위치 (m), Y축 : 주행속도 (km/h)

〈표 5〉 구간별 안전성 평가 결과

구분	변수	산정
카메라 전방	ΔV_1	$V_{T(max)} - V_{C_1(min)}$
	ΔV_2	$V_{T(max)} - V$
카메라 후방	ΔV_3	$V_{T(max)'} - V$
	ΔV_4	$V_{T(max)'} - V_{C_2(min)}$

여기서, $V_{T(max)}$: 과속단속시스템 전방 최대 속도
 $V_{T(max)'}$: 과속단속시스템 후방 최대 속도

〈표 6〉 평가 결과



해 선정 기준을 검토해야 한다.

〈표 5〉의 변수에 대해 앞서 제시한 두 가지 선정기준을 적용하면 다음과 같다.

- 우선순위 1 : $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4 \leq 20 \text{ km/h}$
- 우선순위 2 : $\text{Min}[\text{Max}(\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4)]$

위의 두 가지 선정 기준을 적용하여 〈표 6〉에 평가 결과를 도시하였다. 〈표 4〉에서 주행속도 프로파일을 일부 제시하였는데, 이를 보면 과속단속시스템 전방 100m와 후방 100m 모두 우선순위 1(주행속도 일관성 평가)을 만족시키지 못하는 것으로 나타나 전방 100m~후방 100m 구간은 10m 단위로 세분하였다.

평가 결과 본 연구사례에서는 직선부 중앙지점이 과속단속시스템의 최적 설치 위치로 판정되었다.

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구는 도로 선형 일관성 평가를 위해 사용되는 주행속도 프로파일 모형을 과속 단속 시스템의 위치 결정에 적용하는 방안에 대해 검토한 것이다. 과속단속시스템의 주된 목적을 과속 운전자의 단속보다는 교통류의 안정적인 흐름(동질성 유지)에 중심을 두고 이를 실무에서 구체화할 수 있는 방안을 제시하는데 연구의 목적을 두었다.

과속단속시스템도 급 곡선이나 급경사와 마찬가지로 운전자의 작업부하를 높여주는 일종의 선형 요소로 간주하고 도로 선형 일관성에서 적용하는 개념을 응용하여 단속 시스템의 적합한 설치 위치를 결정하는 방안을 검토하였다.

이를 위해 도로 선형 설계 일관성 평가에서 제시하는 도로 선형 안전성 평가 기준 가운데 연속된 두 선형 요소 간에 속도 차이가 20km/h를 초과하는 구간은 위험하다고 판정하는 기준을 우선 활용하고 단속 시스템에 영향을 받는 구간 내의 주행속도가 보다 동질하게 유지될 수 대안을 선택하는 기준을 제시하였다.

향후 연구는 직선 내리막 구간 등을 포함한 다양한 선형 조건과 사고 잦은 곳 등 자동차 간의 속도 분산이 큰 지점, 제한속도 차이가 본 연구에서 적용한 평가 기준 값인 20km/h를 초과하지 못하는 구간에 대해서도 과속단속시스템의 설치 위치에 대한 연구가 필요하다. 특히 중단 경사 구간(특히 내리막) 등은 과속단속시스템이 자동차의 역학적 안전성에 미치는 영향까지도 고려한 연구가 수행될 필요가 있다.

참고문헌

1. Krammes, R. A(1997), "Interactive Highway Safety Design Model: Design Consistency Module", Public Roads.
2. Lamm, R., Psarianos, B. and Mailaender T(1999), Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, McGraw-Hill.
3. 건설교통부(2000), 도로의구조·시설기준에 관한규칙 해설 및 지침.
4. 김용석·조원범(2004), "긴 직선-곡선 연결선형에서 운전자 주행행태에 관한 현장조사 연구", 대한교통학회지, 제22권 제7호, 대한교통학회, pp. 139~146.
5. 한원섭·김만배·현철승·유성준(2005), "구간과속단속"

속시스템의 도입 방안 연구”, 도로교통안전관리공단.

6. 도로교통안전관리공단(1999), “무인교통단속시스템의 설치 효과 분석”.

7. 강정규·현철승·오세리(1999), “자동과속단속시스템의 교통안전개선 메커니즘 분석”, 도로교통안전관리공단.

✎ 주 작 성 자 : 김용석

✎ 논문투고일 : 2005. 6. 18

논문심사일 : 2005. 7. 13 (1차)

2005. 8. 17 (2차)

심사관정일 : 2005. 8. 17

✎ 반론접수기한 : 2005. 12. 31