

# 과속방지턱을 통과하는 무인자율 목적기반차량의 승차감 확보를 위한 차량 속도제어로직 개발

김민영<sup>1)</sup> · 이천환<sup>\*2)</sup>

전남대학교 미래모빌리티융합학과<sup>1)</sup> · 전남대학교 지능형모빌리티융합학과<sup>2)</sup>

## Development of Vehicle Velocity Control Logic for Ride Comfort of Unmanned Autonomous Purpose Built Vehicle Passing through Speed Bump

Minyoung Kim<sup>1)</sup> · Chunhwan Lee<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Future Mobility Convergence, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

<sup>2)</sup>Department of Intelligent Mobility, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

(Received 6 July 2023 / Revised 7 August 2023 / Accepted 22 August 2023)

**Abstract** : Ride comfort is a significant factor for vehicle passengers, particularly in the case of newly introduced Unmanned Autonomous Vehicles(UAVs), where stability during the drive and ride comfort can greatly affect the quality of the passenger's experience. In Korea, unlike the standard for speed bumps on the road, some of these come in various shapes. If UAVs are controlled at the same velocity for each speed bump, ride comfort may not be desirable. Therefore, this study proposes a velocity control strategy based on the shape of the speed bump, aiming to ensure ride comfort according to ISO2631-1 standards, while avoiding causing inconvenience to passengers due to longitudinal acceleration through the velocity profile.

**Key words** : Velocity control logic(속도 제어 로직), Unmanned autonomous vehicle(무인자율주행차량), Purpose built vehicle(목적기반차량), Regression analysis(회귀분석법), Speed bump(과속방지턱), Vehicle dynamics(차량 동역학)

### Nomenclature

$z$	: sprung mass displacement	$d$	: velocity difference between initial and final
$\theta$	: pitch	$k$	: stability coefficient
$a, b$	: distance from c.g. to axle	$p$	: model constant
$m_s$	: sprung mass	$V$	: vehicle velocity
$m_{uf}, m_{ur}$	: unsprung mass	$V_{p1}, V_{p2}$	: vehicle velocity profile
$k_f, k_r$	: sprung coefficient of suspension system	$V_i$	: initial velocity
$c_f, c_r$	: damping coefficient of suspension system	$V_c$	: controlled velocity
$z_f, z_r$	: unsprung mass displacement		
$a_w(t)$	: weighted acceleration		
$a_w$	: weighted root mean square acceleration		
$a_v$	: total weighted root mean square acceleration		
$T$	: exposure time		

### Subscripts

$W, H$	: wide and height of speed bump
$des$	: desired

\*A part of this paper was presented at the KSAE 2023 Spring Conference

\*Corresponding author, E-mail: [chunhwan@jnu.ac.kr](mailto:chunhwan@jnu.ac.kr)

<sup>†</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

### 1. 서론

자율주행 기술은 운전자의 개입 없이 차량에 장착된 센서를 통해 주변 환경을 인식하고 상황에 따라 판단 후 차량을 제어하여 원하는 목적지까지 주행하는 기술을 의미한다. 그리고 최근 자율주행 기술의 고도화로 SAE 기준 LV.4 이상의 자율주행 기술을 탑재한 운전석을 제거한 PBV(Purpose Built Vehicle) 형태의 무인 자율주행 차량(Unmanned Autonomous Vehicle, UAV) 이 개발되고 있다. UAV가 시장에 신규로 도입되고 있는 상황에서 적극적으로 활용되기 위해서는 안전 확보에 대한 높은 신뢰성이 중요한데 현재는 충돌회피, 차선 유지 등의 연구들에 초점이 맞추고 있으며 승차감에 관련된 연구는 상대적으로 부족하다.<sup>1)</sup> 하지만 승객이 UAV를 이용하는 과정에서 경험하는 승차감은 UAV에 대한 신뢰와 강한 상관관계가 있다.<sup>2)</sup> 승객뿐만 아니라 PBV의 형태에 맞춰 다양한 용도로 사용될 것으로 예상되는 UAV는 각 용도에 맞는 동특성 안정성을 확보할 필요가 있다.

가속도와 진동을 줄여 차량의 승차감을 개선하기 위한 선행 연구가 다양하게 진행되어왔다. 차량을 이용하는 승객에게 수직 진동이 노출되었을 때 진동의 크기 및 주파수가 미치는 영향,<sup>3)</sup> 도로 노면의 거칠기에 따른 불쾌감을 분석하여 승차감을 개선에 대한 연구가 진행되었다.<sup>1)</sup> 최근에는 차량에 장착된 카메라를 통한 전방 노면 상태를 인지하여 운전자의 성향을 고려한 프리뷰 전 차제어 서스펜션이 연구되었다.<sup>4)</sup> 이러한 기술들은 작은 요철, 노면 거칠기 등에 효과가 나타나지만, 과속방지턱, 포트홀과 같은 큰 요철에 대해서는 차체가속도의 감소폭이 적어 요철에 의한 충격에는 분명한 한계가 보인다. 따라서 큰 요철에 대한 충격을 감소시키기 위해서는 차량의 속도제어를 진행할 필요가 있다. 과속방지턱을 통과할 때 속도에 대한 연구가 선행되었지만,<sup>5)</sup> 과속방지턱과 같은 일시적인 충격에서는 평가지표로 피폭진동누적량(Vibration Dose Value, VDV) 사용을 ISO2631-1 (ISO, 1997)에서 권장한다. 그리고 승차감을 향상하기 위한 속도제어 전략에 관한 연구도 선행되었지만,<sup>1)</sup> 노면의 거칠기와 속도에 따른 승차감을 분석하였으며 이는 큰 요철에 적용하기엔 어려울 것으로 보인다.

본 연구에서는 주관성이 강한 차량의 승차감을 승차감 지표인 ISO2631-1의 평가지표를 활용한 과속방지턱의 규격에 따른 승차감을 확보할 수 있는 속도를 제시하였다. 또한 목표속도로 가감속하는 과정에서 발생할 수 있는 종방향 가속도를 최소화하였다.

### 2. 차량 모델링 및 승차감

#### 2.1 차량 동적 모델링

차량의 승차감 분석을 위한 차량 동적 모델은 자유도에 따라 분류된다. 과속방지턱을 통과할 때 차량의 Pitch, 축거에 의한 영향 고려하기 때문에 본 연구에서는 4자유도의 Half-Car 모델을 사용하였다. 식 (1)부터 식 (6)까지 Half-Car 모델에 대한 차량의 일반화된 상태방정식을 나타낸다.<sup>6)</sup>

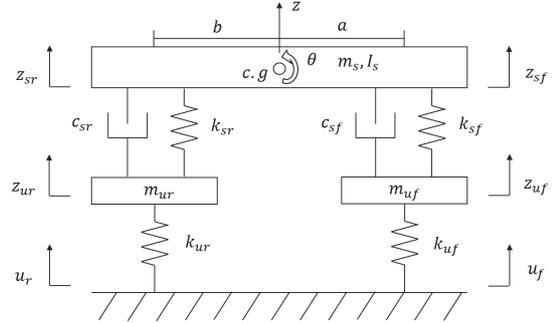


Fig. 1 Half-Car suspension model

$$m_{uf}\ddot{z}_{uf} + c_{sf}(\dot{z}_{uf} - \dot{z}_{sf}) + k_{sf}(z_{uf} - z_{sf}) \tag{1}$$

$$m_{ur}\ddot{z}_{ur} + c_{sr}(\dot{z}_{ur} - \dot{z}_{sr}) + k_{sr}(z_{ur} - z_{sr}) + k_{ur}(z_{ur} - u_r) = 0 \tag{2}$$

$$m_s\ddot{z} + c_{sf}(\dot{z}_{sf} - \dot{z}_{uf}) + k_{sf}(z_{sf} - z_{uf}) + c_{sr}(\dot{z}_{sr} - \dot{z}_{ur}) + k_{sr}(z_{sr} - z_{ur}) = 0 \tag{3}$$

$$I_s\ddot{\theta} + a\{c_{sf}(\dot{z}_{sf} - \dot{z}_{uf}) + k_{sf}(z_{sf} - z_{uf})\} - b\{c_{sr}(\dot{z}_{sr} - \dot{z}_{ur}) + k_{sr}(z_{sr} - z_{ur})\} = 0 \tag{4}$$

where,  $z_{sf} = z + a\theta, z_{sr} = z - b\theta$

$$m_s\ddot{z} = c_{sf}(\dot{z}_{uf} - \dot{z} - a\dot{\theta}) + k_{sf}(z_{uf} - z - a\theta) + c_{sr}(\dot{z}_{ur} - \dot{z} + b\dot{\theta}) + k_{sr}(z_{ur} - z + b\theta) \tag{5}$$

$$I_s\ddot{\theta} = a\{c_{sf}(\dot{z}_{uf} - \dot{z} - a\dot{\theta}) + k_{sf}(z_{uf} - z - a\theta)\} - b\{c_{sr}(\dot{z}_{ur} - \dot{z} + b\dot{\theta}) + k_{sr}(z_{ur} - z + b\theta)\} \tag{6}$$

### 2.2 승차감 평가

ISO의 승차감 지표인 ISO2631-1<sup>7)</sup>에 따르면 전신진동(Whole-body vibration)으로 인한 인체에 가해지는 건강, 승차감, 진동인지, 멀미 등을 Seat의 위치마다 진동에 주파수를 가중한 정량적인 기준으로 x, y, z 축 방향에 대한 합을 구할 때 제곱 합의 제곱근(Root sum of squares) 값을 사용한다. 한 축의 가중된 값이 다른 축의 최댓값의 25 %보다 작을 경우 제외할 수 있다.<sup>7)</sup> 따라서 본 연구에서는 과속방지턱을 통과할 때 발생하는 가속도에 의한 충격을 계산하므로 식 (8)의 x, z축 방향에 대한 값을 이용하고 y축은 0으로 가정한다. ISO2631-1에서 제시한 진동 크기에 따른 안락함의 지표는 Table 1과 같다.

Table 1 Definition of ride comfort to vibration(by ISO 2631-1)

Human subjective feeling	WRMS acceleration (m/s <sup>2</sup> )
Not uncomfortable	Less than 0.315
A little uncomfortable	0.315 ~ 0.63
Fairly uncomfortable	0.5 ~ 1
Uncomfortable	0.8 ~ 1.6
Very uncomfortable	1.25 ~ 2.5
Extremely uncomfortable	Greater than 2

승차감을 평가하는 지표로 가속도에 측정 방향 별 주파수 가중 합수를 곱하고, 제곱 평균 제곱근인 RMS(Root Mean Square Acceleration) 값에 진동 노출 시간 T를 고려한 가중 실효치(Weighted Root Mean Square acceleration, WRMS)가 이용된다. WRMS는 측정된 가속도의 단점인 진동 시간이 고려되지 않는 점을 보완할 수 있는 지표이다.

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$a_v = (k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

where,  $a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}$  = WRMS with respect to the orthogonal axes x,y,z respectively (m/s<sup>2</sup>)

$k_x, k_y, k_z$  = Multiplying factors with respect to the orthogonal axes x,y,z, respectively

WRMS는 진동 노출시간 T에 영향을 크게 받는다. 이는 차량에 있어서 장시간의 주행 혹은 도로 노면 상태 등 진동에 지속적으로 노출될 때 유용하게 사용할 수 있다. 하지만 과속방지턱, 포트홀과 같이 5초 이내로 노출 시간이 짧은 간헐적 진동을 평가하고자 할 때 WRMS를 사용할 경우 진동 노출시간 대비 측정 시간이 길기 때문에 정확한 진동의 특성을 이해하기 어려운 단점이 있다.

Griffin과 Whitham<sup>8)</sup>에 따르면 진동 노출 시간이 30초 이내로 짧을 때 네 제곱 합의 네 제곱근을 취한 VDV가 WRMS 보다 진동에 대한 안락함을 더 잘 예측한다고 하였다. VDV는 네 제곱근을 이용하여 피크에 더 민감한 특성이 있고, 진동 측정시간에 대해 큰 영향을 받지 않으며 식 (9)와 같이 정의된다.

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

$$VDV \quad (10)$$

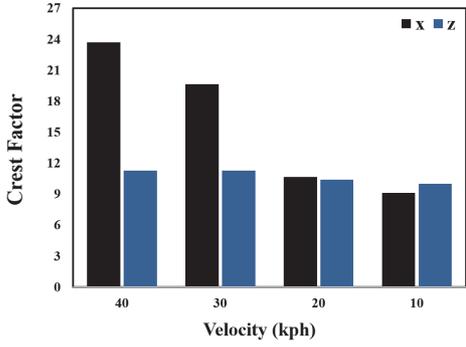
where, i = The orthogonal axes x, y, z

VDV 사용에 대한 기준은 ISO2631-1에서 Crest factor를 지표로 일시적인 진동에 대한 평가 기준을 규정하고 있다. Crest factor는 식 (12)인 Running RMS에 대한 최대 순간 가속도(Maximum Transient Vibration Value, MTVV)의 비율을 의미한다. Crest factor의 값이 9 이상일 경우 VDV의 사용을 고려한다.<sup>7)</sup> VDV를 평가하는 기준으로 eVDV(estimated Vibration Dose Value)를 이용한다. Table 1에서 WRMS를 통해 제시한 안락함에 대한 지표를 식 (13)을 통해 환산하여 평가한다. Fig. 2에서 과속방지턱의 형상에 따른 속도별 Crest factor를 제시하였으며 모두 9 이상인 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 과속방지턱을 통과할 때 발생하는 일시적 충격에 대한 승차감 분석을 위해 식 (9)를 사용하여 진행되었다.

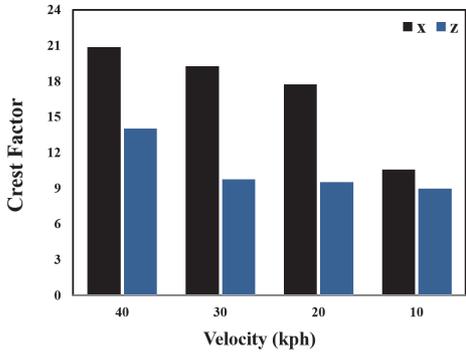
$$Crest\ factor = \frac{MTVV}{a_w(t_0)} \quad (11)$$

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$eVDV = 1.4 a_w T^{\frac{1}{4}} \quad (13)$$



(a) Crest factors at wide : 3.6 m, height : 0.1 m



(b) Crest factors at wide : 2.0 m, height : 0.075 m

Fig. 2 Crest factors according to speed bump shape

### 3. 차량 속도 전략 분석

#### 3.1 도로 환경 분석

과속방지턱은 국토교통부에서 지정한 규격에 따라 설치된다. 하지만 아파트 주차장, 기타 이면도로 등의 경우 공도에 포함되지 않기 때문에 표준 규격과 다른 다양한 형태의 과속방지턱이 존재한다.<sup>11)</sup> UAV는 공도 이외의 장소에서 주행할 가능성을 배제할 수 없기 때문에 과속방지턱마다 동일한 속도로 통과하기보다는, 과속방지턱의 규격에 따라 적절한 속도로 통과하는 것이 승차감 또는 차량 내부 탑재물 보호 측면에서 더 우수할 것으로 예상된다. 따라서 과속방지턱의 다양한 규격과 차량의 동특성 관계를 분석하기 위해서 Half-Car 모델링 기반 차량의 속도별 수직 가속도 데이터를 취득하였다.

#### 3.2 과속방지턱과 승차감 관계

과속방지턱을 통과할 때 과속방지턱의 폭, 높이에 따라 승차감이 달라지며 차량의 주행속도에 따라 추가적인 영향을 받는다. 이 세 가지 요소에 대한 충격량 변화를 분석하기 위해 회귀분석법을 이용하여 다음과 같은 순서로 요소에 따른 승차감을 분석하였다.

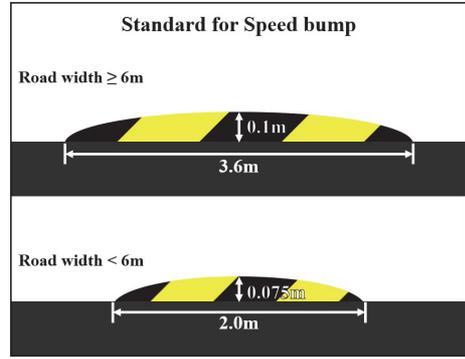


Fig. 3 Standard for installing speed bumps

#### 3.2.1 과속방지턱의 폭에 따른 VDV

과속방지턱의 폭은 1.6 ~ 4.0 m까지 일정한 간격으로 설치하였으며, 높이는 0.075 m, 차량의 통과 속도는 40 kph로 설정하여 식 (14)를 도출하였다( $R^2 = 0.931$ ).

$$VDV_W = c_1 - c_2 \cdot W^{c_3} \quad (14)$$

#### 3.2.2 과속방지턱의 높이에 따른 VDV

과속방지턱의 높이는 0.025 ~ 0.15 m까지 일정한 간격으로 설치하였으며, 폭은 3.6 m, 차량의 통과 속도는 40 kph로 설정하였다( $R^2 = 0.998$ ).

$$VDV_H = c_4 - c_5 \cdot H^{c_6} \quad (15)$$

#### 3.2.3 차량의 속도에 따른 VDV

과속방지턱의 폭은 3.6 m, 높이는 0.1 m로 설정하고 10 ~ 40 kph 까지 일정한 간격으로 과속방지턱을 통과하였다( $R^2 = 0.963$ ).

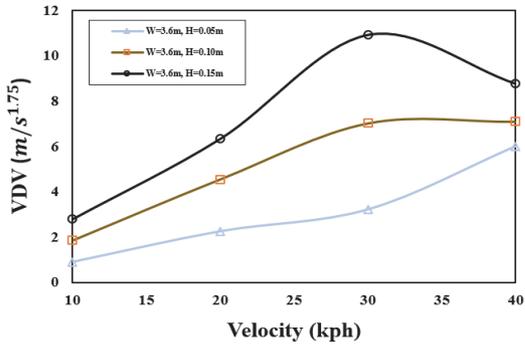
$$VDV_V = c_7 - c_8 \cdot V^{c_9} \quad (16)$$

#### 3.2.4 과속방지턱 통과 주행 속도

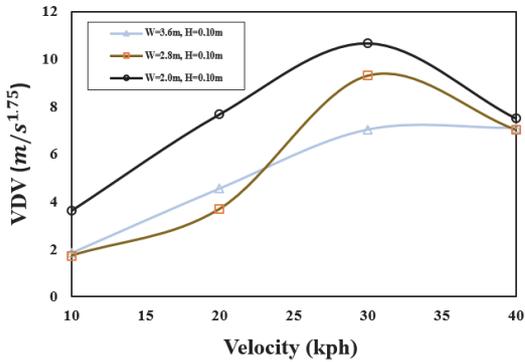
차량의 속도, 과속방지턱의 폭과 높이 세 가지를 변수에 따른 VDV에 대한 식을 다중회귀분석을 통해 식 (17)과 같이 도출되었다. Fig. 3에서 과속방지턱을 통과할 때 과속방지턱의 높이에 따른 VDV의 변화 폭이 큰 것을 알 수 있다. 식 (18)로부터 과속방지턱의 높이와 폭과 목표 VDV 값을 설정할 경우 과속방지턱을 통과할 때 목표 속도를 구할 수 있으며, 이를 통해 차량의 승차감을 확보할 수 있을 것이다( $R^2 = 0.849$ ).

$$VDV_{des} = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot \exp(a_3 \cdot H + a_4 \cdot V_O^{a_5}) \quad (17)$$

$$V_C = \left( \frac{\ln(VDV_{des} - a_0 - a_1 \cdot W) - a_2 a_3 \cdot H}{a_2 a_4} \right)^{-a_5} \quad (18)$$



(a) Relation between speed bump wide and VDV



(b) Relation between speed bump height and VDV

Fig. 4 Vibration response(VDV) of UAV according to various shapes of speed bumps

### 3.3 속도 전략 제한

일정 속도로 주행 중 과속방지턱에 의한 승차감 개선을 위한 목표속도로 감속할 때 제동거리가 충분하지 않은 상태라면, 급격한 감속으로 종방향에 대한 불편한 승차감을 유발할 수 있다. 따라서 감속을 2단계에 걸쳐 진행하여 승차감을 보장하는 것을 제안하며 과속방지턱 통과 후 가속 상황은 고려하지 않는다.

프리뷰 전자제어 서스펜션 기술의 경우 주행 경로 상 존재하는 과속방지턱의 유무를 확인할 때 내비게이션을 통한 정보와 센서를 이용한다.<sup>4)</sup> 하지만 내비게이션에서 제공하는 정보에는 과속방지턱의 형상에 대한 정보는 존재하지 않기 때문에 형상 파악을 위해 차량에 장착된 카메라로 확인할 필요가 있다. 본 연구는 과속방지턱의 규격이 차량에 장착된 카메라를 통해 정확히 측정됨을 가정하여 수행하였다. 카메라로 과속방지턱의 형상을 확인하기 위한 거리에 접근할 때까지 3차 다항식 형태로 1차 속도 프로파일을 이용하여 감속에 의해 발생할 수 있는 승차감을 확보하며 일정 속도에 도달하도록 한다.<sup>9)</sup> 식 (19)에서의  $s$ 는 과속방지턱으로부터 거리이다. 식 (19)를 이용해 설정한 속도에 도달하면, 과속방

지턱의 형상을 파악한 후 식 (20)<sup>1)</sup>을 이용하여 식 (18)을 통해 구한 목표 속도로 2차 가감속 후 과속방지턱을 통과하여 승차감을 보장한다. 본 연구에서는 승차감 확보를 위해 종방향 가속도의 한계를  $1.5 \text{ m/s}^2$ 와 Jerk는  $3.0 \text{ m/s}^3$ 으로 설정하였다.<sup>10)</sup>

$$V_{p1}(s) = c_0 + c_1s + c_2s^2 + c_3s^3 \quad (19)$$

$$V_{p2} = -\frac{d}{2} \tanh(k(t-p)) - \frac{d}{2} + v_i \quad (20)$$

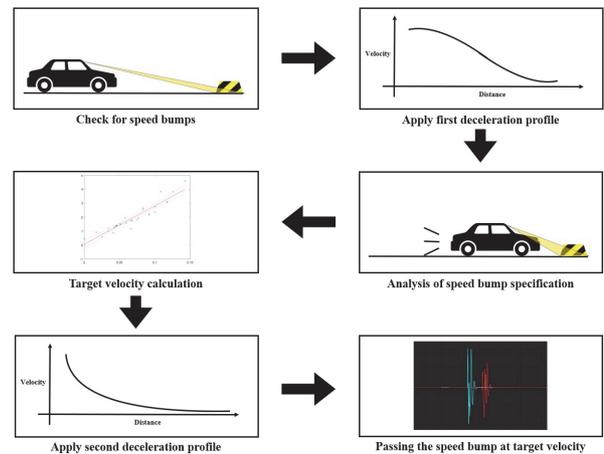


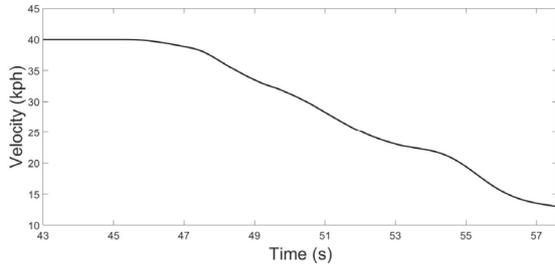
Fig. 5 Concept of velocity control profile for ride comfort when UAV passing the speed bumps

## 4. 속도 전략 검증

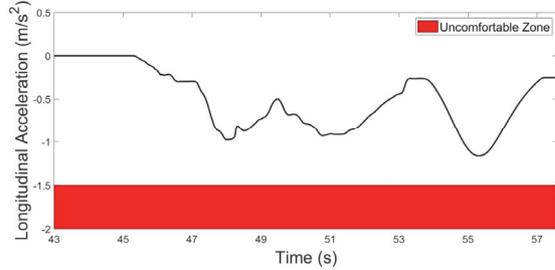
차량의 동적 모델링을 기반으로 앞서 제시한 과속방지턱의 형상에 따른 속도 프로파일에 대한 검증 진행을 위해 Mathworks사의 ‘MATLAB /Simulink’와 IPG사의 ‘Carmaker’ 프로그램을 통해 차량 모델링 및 동특성을 파악하였다. 모델링한 차량의 축거가 3,700 mm인 차량을 바탕으로 다양한 상황을 가정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

### 4.1 종방향 가속도에 의한 승차감

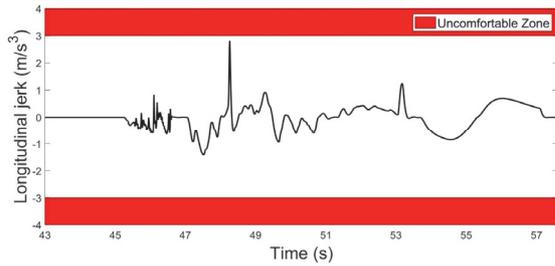
속도 프로파일을 추종하는 과정에서 발생할 수 있는 종방향에 대한 승차감을 Fig. 5를 통해 확인할 수 있다. 앞서 기준으로 정한 가속도 1.5와 Jerk 3.0에서 초과하지 않는 수치를 나타내어 승차감을 확보할 수 있었다. 또한 Fig. 5를 식 (7), 식 (8)에 의한 WRMS로 분석하였을 때, Table 1의 ‘Not Uncomfortable’ 영역으로 나타났다.



(a) Result of velocity profile



(b) Result of longitudinal acceleration



(b) Result of longitudinal jerk

Fig. 6 Results of ride comfort with velocity control when UAV passing the speed bumps

#### 4.2 과속방지턱 통과 시 승차감

수직방향에 대한 승차감 분석은 과속방지턱 통과속도에 따라 3가지로 가정하였다. 과속방지턱을 통과할 때 감속없는 정속주행(40 kph), 일반적인 감속(25 kph), 과속방지턱 형상에 맞는 감속으로 분류하였다. 과속방지턱 통과시 발생하는 수직방향(z축)에 대한 가속도를 고려하였다. Fig. 6에서 과속방지턱 통과속도의 감소로 진동 지속시간은 증가하였지만, 수직 가속도의 Peak-to-peak 가 감소한 모습을 볼 수 있다.

모사환경 조건에서 무작위의 서로 다른 형태 과속방지턱을 생성 후 주행 상황 별 VDV를 비교했을 때 과속방지턱 형상에 맞는 속도로 통과할 경우 대부분의 과속방지턱 형상에서 목표 승차감 내의 결과를 확인할 수 있었다. 특히 과속방지턱의 표준 규격인 폭 3.6 m, 높이 0.1 m 를 속도 프로파일에 따라 통과할 경우 40 kph대비 약

74.6 %, 25 kph대비 약 59.7 % 개선된 모습을 보였으며 폭 2.0 m, 높이 0.075 m의 경우 약 63.9 %, 약 52.1 % 개선된 효과를 보였다.

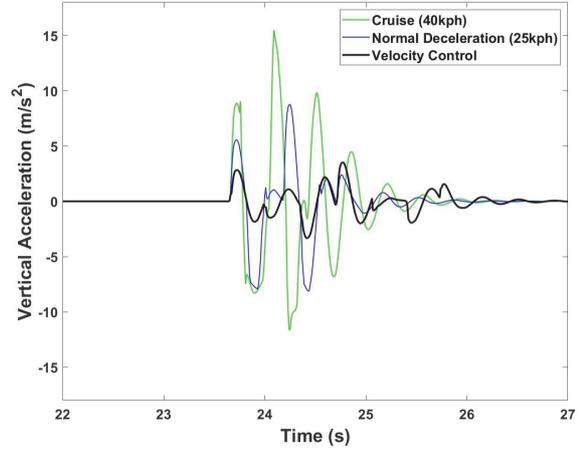


Fig. 7 Comparison of vertical acceleration by vehicle velocity

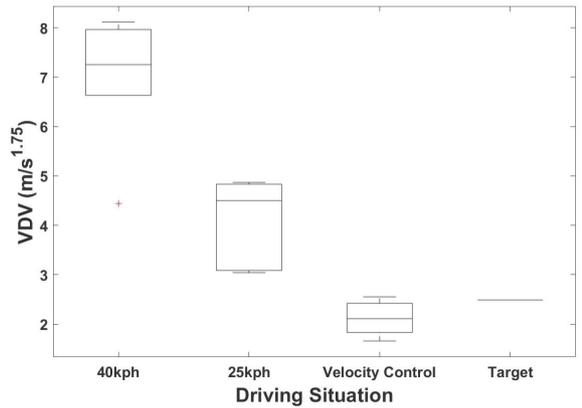


Fig. 8 Simulation results(VDV) of UAV with velocity control strategy when passing over speed bumps

### 5. 결론

본 연구에서는 UAV가 과속방지턱을 통과할 경우 차량 내 적재된 화물 보호 혹은 이용 승객의 안전과 승차감을 확보하기 위해 가상환경 조건에서 모의실험을 통해 과속방지턱 형상에 따른 동특성 분석 및 과속방지턱 통과 시 승차감을 확보할 수 있는 속도제어로직에 관한 연구를 진행하였다.

- 1) 과속방지턱의 폭, 높이와 차량의 속도에 따른 승차감을 ISO2631-1에서 제시하는 VDV를 이용하여 상관관계를 분석하였다.
- 2) 카메라, 라이다 등 센서를 이용한 과속방지턱의 형

상 분석이 가능할 경우 과속방지턱의 형상에 따른 승차감을 확보할 수 있는 속도를 다중회귀분석법을 이용하여 제시하였다.

- 3) UAV 이용 시 승객이 경험할 수 있는 동특성 안정화를 통해 UAV에 대한 신뢰성을 확보할 수 있으며 과속방지턱 통과 시 발생할 수 있는 종방향 가속도, 수직방향에 대한 승차감을 확보하였다.
- 4) 과속방지턱의 형상에 따른 속도 제어를 통해 표준 과속방지턱 통과시 발생하는 수직방향 40 kph의 정속주행 통과 대비 약 70 %, 25 kph 주행 대비 약 55 % 개선된 효과가 나타났으며, 다양한 형태의 과속방지턱에 대해서도 목표 동특성을 만족하였다.
- 5) PBV의 도로 조건에 의해 발생할 수 있는 동특성 불안정을 차량의 용도에 따라 안정성을 확보할 수 있는 속도제어 로직을 통해 일반화된 차량에 승차감을 다양하게 확보하였다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 “엔택트서비스를 위한 공용 자율주행 셔틀 플랫폼 기술 개발사업”의 연구결과로 수행되었으며(20014984), 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 “지역지능화혁신인재양성사업”의 연구결과로 수행되었음(IITP-2023-RS-2022-00156287).

## References

- 1) Y. Du, C. Liu and Y. Li, “Velocity Control Strategies to Improve Automated Vehicle Driving Comfort,” IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, Vol.10, No.1, pp.8-18, 2018.
- 2) D. Paddeu, G. Parkhurst and I. Shergold, “Passenger Comfort and Trust on First-time Use of a Shared Autonomous Shuttle Vehicle”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.115, Paper No.102604, 2020.
- 3) M. J. Griffin, “Vertical Vibration of Seated Subjects: Effects of Posture, Vibration Level, and Frequency,” Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol.46, No.3, pp.269-276, 1975.
- 4) J. Choi, B. Kim, Y. Kim, H. Kim, Y. Noh, D. Lim, I. Jung and S. Jung, “A Development of Electronically Controlled Suspension with Road Preview Based on Driver Tendency,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.285-289, 2022.
- 5) M. Li, G. Tan, H. Wang, Y. Jiang, Z. Wang, K. Chen and H. Zhang, “Research on the Best Driving Speed of the Deceleration Bump,” SAE 2020-01-1088, 2020.
- 6) V. Goga and M. Klůčik, “Optimization of Vehicle Suspension Parameters with use of Evolutionary Computation,” Procedia Engineering, Vol.48, pp.174-179, 2012.
- 7) International Organization for Standardization, ISO2631-1: Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration: part 1: General Requirements, Geneva, 1997.
- 8) M. J. Griffin and E. M. Whitham, “Discomfort Produced by Impulsive Whole-body Vibration,” The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.68, No.5, pp.1277-1284, 1980.
- 9) H. S. Cho, H. S. Kim and B. R. Lee, “Study on Vehicle Deceleration Control in School Zones by Taking Driver’s Comfort into Account,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers – A, Vol.34, No.10, pp.1359-1366, 2010.
- 10) L. L. Hoberock, “A Survey of Longitudinal Acceleration Comfort Studies in Ground Transportation Vehicles,” Council for Advanced Transportation Studies, 1976.
- 11) M. Kim and C. Lee, “Velocity Control to Ensure Ride Comfort of Unmanned Autonomous Vehicle Passing through Speed Bumps,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.601-605, 2023.