

차량무게중심의 측정 및 추정에 관한 연구

이 명 수*¹⁾ · 김 상 섭²⁾

국민대학교 자동차공학전문대학원¹⁾ · 국민대학교 기계자동차공학부²⁾

A Experimental Study on the Measurement and Estimation of Vehicle Center of Gravity

Myungsu Lee*¹⁾ · Sang-sup Kim²⁾

¹⁾Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

²⁾School of Mechanical & Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received 10 December 2009 / Accepted 6 March 2010)

Abstract : The center of gravity on vehicle is a fundamentally important point for assessing and measuring the characteristics of vehicle dynamics. Especially, the center of gravity height on vehicles is the closest factor with respect to rollover accidents in a social issue nowadays. In this paper, the center of gravity height in conjunction with vehicle parameters of vehicle weight, driving axle and roof height after measured by vehicle weight and loading location by means of VCGM developed by KATRI with good performance that the accuracy was less than 0.6% and repeatability 0.3% for vehicles being used in the whole world was observed. As a result of study, the location of center of gravity height on vehicle was able to be estimated with only roof height on vehicle.

Key words : Center of gravity of vehicle(차량무게중심), VCGM(차량무게중심측정시스템), SSF(정적안정성인자), Roof loading(지붕적재), KNCAP(신차안전도평가), NHTSA(미연방도로교통안전청)

1. 서론

차량의 무게중심은 차량의 동특성을 해석 및 측정하는 중요한 기준위치이며, 특히 무게중심높이는 SUV, VAN 등의 판매 증가에 따라 최근 사회적 이슈가 되었던 차량전복사고의 발생증가와 가장 밀접한 관계가 있는 차량인자이다. 또한 국내외적으로 세계기술기준(GTR 8)의 ESC 핸들링성능에 대한 기준이 시행되고,¹⁾ 이 기준에서 요레이트, 횡방향이동변위량을 차량무게중심에서 측정하도록 규정하고 있으며, 국제표준화기구(ISO)의 기존 무게중심 측정방법의 개정작업 등으로 차량의 무게중심에 대한 관심이 더욱 증대되고 있다.

Fig. 1은 국내의 교통사고건수중 차량단독사고 및 전복사고의 발생율을 나타내었다. 차량무게중심 높이와 직접적인 관련이 있는 차량전복사고건수는 1998년부터 2007년까지 발생한 차량단독사고

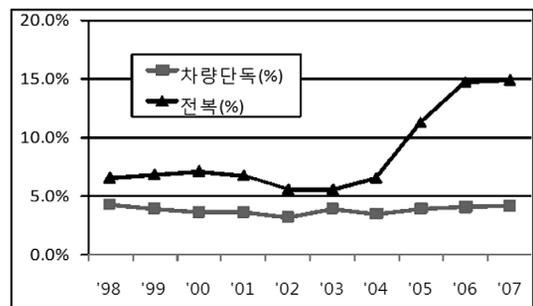


Fig. 1 The incidence of single vehicle crash&rollover crash in Korea

*Corresponding author, E-mail: poohaha@ts2020.kr

92,095건중 7,862건으로 8.5%를 차지하나 사망자수는 총 1,489명으로 100건당 18.9명(2004년 35.3명)으로 날로 증가하고 있는 추세이다.²⁾

본 연구에서는 국내외에서 운행되고 있는 차량을 대상으로 무게중심높이를 중량 및 중량적재위치별로 측정하여 중량, 구동륜수, 지붕높이 등의 차량인자와 연계하여 살펴보기로 한다.

차량무게중심은 현재 국내에서 신차안전도평가(KNCAP)를 수행하고 있는 자동차성능연구소(KATRI)에서 개발한 차량무게중심측정시스템(이하 VCGM 이라 한다)을 이용하여 측정하였다.

2. 차량무게중심측정이론 및 시스템구성³⁾

2.1 차량무게중심측정이론

KNCAP의 전복안전성평가시험의 정적안정성인자(SSF=T/2H)를 평가하기 위해 Fig. 2와 같이 차량윤거(T) 및 무게중심높이(H)를 측정해야 하고 차량무게중심높이를 측정하기에 앞서 차량무게중심의 횡방향위치(Fig. 2에서 x) 및 종방향위치(Fig. 3에서 y)를 알아야 하며, 윤거 및 축거는 미터법(metric)으로 측정한다.

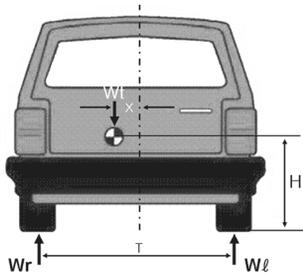


Fig. 2 Vehicle track width(T) and center of gravity height(H)

먼저, 차량무게중심의 횡방향위치는 Fig. 2에서 좌측륜에 대해서 모멘트 평형을 취하면 다음과 같이 계산된다.

$$x = \frac{(W_r - W_l) \times T}{2W_T} \quad (1)$$

여기서, W_r 는 차량우측륜중량, W_l 는 차량좌측륜중량, T는 차량윤거, W_T 는 차량중량을 말한다.

차량무게중심의 종방향위치는 Fig. 3에서 전륜

에 대해서 모멘트평형을 취하면 다음과 같이 계산된다.

$$y = \frac{W_r \times L}{W_T} \quad (2)$$

여기서, W_R 는 차량 후륜중량, L는 차량축거, W_T 는 차량중량을 말한다.

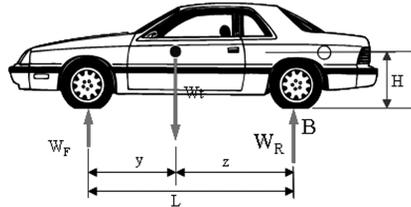


Fig. 3 Vehicle center of gravity location

차량의 무게중심높이를 측정하기 위해서는 차량을 펜듈럼(pendulum)과 같이 흔들 수 있는 Fig. 4와 같은 장치를 사용한다.

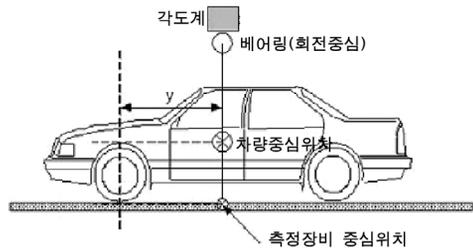


Fig. 4 Schematic of VCGM System

차량의 무게중심높이를 측정하기에 앞서 차량을 탑재하지 않은 상태에서 답판 자체의 무게중심높이를 구해야 한다. Fig. 5와 같이 답판 끝단에 적당한 중량(W_a)를 가하여 답판을 기울인 후 회전중심에 대한 모멘트 평형을 취하여 장치의 무게중심(H_{pp})를 구한다.

$$W_a(l \cos \theta_p - H_{ph} \sin \theta_p) = W_p \cdot H_{pp} \sin \theta_p \quad (3)$$

식 (3)을 회전중심(펜듈럼 베어링중심위치)에서 펜드럼 무게중심까지의 거리(H_{pp})에 대하여 식 (3)을 정리하면 아래 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$H_{pp} = \frac{W_a(l \cos \theta_p - H_{ph} \sin \theta_p)}{W_p \sin \theta_p} \quad (4)$$

차량의 무게중심높이를 측정하기 위해서 앞서 측정한 차량무게중심의 종방향위치(y)가 베어링(회전중심점)과 수직선에 일치하도록 차량을 고정시킨다. 차량을 장치에 적재하고 Fig. 5와 같이 답판 끝단에 적당한 무게(W_a , 30kg 및 60kg)를 가하여 답판을 기울이고 회전중심점에 대해서 모멘트평형을 취한다.

$$W_a \times (l \cos \theta_p - H_{ph} \sin \theta_p) = W_t \times (H_{vp} \sin \theta_p - x_{cg} \cos \theta_p) + W_p \times H_{pp} \sin \theta_p \quad (5)$$

식 (5)를 H_{vp} 에 대하여 정리하면 식 (6)과 같다.

$$H_{vp} = \frac{W_a(l \cos \theta_p - H_{ph} \sin \theta_p)}{W_t \sin \theta_p} + \frac{x_{cg}}{\tan \theta_p} - \frac{W_p \cdot H_{pp}}{W_t} \quad (6)$$

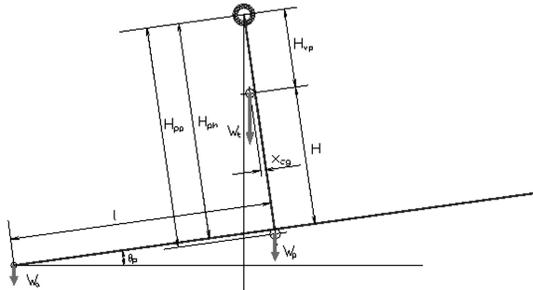


Fig. 5 Schematic for vehicle center of gravity height measurement

Fig. 5에 도시된 바와 같이 H 는 $H_{ph} - H_{vp}$ 이므로

$$H = H_{ph} - \left[\frac{W_a(l \cos \theta_p - H_{ph} \sin \theta_p)}{W_t \sin \theta_p} + \frac{x_{cg}}{\tan \theta_p} - \frac{W_p H_{pp}}{W_t} \right] \quad (7)$$

여기서,

H = 차량의 무게중심높이(mm)

H_{ph} = 회전중심점에서 답판바닥까지의 거리(mm)

H_{pp} = 회전중심에서 펜들럼 무게중심까지의 거리(mm)

l = 회전중심에서 추가중량 작용점까지의 수평 거리(mm)

x_{cg} = 측정시 발생하는 답판에 대한 차량의 길이 방향 이동변위(mm)

θ_p = 답판의 기울기각도($^\circ$)

W_p = 답판 및 펜들럼의 중량(kg)

W_t = 차량중량(kg), W_a = 추가중량(kg)

2.2 차량무게중심측정시스템 구성

차량무게중심측정(VCGM)시스템은 단일장비를 이용하여 차량의 무게중심을 측정할 수 있도록 설계하였으며, 차량의 중량을 측정하는 중량계 답판(vehicle weight station), 무게중심높이를 실제 측정하는 펜들럼 및 행거답판(pendulum and platform), 행거 및 답판을 들어 올리는 답판리프트(platform lift), 답판의 기울기각도를 측정하는 전자식각도계(inclinometer), 기울림으로 발생하는 차량의 이동변위량을 측정하는 변위계(vehicle motion transducer), 차량의 움직임을 구속시키는 차량고정장치(vehicle restraint device) 및 측정시스템의 검증을 위한 교정웨이트(calibration fixture)로 구성하였으며, 각 제원은 Table 1과 같다.



Photo. 1 VCGM system

Table 1 VCGM configuration and Spec.

Classification	Contents
Vehicle weight station	<ul style="list-style-type: none"> Permissible Load : 2,000kg Accuracy $\geq 0.1\%$, 4EA
Pendulum and platform	<ul style="list-style-type: none"> L6,000mm×W2,400mm×H20mm Material : AL 6061-T6 Weight : 1706.4kg
Platform lift	<ul style="list-style-type: none"> Screw type power cylinder Lifting Weight : 5,000kg Stroke : 500mm
Inclinometer	<ul style="list-style-type: none"> Working range : $\pm 45^\circ$ Accuracy $\geq 0.02^\circ$
Vehicle motion transducer	<ul style="list-style-type: none"> Working range : 50mm Resolution : 0.008mm
Vehicle restraint device	vehicle screw Jack, circular pad
Calibration fixture	<ul style="list-style-type: none"> L2,500×W1,800mm×H706mm Weight : 1,030kg

3. 측정시스템 측정범위 및 성능검증

3.1 무게중심높이 측정범위

미연방도로교통안전청(National Highway Traffic Safety Administration)에서는 1992년부터 IPMD(IPMD : Inertial Parameter Measurement Device), VIMF(VIMF : Vehicle Inertial Measurement Facility)등을 이용하여 약 500대의 차량관성파라메타를 측정한 데이터베이스를 분석한 결과 Fig. 6과 같이 484.8mm~903mm까지 차량무게중심고가 고루 분포되고 있었다.⁴⁾ 차량무게중심높이가 “회전중심점에서 답판바닥까지의 거리”보다 낮아야만 시스템이 안정적이므로 회전중심점에서 답판바닥까지의 거리(무게중심높이 측정가능범위)를 850mm로 설정하였다.

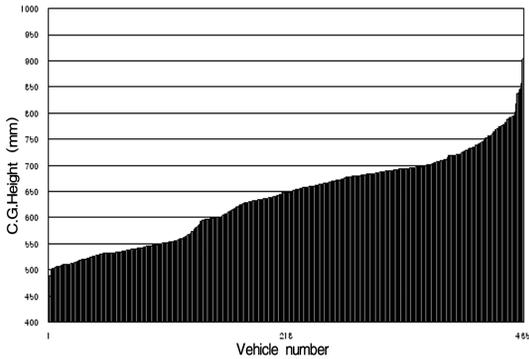


Fig. 6 Distribution of vehicle C. G. H measured by NHTSA

3.2 측정시스템 성능

VCGM을 교정하기 위해 제작된 교정웨이트(calibration fixture)의 무게중심높이를 산출하기 위해 교정웨이트의 한쪽 중앙을 로프를 이용하여 크레인(crane)에 교정웨이트를 매단 후 교정웨이트의 로프 지지점에서 무게추를 내려 표시한 다음 반대쪽 중앙을 매달아 표시한 후 두 연직선이 만나는 지점을 표시하여 평편한 지면에서 두 연직선이 만나는 지점을 교정웨이트의 무게중심높이로 산출하였다. 산출된 이 높이를 교정웨이트 무게중심 기준높이로 설정하였으며, 제작한 시스템의 성능을 확인하기 위해 이를 이용하였다.

제작된 교정웨이트의 실제측정 및 이론적 계산에 의해 산출된 무게중심높이는 Table 2와 같다.



Photo. 2 C.G.H measurement for calibration fixture by gravity method

Table 2 C.G.H on calibration fixture

Property	Theoretical (mm)	Measured by gravity method (mm)
Center of gravity height	617.22	611.5

VCGM시스템의 정확도(Accuracy) 및 반복도(repeatability)를 검증하기 위해 VCGM을 이용하여 교정웨이트를 전·후 각 2회씩 총3회 반복 측정된 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 C.G.H on the calibration fixture measured by VCGM

Measurement no.	Run no.	Applied weight (kg, Wa)	Platform angle(°)	Vehicle motion (mm)	C.G.H (mm)
1	1	30.0	3.00	1.556	614.12
	2	60.0	5.91	3.435	616.74
	3	30.0	-3.00	-1.622	613.05
	4	60.0	-5.90	-3.532	612.90
C.G.H					614.20
2	1	30.0	3.00	1.601	613.26
	2	60.0	5.90	3.288	615.26
	3	30.0	-3.01	-1.596	618.95
	4	60.0	-5.90	-3.283	615.31
C.G.H					615.70
3	1	30.0	3.00	1.486	615.47
	2	60.0	5.90	3.222	615.90
	3	30.0	-3.01	-1.701	616.95
	4	60.0	-5.90	-3.429	613.90
C.G.H					615.56
Average C.G.H					615.15

측정된 교정웨이트의 무게중심높이와 중력법으로 측정된 무게중심높이를 비교한 결과 VCGM은 정확도 0.6%이내, 반복도 0.2%이내임을 Table 4에서 확인하였으며, Table 2의 이론적으로 계산된 무게중심높이와는 정확도 0.4% 이내로 더욱 유사한 값을 나타내었다.

유사기능을 갖는 해외시험장비와 비교한 바 측정 가능중량이 3.5톤이하인데 비해 개발된 시험용량 5톤이하로 차량측정가능범위를 증가시켰으며, 정확도를 0.6% 이내로 확보하였고, 또한 반복도(repeat-ability)에서도 유사기능을 갖는 해외장비가 0.5%미만인데 비해 0.3%이내의 반복도를 갖는 우수한 시스템을 개발 및 이용하여 무게중심높이를 측정하였다.^{5,6)}

Table 4 Performance of VCGM system

Meas. method	Result of C.G.H(mm)			Performance(%)		
	Measurement value	Average	Deviation	Accuracy	Repeatability	
Gravity	Left	614	3.7	0.6	0.2	
	Right	609				
VCGM	1 Run	614.20	615.2			
	2 Run	615.70				
	3 Run	615.56				

3.3 측정시스템 검증

미국은 전복사고의 위험성을 인식하고 2001년부터 정적안전성인자(SSF)를 측정하여 전복가능성을 평가하여 소비자들에게 발표하여 왔다. 최근 미국 신차평가제도(NCAP : New Car Assessment Program)의 주관기관인 NHTSA에서 평가 및 발표된 2005년식 평가차량과 동일한 차종을 확보하여 발표된 차



Photo. 3 Measurement of C.G.H in VCGM system

Table 5 Specification of test vehicle released by NHTSA

Vehicle (M.Y)	Weight (kg)	Track width (mm)	Roof weight (mm)	Wheel-base (mm)	Drive	C.G.H (mm)
Toyota highlander (2005)	1,915	1,565	1,735	2,715	4WD	639.57

Table 6 C.G.H on the test vehicle released by NHTSA

Run no.	Applied weight(kg)	Platform angle(°)	Vehicle motion(mm)	C.G.H (mm)
1	30.0	2.79	1.762	641.48
2	60.0	5.52	4.093	641.57
3	30.0	-2.77	-1.569	638.33
4	60.0	-5.56	-5.029	639.22
Average C.G.H				640.15

량무게중심높이와 VCGM시스템을 이용하여 측정 한 차량무게중심높이를 비교하여 보았다.

차량무게중심높이를 비교하기 위해 측정한 시험 차량의 제원은 Table 5와 같다.⁷⁾

NHTSA에서 발표된 차량과 연식, 구동방식, 옵션 등이 모두 일치한 차량을 차량무게중심측정시스템으로 측정한 무게중심높이는 Table 6과 같으며, 차량무게중심높이의 차가 1mm이하로 두 값이 거의 유사하였다.

4. 측정결과 및 고찰

4.1 차량인자별 분석

본 연구에서는 1999년식부터 2009년식 까지 SUV 12대, VAN 5대, SEDAN 11대, TRUCK 3대 등 총 31대를 VCGM을 이용하여 정확한 차량무게중심높이, 윤거, 차체높이 등을 측정하여 국내 신차안전도평가(KNCAP)에서 전복안전성평가기준으로 사용되고 있는 정적안전성인자(SSF)를 산출하였다. Table 7의 시험차량은 현재 국내에서 시행되고 있는 자동차안전도평가(KNCAP) 전복안전성평가시험에서 측정된 2005년부터 2008년까지의 평가차량의 데이터를 포함하고 있다. 아래의 시험차량의 측정조건은 다음과 같으며, 이는 국내외에서 시행되고 있는 신차안전도평가와 동일하다.⁸⁾

- 제작사 추천 타이어공기압상태
- 중량조건 : 공차상태+인체모형 50%타일(≒74kg)

Table 7 Test vehicle

Maker	Vehicle type	Vehicle model	REMARK
KIA	SUV	SPORTAGE	
HYUNDAI	SUV	TUCSON	KNCAP
SSANGYONG	SUV	KORANDO	
HYUNDAI	SUV	TERRACAN	
SSANGYONG	SUV	KYRON	KNCAP
HYUNDAI	SUV	SNATAFE 2WD	KNCAP
HYUNDAI	SUV	SANTAFE 4WD	
TOYOTA	SUV	HIGHLANDER	
HONDA	SUV	PILOT	
KIA	SUV	SORENTO	
OPEL	SUV	CAPITIVA	
VW	SUV	TOUREG	
GMDAEWOO	SUV	WINDSTOM	
KIA	VAN	CARENS	
KIA	VAN	NEW CARENS	
HYUNDAI	VAN	STAREX	KNCAP
SSANGYONG	VAN	RODIUS	KNCAP
KIA	VAN	GRAND CANIVAL	KNCAP
GMDAEWOO	SEDAN	MATIZ	
HYUNDAI	SEDAN	CLICK	
RENAULT-SAMSUNG	SEDAN	SM5	KNCAP
HYUNDAI	SEDAN	EQUUS	
GMDAEWOO	SEDAN	GENTRA	
GMDAEWOO	SEDAN	TOSCA	
KIA	SEDAN	PRIDE	
HYUNDAI	SEDAN	GRANDEUR TG	
HYUNDAI	SEDAN	VERNA	
KIA	SEDAN	LOTZE	
TOYOTA	SEDAN	CAMRY	
GMDAEWOO	TRUCK	LABO	
HYUNDAI	TRUCK	LIBERO	
SSANGYONG	TRUCK	MUSSO PICKUP	
HYUNDAI	TRUCK	PORTER II	KNCAP
KIA	TRUCK	BONGOIII	KNCAP
HYUNDAI	VAN	GRAND STAREX	KNCAP
KIA	SUV	MOHABI	KNCAP
SSANGYONG	SUV	ACTYON	KNCAP
HONDA	SUV	CR-V	KNCAP
RENAULT-SAMSUNG	SUV	QM5	KNCAP

위 Table 7의 시험차량은 공차상태에 운전자(인체모형 50%타일)만이 탑승한 상태에서 측정하였으며, 중량이 약 800kg~2500kg 범위의 차량으로 시험하였다.

Fig. 7은 차량중량별 SSF를 도시하였다. 차종별로 보면 세단형 차량이 SSF가 가장 높고 그다음으로 VAN, SUV, TRUCK 순으로 나타났으나 일부 TRUCK 및 VAN은 SUV의 SSF값과 유사하였으며, SSF값이 높을 수록 전복가능성이 낮다고 할 수 있다.

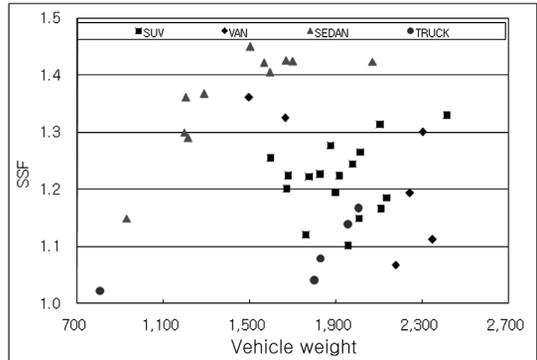


Fig. 7 SSF vs. vehicle weight

Fig. 8은 차량중량별 차량무게중심높이를 도시하였다. 전반적으로 차량중량이 높을수록 무게중심높이 또한 높게 나타났다. Fig. 7에서 세단형 차량이 SSF가 전체적으로 높게 나타났던 것은 차량제원(차량윤거)이 한정이 되므로 차량무게중심높이가 가장 낮게 분포되어 있음에서 알 수 있다.

Fig. 9는 차량중량별로 차량무게중심높이를 차량

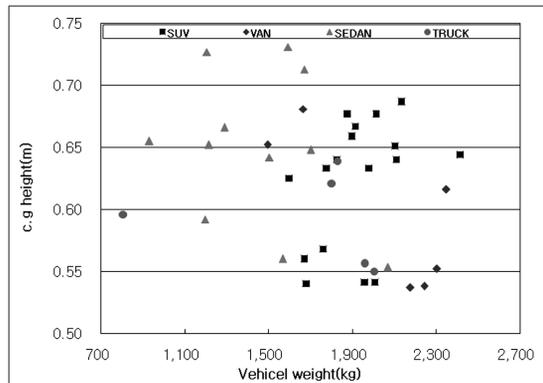


Fig. 8 c.g. height vs. vehicle weight

지붕높이로 나눈 값을 도시하였다. 일부차량을 을 제외하고는 모든 차종이 비슷한 비율을 갖는다. x방향무게중심은 윤거의 1/2에서 -3%지점(-:중심으로 부터 좌측)에 위치하며, y방향무게중심은 축거의 43%지점(전축기준으로 후방거리)에 위치하며, 차량무게중심높이/차량지붕높이의 비를 살펴보면 SUV 0.36~0.41, VAN 0.35~0.38, SEDAN 0.36~0.38, TRUCK 0.34~0.38로 분포하고 있으며, 평균적으로 지면으로부터 차량지붕높이(hrf)의 약 37% 높이에 차량무게중심높이(hcg)가 위치하는 경향을 보여 차량지붕높이만을 측정하여 차량무게중심높이를 예측할 수 있다.

x-direction : $X_{cg} = 0.43 \times W_{base}$

y-direction : $Y_{cg} = -0.03 \times T_{center}$

z direction : $Z_{cg} = 0.37 \times H_{roof}$

여기서, W_{base} = 축거(Wheelbase)

T_{center} = 윤거(Track width)/2

H_{roof} = 차량지붕높이(Roof height)

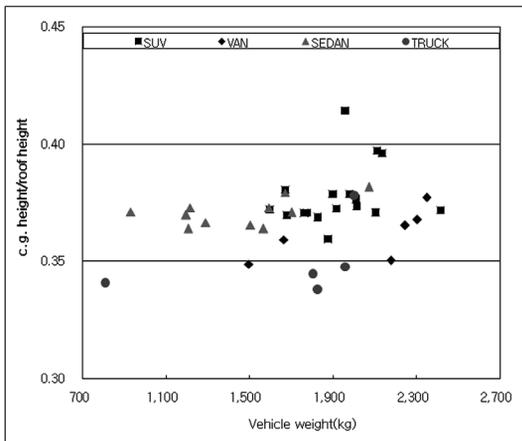


Fig. 9 C.G. height/roof height vs. vehicle weight

4.2 중량 변화 및 위치에 따른 무게중심높이 변화

본 절에서는 Table 8의 차량 및 중량조건으로 중량변화에 따른 무게중심높이를 측정하였다.

중량조건 1은 공차상태, 중량조건 2는 공차상태에 인체모형을 운전석을 적재하였고, 중량조건 3은

Table 8 Tested vehicle used in c.g measurement

Maker	Vehicle type	Vehicle model	remark*/
HYUNDAI	SUV	TUCSON	1,2,3
HONDA	SUV	PILOT	1,2,3
KIA	SUV	SORENTO	1,2,3
VW	SUV	TOUREG	1,2,3
HYUNDAI	SUV	SANTA FE	1,2,3, 4WD, 2.2DSL
KIA	VAN	NEW CARENS	1,2,3
TOYOTA	SEDAN	CAMRY	1,2,3
OPEL	SUV	ANTARA	1,3,4, 4WD, 2.0DSL
OPEL	SUV	ANTARA	1,3,4, 4WD, 3.2DOHC
OPEL	SUV	ANTARA	1,3,4, 4WD, 2.4DOHC
OPEL	SUV	CAPTIVA	1,3,4, 2WD, 2.0DSL
OPEL	SUV	CAPTIVA	1,3,4, 4WD, 2.0DSL
OPEL	SUV	CAPTIVA	1,2,4, 2WD, 2.4DOHC
OPEL	SUV	CAPTIVA	1,3,4, 4WD, 3.2DOHC

*/ 1-CVW, 2- 1condition +Hybrid 50% tile, 3- 2condition+water dummy(73kg) 4 units, 4- 3condition+roof rack(≒100kg)

중량조건2에 약 73kg의 워터더미(Water dummy) 2개를 후열좌석에 적재하였다. 특히, 중량조건 4는 일부 레저용 차량 등에는 루프랙을 설치하여 스키, 보드, 자전거 등을 운반할 수 있도록 한 차량을 모사하기 위해 모래주머니(루프랙을 포함하여 100kg)을 적재하였다.

중량이 무거울수록 차량무게중심높이가 대부분 상승하였으며, 그로 인해 중량조건 2 및 3을 비교하면 SSF값이 0.01~0.07까지 낮아졌으나 세단형 차량은 변화가 거의 없었다. 또한, 구동차축수에 따라 무게중심높이의 변화가 있었는데 구동차축수가 많을수록 무게중심높이가 낮아지는 경향을 보였다. 동일차종의 유사 배기량의 디젤엔진(2.0리터)차량과 가솔린엔진(2.4리터)장착 차량의 무게중심높이를 비교하면 디젤엔진차량의 중량이 무거운데 반해 무게중심높이가 낮은 것을 확인할 수 있었다.

중량분포위치에 따른 무게중심높이 변화를 도시한 Fig. 10을 살펴보면 공차상태에서 객실내에 중량을 배치하여 적차상태로 만든 적재중량 대비 무게중심높이 증가율은 0.07mm/kg인데 반해 적차상태에서 루프랙에 중량을 증가시킨 적재중량 대비 무게중심높이 증가율은 0.30mm/kg으로 약 4.3배의 무게중심높이 증가율을 보인다. 이는 차량루프에 화물적재로 인한 전복사고의 위험성이 급격히 높아짐



Photo. 4 Roof loading

- 2) 일반적으로 중량이 무거울수록 차량의 무게중심높이가 상승되고, 동일차종의 2륜구동 차량에 비해 4륜 구동차량의 무게중심높이가 낮음을 확인하였으며, 또한, 동일차종의 디젤엔진 장착차량이 가솔린엔진 장착차량에 비해 무게중심높이가 낮은 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 차량루프의 화물적재는 객실내의 적재보다 약 4배 이상의 무게중심높이를 증가시켜 전복사고 위험성이 급격히 상승됨을 알 수 있었다.

References

- 1) ECE/TRANS/180/Add.8, gtr No. 8 - Electronic Stability Control Systems, UNECE, 2007.
- 2) Korean National Police Agency, Traffic Accident Statistics, 2008.
- 3) M. S. Lee, S. W. Namkung, H. B. Kwon, S. S. Kim and T. O. Tak, "A Study on the Development of Vehicle Center of Gravity Measurement System," Spring Conference Proceedings, Vol.II, KSAE, pp.800-806, 2006.
- 4) G. J. Heydinger, R. A. Bixel, W. R. Garrot, M. Pyne, J. G. Howe and D. A. Guenter "Measured Vehicle Inertial Parameters-NHTSA's Data through November 1998," SAE 199-01-1336, 1999.
- 5) G. J. Heydinger, N. J. Durisek, D. A. Coovert, Sr., D. A. Guenther and S. J. Novak, "The Design of a Vehicle Inertia Measurement Facility," SAE 950309, 1995.
- 6) R. A. Bixel, G. J. Heydinger, N. J. Durisek, D. A. Guenther and S. J. Novak, "Development in Vehicle Center of Gravity and Inertial Parameter Estimation and Measurement," SAE 950356, 1995.
- 7) <http://www.nhtsa.dot.gov>
- 8) MOCT, Regulations on the Vehicle Safety Assesment Summary, Attachment 5 "rollover Test Procedure and Assesment Method," MOCT Notice 2004-359, 2004.

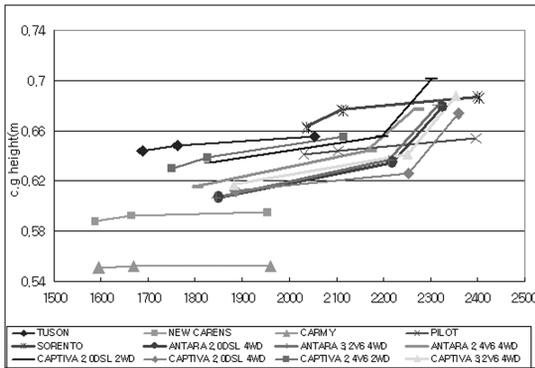


Fig. 10 C.G.H change by weight and weight position

을 실제 측정된 무게중심높이의 증가율에서 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 정확도(Accuracy) 0.6% 이내, 반복도(repeatability) 0.3% 이내인 우수한 시스템인 차량무게중심측정(VCGM)시스템을 이용하여 측정된 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 차량의 무게중심높이를 전용장비 보유 및 측정 소요시간 과다 등의 문제로 쉽게 알 수 없으나, 이번 연구를 통하여 대부분의 차량이 지면으로부터 차량지붕높이의 약 37% 높이에 위치하고 있음을 알 수 있었다.

APPENDIX

The Spec. and Measured Values of Test Vehicle

Test vehicle	Weight (kg)	Wheelbase (mm)	Track width (mm)	Roof height (mm)	Center gravity			SSF
					x-dir (mm)	y-dir (mm)	z-dir (mm)	
LABO	807	1,831	1,219	1,749	719	-48	596	1.02
MATIZ	930	2,342	1,287	1,509	876	-26	560	1.15
CLICK	1,215	2,455	1,445	1,502	899	-18	560	1.29
CARENS	1,495	2,551	1,473	1,551	1,109	-26	541	1.36
NEW CARENS	1,664	2,704	1,569	1,648	1,144	-26	592	1.33
SM5	1,566	2,778	1,536	1,484	1,089	-27	540	1.42
SPORTAGE	1,671	2,633	1,542	1,688	1,010	-20	642	1.20
TUCSON	1,679	2,630	1,550	1,713	1,020	-19	633	1.22
KORANDO	1,761	2,480	1,517	1,827	1,153	-16	677	1.12
LIBERO	1,958	3,288	1,491	1,883	1,387	-34	655	1.14
MUSSO PICKUP	2,003	2,761	1,521	1,726	1,260	-19	652	1.17
TERRACAN	2,008	2,750	1,533	1,772	1,408	-33	667	1.15
EQUUS	2,070	2,844	1,618	1,488	1,127	-27	568	1.42
STAREX	2,176	1,950	1,561	2,086	1,383	-35	731	1.07
RODIUS	2,243	2,993	1,590	1,823	1,397	-30	666	1.19
GRAND CANIVAL	2,302	3,023	1,686	1,762	1,271	-37	648	1.30
KYRON	1,957	2,746	1,571	1,722	1,276	-38	713	1.10
GENTRA	1,196	2,484	1,446	1,503	997	-31	556	1.30
TOSCA	1,593	2,693	1,546	1,475	1,099	-28	550	1.41
PRIDE	1,288	2,500	1,480	1,476	891	-29	541	1.37
GRANDEUR TG	1,700	2,676	1,576	1,491	1,066	-33	553	1.42
VERNA	1,204	2,500	1,462	1,475	928	-36	537	1.36
LOTZE	1,502	2,727	1,561	1,472	1,077	-23	538	1.45
SNATAFE 2WD	1,978	2,705	1,620	1,719	1,128	-25	651	1.24
SANTAFE 4WD	2,013	2,699	1,619	1,714	1,083	-30	640	1.26
HIGHLANDER	1,915	2,716	1,567	1,719	1,312	-24	640	1.22
CAMRY	1,669	2,767	1,574	1,455	1,088	-24	552	1.43
PILOT	2,104	2,698	1,692	1,737	1,214	-31	644	1.31
SORENTO	2,110	2,708	1,579	1,705	1,217	-20	677	1.17
CAPITIVA	1,826	2,702	1,568	1,733	1,176	-26	639	1.23
TOUREG	2,414	2,851	1,652	1,671	1,372	-14	621	1.33
WINDSTOM	1,875	2,700	1,573	1,714	1,127	-25	616	1.28
PORTER2	1,827	2,636	1,408	1,930	1,033	-27	652	1.08
BONGO3	1,801	2,616	1,417	1,977	956	-8	681	1.04
GRAND STAREX	2,347	3,205	1,617	1,928	1435	-32	727	1.11
MOHABI	2,135	2,901	1,628	1,735	1,314	-26	687	1.18
ACTYON	1,898	2,749	1,574	1,740	1,225	-34	659	1.19
CR-V	1,597	2,629	1,569	1,680	1,098	-28	625	1.26
QM5	1,775	2,694	1,547	1,708	1,031	20	633	1.22