

전자식 가속제어장치 안전기준에 대한 실험적 고찰

윤경철* · 용기중**

An Experimental Study on the Safety Standard of Electronic Throttle Control System

Kyungcheol Yun*, Geejoong Yong**

Key Words : *ETCS(Electronic Throttle Control System, 전자식가속제어장치), APS(Accelerator Position Sensor, 가속페달 위치센서), MAP(Manifold Absolute Pressure, 매니폴드절대압력), ISC(Idle Speed Control, 공회전 속도제어), ECU(Engine Control Unit, 엔진제어장치)*

ABSTRACT

Optimal engine control is needed to cope with the global environmental regulations that are globally enforced. For optimum engine control, the electronic throttle control system (ETCS) is a prerequisite. Automotive makers are having an effect on reducing emissions and improving fuel economy by applying ETCS which is designed to secure stability. The ETCS controls the output of the throttle valve by passing the output value of the accelerator position sensor (APS) to the engine control unit (ECU). In this study, the authors investigated the safety standards of domestic and overseas accelerator control system and tried to understand how the air flow control affects the engine output by replacing the throttle. The authors suggest an improvement proposal of safety standard based on the result of driving evaluation by various modes.

1. 서론

자동차에 대한 배기가스 규제가 점차 강화되는 세계적인 추세에 대응하기 위하여 가장 중요한 것이 엔진제어이며, 최적의 엔진제어를 하기 위해서는 전자식 가속제어장치(ETCS)는 필수 구성요소이다. 따라서 대부분의 자동차 제작사들은 보다 더 배기가스를 저감하고 연비향상을 도모하기 위하여 ETCS를 적용하고 있다. ETCS는 운전자가 가속페달을 밟거나 떼 때 즉, 팁인(Tip-in)과 팁아웃(Tip-out)을 할 때 엑셀위치센서(APS)의 전기적인 신호를 엔진제어장치(ECU)에 전달함으로써 스로틀 밸브를 제어하여 엔진출력이 나오는 구조로 되어

있으며 주행 안전성을 확보할 수 있도록 설계되어 있다. 그런데 ETCS를 포함한 가속제어장치의 오작동으로 인한 교통사고를 예방하기 위해 가속제어장치 안전성 평가가 필요하다. 국내에서는 「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」 제 87조⁽¹⁾에서 가속제어장치에 대한 기준을 규정하고 있다. 그러나 이 기준은 전자식 장치에 대한 안전기준 적합여부를 판단하는데 다소 모호할 수 있다.⁽²⁾ 따라서 본 연구에서는 국내의 가속제어장치 법규 동향을 파악하고 판단기준이 되는 스로틀을 대체하여 공기량 제어가 엔진 출력에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였으며, 전자식 가속제어장치의 안전기준 적용 타당성과 가속제어장치 복귀능력시험 결과를 바탕으로 안전기준 개선안을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

* 한국수입이륜차환경협회

** 경일대학교 기계자동차학부

E-mail : dragon@kiu.kr

2. 국내외 법규 및 동향

2.1. 국내의 기준

Table 1에서 가속제어장치 관련 국내 및 북미의 기준을 비교하였다. 우리나라⁽¹⁾와 미국⁽³⁾의 가속제어장치 시험절차 및 방법은 유사하지만 미국의 경우 자동차중량별로 복귀시간과 안정화 온도에 따른 복귀시간을 차등하게 규정하고 있다. 그리고 일본, 유럽 등 기타 국가에는 이에 대한 해당 법규가 없다.

Table 1 Safety Standards Comparison of acceleration control system

구분	기준명	주요 내용
국내	안전 기준 제87조 (가속 제어 장치)	승용자동차와 차량총중량 4.5톤 이하인 승합·화물·특수 자동차의 가속제어장치는 자동차를 -18℃~+52℃ 사이의 주변온도에서 12시간 안정화시킨 상태에서 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다. 1. 가속페달에서 작용력을 제거하거나 1개의 복귀동력원을 절단하여 작용력을 제거할 경우: 작용력을 제거한 시점부터 1초 이내에 가속위치에서 공회전위치로 복귀할 것 2. 제어계통이 전기식인 가속제어장치로서 제어계통의 어느 한 부분이 절단되었거나 단락될 경우: 작용력을 제거한 시점 또는 절단이나 단락 발생 시점으로부터 1초 이내에 가속위치에서 공회전 상태로 복귀할 것
미국	FMVSS No.124 (Accelerator control systems)	Except as provided below, maximum time to return to idle position shall be 1 second for vehicles of 4,536 kg or less GVWR, and 2 seconds for vehicles of more than 4,536 kg GVWR. Maximum time to return to idle position shall be 3 seconds for any vehicle that is exposed to ambient air at -18 degree C to -40 degrees C during the test or for any portion of the 12-hour conditioning period.

2.2. 가속제어장치

2.2.1. 기계식 스로틀 제어시스템

이 시스템은 가속페달과 스로틀 밸브가 와이어 케이블로 연결되어 있으며 운전자가 가속페달을 밟는 양과 스로틀 밸브의 개도량은 비례한다. 즉, 운전자의 가속의지에 따라 스로틀 밸브가 작동하므로 스로틀 밸브의 개도량이

엔진출력을 결정한다. 운전자가 Tip-out을 할 경우 스로틀 밸브는 완전히 닫히려 엔진이 불안정하게 되어 진동, 충격, 스톨 등이 발생할 수 있다. 이는 자동차 주행성 및 운전성에 악영향을 주며 자동차 상품성을 떨어뜨린다. 이러한 현상을 방지하고 각 제어부의 부하에 따른 공회전 속도를 제어하기 위하여 ISC가 적용된다. ISC는 스로틀 밸브와 독립적으로 작동하며 스로틀 밸브가 완전히 닫혔을 때 ISC 모터가 엔진이 공회전 상태를 유지하기 위해 필요로 하는 공기량을 제공한다.

2.2.2. 전자식 스로틀 제어시스템(ETCS)

이 시스템은 와이어 케이블을 대신하여 가속페달의 전 기계적인 신호를 ECU에 전달하여 스로틀 밸브를 제어한다. ETCS가 적용됨에 따라 ECU의 스로틀 밸브 제어가 가능하게 되어 운전상황에 따른 최적화된 주행이 가능하게 되었다. 특히 기존의 기계식에서 사용되었던 공회전 제어는 ISC 모터와 공기바이패스 통로를 없애고 스로틀 밸브로 제어한다. 운전자가 Tip-out을 하면 스로틀 밸브가 급격히 닫혀 흡입공기량이 줄어들어 엔진작동이 불안정해지고 HC, CO가 증가한다. 이러한 현상을 방지하기 위해 스로틀 밸브를 천천히 닫는 기능이 추가됨으로써, 운전자가 Tip-out 이후 공회전 상태를 유지하기 위하여 스로틀을 완전히 닫지 않고 천천히 닫아 배기가스 저감, 운전성 향상 등 효과를 얻고 있다.⁽⁵⁾

2.3. 흡기매니폴드 압력과 토크에 따른 엔진 출력 변화

가솔린기관은 공연비 제어를 하기 위하여 흡입된 공기량에 따라 연료분사량이 결정되고 엔진에서 토크가 발생된다. 엔진에서 발생하는 토크는 흡기매니폴드의 압력센서를 이용하여 구할 수 있다.

이상기체상태방정식을 이용해 흡기매니폴드의 압력과 실린더 내로 흡입되는 공기량의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PV = nRT = \frac{mRT}{M} \quad (1)$$

위 식에 의해 실린더 내로 흡입되는 공기량(m_{cyl})을 구하면 다음과 같다.

$$m_{cyl} = \frac{M \times P \times V_{cyl}}{R \times T} \quad (2)$$

식 (2)에서 공기의 몰수(M)와 실린더의 체적(V_{cyl})을 알고 있으며 흡입공기의 절대온도(T)와 기체상수(R)가 일정하다고 가정하면 흡기매니폴드압력(P)을 이용하여 실린더 내로 흡입되는 공기량(m_{cyl})을 구할 수 있다.

엔진에서 발생하는 토크(T_{ind})는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{ind} = \frac{m_{cyl}}{4 \times \pi \times M} \quad (3)$$

식 (3)에 식 (2)를 대입해서 토크(T_{ind})를 구하면 다음과 같다.

$$T_{ind} = \frac{P \times V_{cyl}}{4 \times \pi \times R \times T} \quad (4)$$

위 식 (4)에 의해 엔진에서 발생하는 토크(T_{ind})는 실린더의 체적(V_{cyl})을 알고 공기의 절대온도(T)와 이상기체상수(R)가 일정하다고 가정하면 흡기 매니폴드의 압력(P)을 이용하여 구할 수 있다.

즉, 토크는 흡기매니폴드 압력과 흡입공기량에 비례하므로 두 개의 인자는 엔진 출력에 직접적인 영향을 미친다.⁽⁶⁾ 특히 흡기매니폴드 압력으로 연료분사량이 결정되고 엔진 토크가 발생하여 엔진 출력이 결정된다. 따라서 흡기매니폴드 압력을 신속하고 정확하게 측정하는 것이 매우 중요하다.⁽⁷⁾

3. 가속제어장치 복귀능력 시험

3.1. 시험장치 및 설비

Fig. 1은 고저온환경챔버로써 온도를 조건에 따라 변화시키고 습도, 풍속 등을 조절하여 자동차의 주위 환경 조건을 변화시키는 장비이다. 주위의 환경변화에 따른 자동차 및 부품의 환경적응능력과 성능을 평가할 수 있다.



Fig. 1 Environment test chamber

Fig. 2는 자동차가 도로를 주행하는 것을 모사하기 위해 자동차에 대한 부하와 관성량을 전기적으로 시뮬레이션 하는 차대동력계 및 제어시스템이다. 시험자동차가 도로에서 해당하는 속도, 가속도, 감속도, 주행거리를 측정할 수 있는 장치이다.

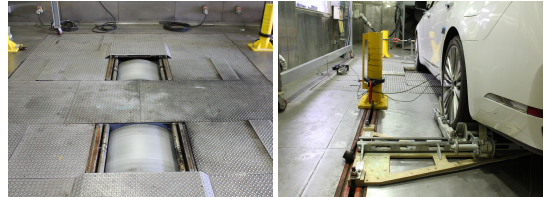


Fig. 2 Chassis dynamometer in test chamber

3.2. 시험대상 자동차

전자식 가속제어장치 복귀능력 평가시험을 위해 2016~2017년에 제작된 1,600cc(최고출력 : 166PS/5400rpm) 및 2,400cc(최고출력 : 190PS/6000rpm) 가솔린 자동차(A/T) 2대를 선정하였다.

3.3. 시험장치 구성 및 시험 준비

Fig. 3과 같이 캔통신장비를 이용하여 ECU와 통신을 통해 APS, TPS, 엔진회전수, 토크, MAP 등의 데이터를 모니터링 및 측정하였다. 페달 신호 및 스로틀 밸브 신호의 단절 및 분리 상태를 묘사하기 위해 핀보드를 설치하였으며, 신호별 단절 또는 단락을 하며 ETCS 관련 제어 신호 이상으로 안전 문제 발생여부 및 급격한 엔진출력 상승 여부 등을 확인하였다.

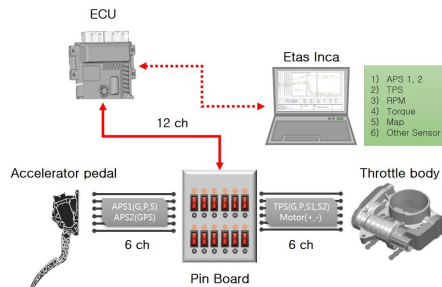


Fig. 3 Acceleration control system device test equipment

시험자동차를 점검하고, 자동차의 상태 및 가속제어장치 부품의 주변온도를 측정하기 위하여 냉각수, 엔진오

일, 스로틀 밸브 부근에 온도 센서를 설치하였고, 엔진회전수를 측정하기 위해 RPM 센서를 설치하였다.

3.4. 시험 방법

안전기준 제 87조 가속제어장치 및 이에 대한 시행세칙⁽⁸⁾에 의한 시험방법 및 절차를 준수하였다. 고저온환경 챔버에서 실제 주행조건 및 주행저항을 재현하기 위하여 시험자동차를 차대동력계에 설치하고 고온(52℃), 상온(25℃), 저온(-18℃)으로 온도의 변화를 주며 정상상태, 신호단절시험, 복귀스프링 1개 제거상태에서 각각 100%, 75%, 50%, 25%의 스로틀 밸브 개도량으로 시험하였다.

3.5. 시험결과 및 고찰

Fig. 4는 1,600cc 자동차를 대상으로 상온(25℃)에서 스로틀밸브 개도량이 각각 100%, 75%, 50%, 25%가 되도록 운전자가 가속페달을 밟은 상태를 유지하다가 가속페달에서 작용력을 순간적으로 제거하였을 때, 스로틀밸브 개도량에 따른 토크와 MAP의 결과를 비교한 그림이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 스로틀밸브 개도량에 따라 토크와 MAP에 의한 복귀시간은 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나 두 경우에 의한 복귀시간 차이가 나타나고 있는데, 토크가 먼저 공회전위치로 복귀하고 대부분 0.2초 이내에 MAP이 복귀하였다.

Fig. 5는 토크와 MAP을 판단기준으로 복귀시간을 분석한 결과이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 Tip-out 시 공회전위치로 복귀한 시간은 토크와 MAP의 두 경우 모두 1초 이내로 안전기준에 적합하였다. 그러나 총 6개의 결과가 토크와 MAP에 의한 복귀시간 차이인 Δt_x 가 0.2s를 초과하였다.

Table 2는 Fig. 5에서 복귀시간 차이를 범위별로 분석한 결과이다. 총 60개 시험조건 중 54개 조건에서 토크와 MAP에 의한 복귀시간 차이가 0.2초 이하였고, 6개의 시험조건에서는 0.2초를 초과하였는데, 이 이유는 최고출력이 발생하는 5,400rpm보다 높은 6,000rpm 부근에서는 연료차단(fuel cut)을 포함한 기타 엔진제어로 인해 복귀시간의 차이가 발생한 것으로 판단된다.⁽⁹⁾

Table 3, 4, 5는 2,400cc 자동차를 대상으로 1,600cc 자동차와 동일한 방법과 절차로 스로틀밸브 개도량과 주위온도(52℃, 25℃, -18℃) 변화에 따른 토크와 MAP이 공회전위치로 복귀하는 시간을 측정한 결과를 표로 나타낸 것이다. 이 표들에서 알 수 있는 바와 같이 1,600cc 자

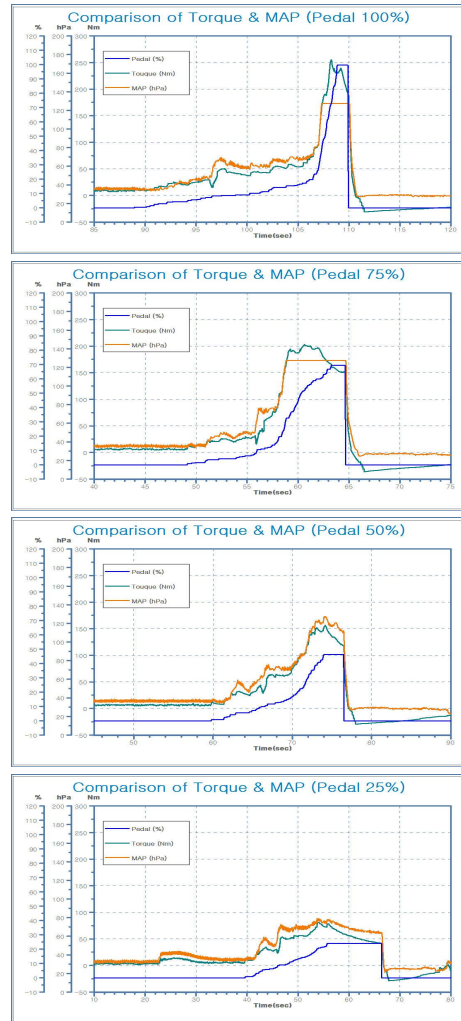
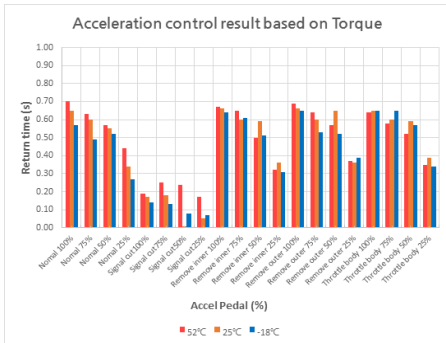


Fig. 4 Comparison of Torque & MAP

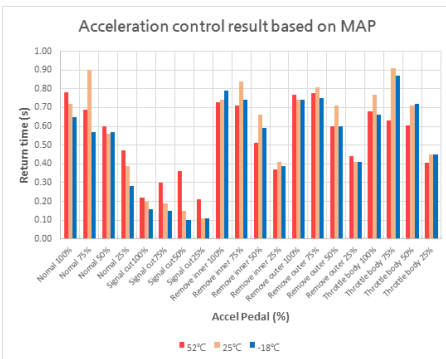
Table 2 Difference in torque & MAP return time

복귀시간 차이	시험조건 수	비율(%)
$\Delta t_x \leq 0.1s$	46	76.7
$0.1s < \Delta t_x \leq 0.2s$	8	13.3
$0.2s < \Delta t_x$	6	10.0
계	60	100

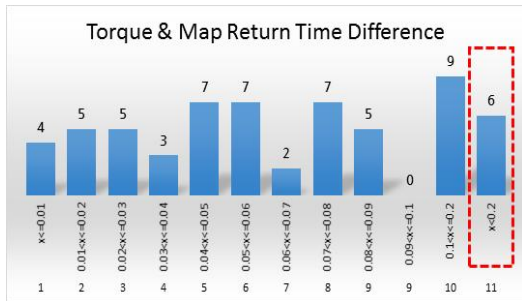
동차의 결과와 마찬가지로 스로틀밸브 개도량에 따라 토크와 MAP에 의한 복귀시간의 감소 경향은 유사하게 나타나고 있으며, Tip-out 시 공회전위치로 복귀한 시간은 모두 1초 이내로 안전기준에 적합하였다.



(a) Acceleration control result based on Torque



(b) Acceleration control result based on MAP



(c) Torque & MAP return time difference

Fig. 5 Results based on Torque & MAP standard

그러나 토크와 MAP의 복귀시간 차이가 나타나고 있으며, 토크가 먼저 공회전위치로 복귀하고 대부분 0.2초 이내에 MAP이 복귀하였다.

Table 6은 Table 3, 4, 5에서 복귀시간 차이를 범위별로 분석한 결과이다. 총 48개 시험조건 중 47개 조건에서 토크와 MAP에 의한 복귀시간 차이가 0.2초 이하였고, 1개의 시험조건에서는 0.2초를 초과하였는데, 이 이유는 최고출력이 발생하는 6,000rpm보다 높은 6,200rpm 부

Table 3 Maximum time to return to idle of 2,400cc vehicle at 52°C (unit : sec)

항목 (상태)	스로틀 위치	판정 기준	Δt_{torque}	Δt_{map}	$\Delta t_{map} - \Delta t_{torque}$
정상	100%	1초 이내	0.28	0.48	0.20
	75%		0.29	0.48	0.19
	50%		0.30	0.41	0.11
	25%		0.27	0.30	0.03
연결 부위 절단, 분리	100%		0.18	0.36	0.18
	75%		0.14	0.35	0.21
	50%		0.20	0.34	0.14
	25%		0.11	0.14	0.03
가속페달 스프링 #1제거	100%		0.31	0.50	0.19
	75%		0.29	0.47	0.18
	50%		0.29	0.39	0.10
	25%		0.22	0.22	0.00
가속페달 스프링 #2제거	100%	0.30	0.48	0.18	
	75%	0.29	0.48	0.19	
	50%	0.26	0.43	0.17	
	25%	0.21	0.24	0.03	

Table 4 Maximum time to return to idle of 2,400cc vehicle at 25°C (unit : sec)

항목 (상태)	스로틀 위치	판정 기준	Δt_{torque}	Δt_{map}	$\Delta t_{map} - \Delta t_{torque}$
정상	100%	1초 이내	0.30	0.47	0.17
	75%		0.31	0.46	0.15
	50%		0.26	0.33	0.07
	25%		0.22	0.24	0.02
연결 부위 절단, 분리	100%		0.22	0.39	0.17
	75%		0.21	0.38	0.17
	50%		0.16	0.26	0.10
	25%		0.12	0.12	0.00
가속페달 스프링 #1제거	100%		0.30	0.46	0.16
	75%		0.30	0.43	0.13
	50%		0.41	0.45	0.04
	25%		0.21	0.22	0.01
가속페달 스프링 #2제거	100%	0.29	0.48	0.19	
	75%	0.31	0.47	0.16	
	50%	0.27	0.32	0.05	
	25%	0.21	0.22	0.01	

근에서는 연료차단(fuel cut)을 포함한 기타 엔진제어로 인해 복귀시간의 차이가 발생한 것으로 판단된다.⁽⁹⁾

따라서 전자식 가속제어장치에 대한 복귀능력시험을

전자식 가속제어장치 안전기준에 대한 실험적 고찰

Table 5 Maximum time to return to idle of 2,400cc vehicle at -18°C (unit : sec)

항목 (상태)	스로틀 위치	관정 기준	Δt_{torque}	Δt_{map}	Δt_{map} - Δt_{torque}
정상	100%	1초 이내	0.29	0.38	0.09
	75%		0.29	0.37	0.08
	50%		0.28	0.29	0.01
	25%		0.18	0.20	0.02
연결 부위 절단, 분리	100%		0.19	0.27	0.08
	75%		0.25	0.33	0.08
	50%		0.20	0.21	0.01
	25%		0.14	0.16	0.02
가속페달 스프링 #1제거	100%		0.34	0.44	0.10
	75%		0.28	0.36	0.08
	50%		0.27	0.29	0.02
	25%		0.20	0.21	0.01
가속페달 스프링 #2제거	100%		0.29	0.40	0.11
	75%		0.25	0.37	0.12
	50%		0.30	0.33	0.03
	25%		0.20	0.23	0.03

Table 6 Difference in torque & MAP return time

복귀시간 차이	시험조건 수	비율(%)
$\Delta t_x \leq 0.1s$	27	56.3
$0.1s < \Delta t_x \leq 0.2s$	20	41.7
$0.2s < \Delta t_x$	1	2.0
계	48	100

실시할 때 최고출력의 엔진회전수 이하에서 시험하고, 연료차단(fuel cut) 및 변속 등의 제어로 인한 엔진출력을 결정하는 중요한 인자들의 변화를 확인하며 시험할 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 전자식 가속제어장치를 사용하는 가솔린자동차에 대해서 가속제어장치 안정성 평가시험을 수행하여 MAP 센서의 타당성을 검증하였으며, 연구결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 흡기매니폴드 압력은 토크와 비례관계로써 유사하게 반응하였다. 흡기매니폴드 압력이 증감할 경우

토크의 증감에 의해 엔진출력이 결정되었다. 따라서 흡기매니폴드 압력은 엔진출력을 나타내는 중요한 인자임을 확인할 수 있었다.

- 2) 여러 모드별 주행평가를 통해 토크와 MAP 센서의 상관관계를 분석한 결과 유사한 경향이 나타났으며, 이러한 결과는 이론적으로 토크와 MAP 센서의 값이 비례관계에 있다는 것이 검증되었다. 그리고 운전자가 Tip-out을 하면 스로틀밸브 개도량이 감소함에 따라 토크와 MAP 센서에 의한 복귀시간이 모두 감소하였다.
- 3) 전자식 가속제어장치 복귀능력시험에서 가속상태에서 공회전위치까지 스로틀밸브 복귀시간은 토크와 MAP 센서에 의한 두 경우 모두 1초 이내로 복귀하여 안전기준에 적합하였다. 그러나 MAP에 의한 복귀시간이 토크에 의한 복귀시간보다 대부분 0.2s이내에서 늦게 복귀하는 경향을 보였다. 그렇지만 제작사별로 토크 제어전략이 다양한 것을 감안할 때, MAP 센서에 의한 복귀시간을 안전기준 적합여부의 판단기준으로 활용하는 것이 더 합리적이라고 판단된다.
- 4) 전자식 가속제어장치에 대한 복귀능력시험 시 최고출력 회전수 이하에서 시험하고 연료차단 및 변속 등의 제어로 인한 엔진출력을 결정하는 인자들의 변화를 확인해야 한다.

참고문헌

- (1) 국토교통부, 「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」 제87조(가속제어장치), 2019.
- (2) J. H. Lee, H. B. Kwon, H. J. Kim, H. S. Ahn, "A Study of Environmental Adaptive Ability In Hybrid Electric Vehicle, KSAE Annual Conference, pp. 2093~2098, 2007.
- (3) "FMVSS No. 124 (Acceleration Control Systems)", NHTSA, 1996.
- (4) "Test Procedure for FMVSS 124 Acceleration Control System (TP-124-06)", 2000.
- (5) K. S. Park, J. H. Lee, J. I. Pack, "The Effect of the ETC Characteristics on the Vehicle Driveability Tip-in/Out", Transactions of KSAE, Vol. 13, No. 6, pp. 113~119, 2005.
- (6) N. Heintz, M. Mews, G. Stier, A.J. Beaumont, A.D. Noble, "An Approach to Torque Based Engine

- Management Systems”, SAE 2001-01-0269, 2001.
- (7) I. T. Kim, “A Study on the Trouble Diagnosis of an Electronic Control Engine with the Waveform Analysis of MAP Sensor”, M. S. Dissertation, KyungHee University, Seoul, 2004.
- (8) 국토교통부, 「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준 시행세칙」 별표 1, No. 25 (가속제어장치 복귀능력 시험), 2019.
- (9) 윤경철, “전자식 가속제어장치 평가방법에 관한 연구”, 경일대학교 석사학위 논문, 2017.12.
- (10) 오동욱, 고장상황 모드 데이터를 이용한 전자식 스톱바디의 진단장치 및 방법, 2015.