

레인지 익스텐더 전기자동차 엔진용 저가형 2단속도 고정밀 운전제어시스템 개발

함윤영^{*}, 이정준²

¹우석대학교 기계자동차공학과, ²(주)블루플래닛

Development of Low-Cost, Double-Speed, High-Precision Operation Control System for Range Extender Engine

Yun-Young Ham^{*}, Jeong-Jun Lee²

¹Department of Mechanical & Automotive Engineering, Woosuk University

²Blue Planet Inc.

요약 레인지 익스텐더 전기자동차는 소형의 발전용 엔진이 가장 효율이 좋은 특정 운전영역에서 기동하여 배터리를 충전시키며 주행거리를 연장하는 메커니즘으로 주행한다. 본 연구에서는 저가이면서 제어 로직이 간단한 시스템을 개발하기 위하여 기존 쓰로틀바디시스템을 대체하는 스텝모터방식 흡입공기량 공급시스템을 개발하여 기존 base 엔진에 적용하고, 흡입공기량 증대를 통한 성능 개선을 위해 흡배기다기관 길이가 변경 효과를 실험적으로 살펴보았다. 실험결과, 하나의 스텝모터로 작동하는 Type B의 흡입공기량조절장치가 Type A보다 전 운전영역에서 성능이 높았으나 유동저항의 증가로 base 엔진보다는 성능이 낮았다. 이를 개선하기 위해 흡기매니폴드에 140mm 어댑터를 장착한 경우와 새로 설계된 70mm 길이의 배기매니폴드를 적용한 경우 2200rpm과 4300rpm 두 속도조건에서 엔진성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 최적 설계된 엔진을 대상으로 레인지 익스텐더 전기자동차에 적용 가능하도록 발전기 부하를 연결하여 2단 속도로 고정밀 운전제어를 구현하였으며 그 결과, 1단 2200rpm과 2단 4300rpm 운전조건에서 $\pm 2.5\%$ 이내의 속도변화율을 나타내었고, 1단 속도에서 2단 속도로 상승 시 610rpm/s의 목표속도 추종성 결과를 얻었다.

Abstract The range extender vehicle runs on a mechanism that allows the small power generation engine to start in the most efficient specific operating range to charge the battery and extend the mileage. In this study, we developed a step motor type intake air supply system that replaces existing throttle body system to develop a simple low cost control logic system. The system was applied to the existing base engine, and in order to improve the performance by increasing the amount of intake air, the effect of changing the length of the intake and exhaust manifold was experimentally examined. As a result, the Type B intake air control actuator operated by one step motor showed higher performance than the Type A in all the operation region, but the performance was lower than that of the base engine due to the increase of flow resistance. To improve this, it was confirmed that the engine performance was improved at both speeds of 2200rpm and 4300rpm when the 140mm adapter was installed in the intake manifold and when the newly designed 70mm exhaust manifold was applied. Through this process, high - precision operation control was realized by connecting the generator load to the optimized engine for the range extender electric vehicle. Experimental results showed that the speed change rate was within $\pm 2.5\%$ at 2200rpm in 1st stage and 4300rpm in 2nd stage and the speed follow-up result of 610 rpm/s was obtained when the speed was increased from 2200rpm to 4300rpm.

Keywords : Generator, Intake air control actuator, Range extender electric vehicle, Speed change rate, Step motor

^{*}Corresponding Author : Yun-Young Ham(Woosuk Univ.)

Tel: +82-10-2755-9464 email: yyham@woosuk.ac.kr

Received August 23, 2018

Revised September 20, 2018

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

1. 서론

산업의 발달, 인구의 증가, 경제 규모의 증대 등으로 인해 자동차의 보급이 확산되고 있으나 지구온난화 및 유해 배출가스 문제 등으로 전 세계적인 환경규제가 강화되고 있어 향후 친환경자동차 산업이 급진적으로 발전될 가능성이 매우 높은 추세이다. 우리나라에서도 정부의 지원 하에 자동차 제작사를 포함한 관련 기관들을 중심으로 다양한 종류의 전기자동차, 플러그인 하이브리드 자동차 등이 개발되어 시장에 확대 보급되고 있다. 순수 전기자동차는 충전된 배터리를 이용한 전기모터의 힘만으로 움직이는 친환경자동차이다. 배출가스가 나오지 않는 장점에 불구하고 대략 150~300 km 이내의 제한된 주행거리와 긴 충전시간으로 인해 대중화에 한계를 보이고 있다. 이에 대한 대안으로 최근 플러그인 하이브리드자동차나 레인지 익스텐더 전기자동차(range extender electric vehicle, Re-EV)가 각광받고 있는 추세이다. 레인지 익스텐더 전기자동차는 주행거리 연장형 전기자동차로서 소형 엔진으로 구동되는 발전기 시스템을 보조동력원으로 적용하여 자동차 운행 중 지속적인 배터리 충전을 통하여 운전거리 및 시간을 연장하는 기술이다. 레인지 익스텐더 차량은 소형의 발전용 엔진이 최적의 운전 상태에서 기동하여 배터리를 충전시키며 주행거리를 확장하는 메커니즘으로 주행하며, 배터리 충전만을 위해 사용되기 때문에 전 부하 영역에서 운전해야 하는 기존의 내연기관과는 달리 가장 효율이 좋은 특정 운전 영역에서 운전되도록 설계, 제어하는 것이 요구된다. 기존의 발전기 및 레인지 익스텐더용 엔진의 속도 제어는 기계식 조속기 또는 전자식 쓰로틀 제어 (electronic throttle control, ETC)에 의해 제어되고 있다. 그러나 기계식 조속기는 그 구조가 원심추, 가이드 및 텐션 레버, 캠축, 제어레크 등으로 구성되어 그 구조가 복잡하여 제품비용이 고가이고 엔진속도 제어가 정밀하지 않고 엔진 속도 제어가 1단 제어만 가능하다는 단점이 있다. 또한 전자식 쓰로틀 제어는 엔진속도 제어 정도는 정밀하지만 그 구조가 복잡하여 ETC 단품 자체도 고가이지만 정밀한 전자제어를 위한 고가의 전용 제어기, 즉 ECU (engine control unit)가 필요하고 제어로직이 복잡하여 정밀한 엔진속도 제어를 구현하는데 있어 많은 튜닝시간과 비용이 필요하다.[1-5]

본 연구에서는 쓰로틀바디 시스템(throttle body system)을 대체하는 스텝모터방식(step motor type) 흡입공기량

공급시스템을 개발하여 공회전속도제어로직을 적용하였다. 발전기용 엔진의 목표 회전수를 전류소모 요구량에 따라 2단 속도로 구분하였고 1단 속도제어는 무부하 공회전속도 제어로, 2단 속도제어는 에어콘 부하 인가 시의 공회전속도제어 로직을 사용하였다. 또한 흡입공기량 증대를 통한 성능 개선을 위해 흡기 및 배기다기관의 길이 변경 효과를 실험적으로 살펴보았다. 이 과정을 통해 최적 설계된 엔진을 대상으로 레인지 익스텐더 전기자동차에 적용 가능하도록 발전기 부하를 연결하여 2단 속도로 고정밀 운전제어를 구현하여 낮은 속도변화율과 빠른 목표속도 추종성을 갖는 저가이면서 제어 로직이 간단한 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 실험 장치

2.1 시험 엔진

레인지 익스텐더 전기자동차용 엔진개발을 위해 ㈜블루플래닛에서 자체 개발한 600cc급의 2기통 가솔린 엔진을 기본 엔진으로 선정하였다. 전자제어 연료분사방식인 base 엔진의 최대출력은 6000rpm에서 29kW이고, 최대토크는 3600rpm에서 52N·m이다. 엔진의 주요 제원은 Table 1과 같다.

Fig. 1은 레인지 익스텐더 전기자동차용 시험엔진에 발전기를 장착한 모습이다. 발전기는 3000rpm 기준 정격 파워 15kW, 정격 토크 47.8N·m의 교류발전기를 사용하였다.

Table 1. Specification of test engine

Engine Type	-	Gagoline, 2 cyl, 4 stroke
Engine Cooling	-	Water Cooled
Camshaft & Valves	-	DOHC 4 Valve
Fuel management	-	ECU/Injector
Ignition Management	-	ECU
Bore Diameter	mm	68.8
Stroke	mm	80.6
Displacement Volume	cc	599.2
Max. Power	kW	29.0@6,000
Max. Torque	Nm	52.0@3,600
Rated RPM	RPM	6,700
Fuel Consumption	g/kWh	260@3,600
Compression Ratio	-	9.9
Engine Dry Weight	kg	55.0
Engine Size (W*L*H)	mm	446*388*593

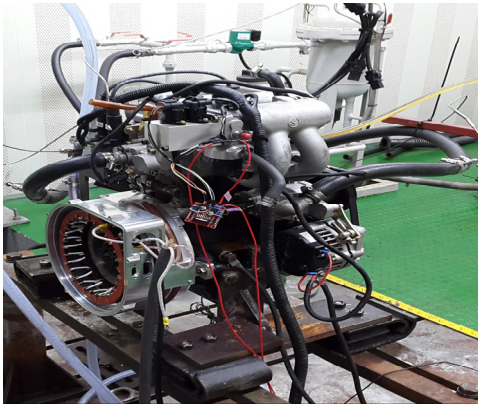
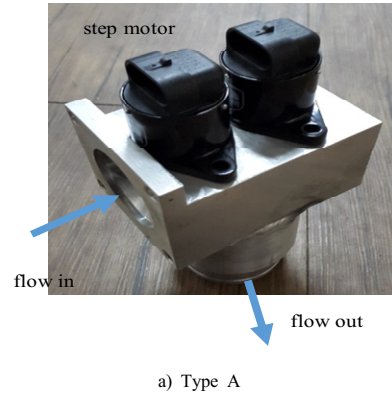


Fig. 1. Test engine with generator connected

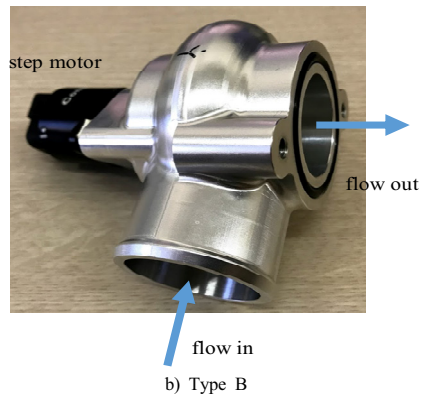
2.2 흡입공기량 조절장치

본 연구에서는 base 엔진에 사용되는 쓰로틀바디 대신에 스텝모터 방식의 ISCA(idle speed control actuator)로 작동되는 두 가지 종류(Type A, Type B)의 흡입공기량 조절장치를 사용하였다. 발전기 엔진의 목표 회전수는 전류소모 요구량에 따라 2단속도의 목표 엔진회전수로 구분 된다. 즉 1단속도 엔진회전수(저속)와 2단속도 엔진회전수(고속)으로 나눌 수 있는데, Type A는 1단 및 2단 속도 제어 시 ISCA 2개가 장착된 흡입공기량 조절장치로 공기량을 제어하여 목표 엔진회전수를 추종한다. 이때 목표 엔진회전수 추종제어는 ISCA 제어로 실시하게 된다. Type B는 ISCA 1개만을 사용하도록 하고 흡입공기 유량을 충분히 공급하도록 Fig.2와 같이 설계변경을 하였다.

ISCA를 이용하여 2단속도 제어를 하기 위해서는 기존 ECU의 로직을 활용할 필요가 있다. 기존 ECU의 경우 엔진 아이들 조건에서 에어컨 작동 시 에어컨 컴프레서에 의해 엔진 부하가 증가함으로써 목표 아이들 회전수를 유지하기 위해 추가 공기량이 필요하다. 또한 컴프레서가 작동 시 순간적인 부하로 인해 시동 꺼짐 및 엔진회전수 하락과 같은 문제점을 방지하기 위해 필요한 공기량을 계산하여 공급함으로써 안정된 아이들 엔진회전수를 유지하는 기능이 있다. 이와 같은 차량용 ECU의 에어컨 부하에 대한 로직을 적용하여 엔진 구동 시 ECU는 2단속도 제어를 위해 외부 input 신호(에어컨 신호)를 입력받아 2구간의 엔진회전수로 작동되도록 ECU 소프트웨어를 추가하였다.



a) Type A



b) Type B

Fig. 2. Two types of Intake air control actuators

3. 실험 결과

3.1 흡입공기량 조절장치의 엔진성능 비교

흡입공기량 조절장치는 엔진에서 요구되는 출력에 필요한 흡입공기를 유입하는 장치로 흡입공기 유동과 유량이 중요하다. Fig. 3은 흡입공기량 조절장치 Type A와 Type B에 대해서 ISCA 열림량에 따른 흡입공기 유량을 나타낸 그래프이다. 레이저 익스텐더 엔진의 발전 구간에서의 엔진회전수를 2200rpm과 4300rpm으로 선정하여 두 가지 조건에서 시험을 진행하였다. 2200rpm과 4300rpm 두 조건 모두에서 Type B의 흡입공기 조절장치가 Type A보다 흡입공기 유량이 많음을 확인할 수 있었다. 이는 Type A의 유동저항이 상대적으로 크기 때문인 것으로 생각된다. 두 Type의 흡입공기 조절장치를 600cc 엔진에 장착하여 엔진 전부하(WOT) 성능을 측정하였고 이를 쓰로틀바디를 적용한 base 엔진의 성능과 비교하였다. Fig. 4에서 나타나듯이 base 엔진 성능에는

미치지 못하지만 Type B가 Type A의 엔진 성능보다 높은 결과를 얻을 수 있었으며 이는 Type A의 유동 저항이 가장 크기 때문인 것으로 분석된다.

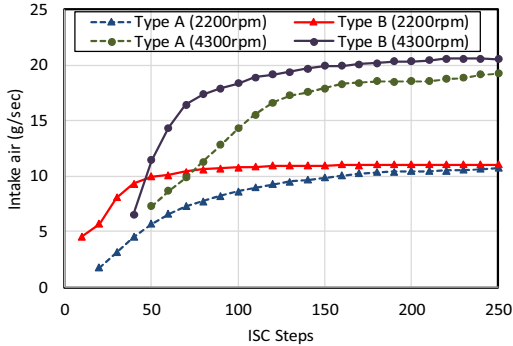


Fig. 3. Intake air flow rate according to ISCA steps

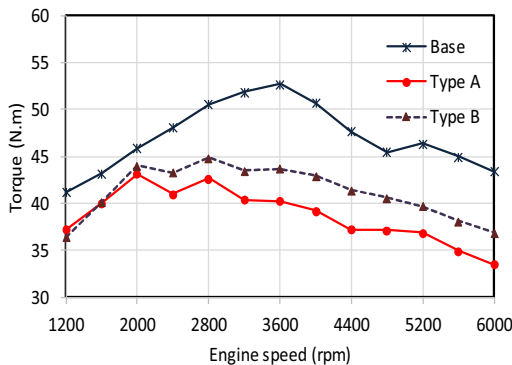


Fig. 4. Comparison of full load engine performance for various intake air control actuators

3.2 흡·배기다기관 길이 변화에 따른 엔진 성능 비교

스텝모터로 제어되는 흡입공기량 조절장치를 적용할 경우 base 엔진 대비 성능이 저하되기 때문에 이를 개선하기 위하여 흡·배기다기관의 설계를 변경하고자 하였다. 먼저, 600cc base 엔진에서 흡기시스템에 따른 엔진 성능 변화를 확인하기 위해 흡기다기관 길이 증대작업을 진행하였다. 시험엔진은 현재 양산되고 있는 엔진으로서 흡기다기관의 수정이 불가하여 엔진 헤드와 흡기다기관 중간에 어댑터를 제작, 삽입하였고, 각 사양별로 엔진에 장착하여 엔진성능 시험을 진행하였다.

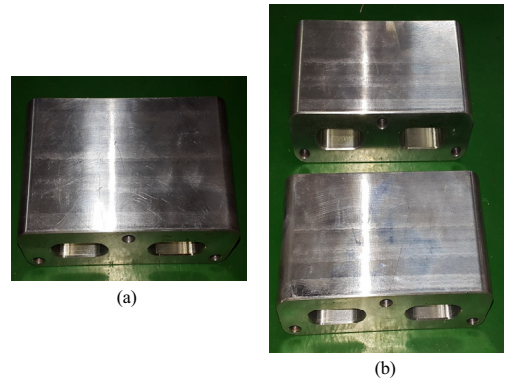


Fig. 5. Adapter between intake manifold and cylinder head
(a) 70mm (b) 140mm

Fig. 5는 흡기다기관과 실린더헤드 사이에 장착되는 70mm와 140mm 어댑터에 대한 사진이다. Type B의 흡입공기량 조절장치와 흡기다기관 어댑터를 장착한 후 엔진성능을 측정하는 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 흡기다기관 어댑터를 장착한 사양이 3600rpm 부근 영역을 제외한 대부분에서 엔진성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 특히 140mm 어댑터를 장착한 경우 1단속도인 2200rpm보다 2단속도인 4300rpm 영역에서 성능 향상 효과가 큼을 알 수 있다. 이는 당 엔진에 흡기관 길이 증대에 의한 맥동 주기 튜닝이 효과적으로 영향을 미친 것으로 판단된다.

가솔린 엔진에서 배기 행정 시 발생하는 압력파로 인하여 원활한 배기가 이루어지지 않을 경우 엔진 성능이 하락되는 문제가 발생할 수 있다. 2기통 시험엔진의 밸브타이밍을 살펴보면 1번과 2번 실린더의 배기밸브가 동시에 열리는 조건에서 1번 실린더 흡·배기 밸브의 오버랩이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 배기간섭으로 인해 1번 연소실로의 배기가스 역류 및 충전 효율 저하현상이 발생되어 시험용 엔진에서는 항상 1번 실린더가 성능의 측면에서 손실이 발생될 것으로 예상된다. 이를 개선하기 위해서 2번 실린더에서 1번 실린더로의 정압과 전달을 차단하는 목적으로 배기다기관 샘플을 제작하였으며 1번과 2번 실린더의 배기가스가 모이는 부분을 양산 사양보다 직경을 크게 하여 배기간섭을 최소화하기 위해 Fig. 7과 같이 70mm와 200mm 길이의 두 가지 사양으로 샘플을 제작하였다.

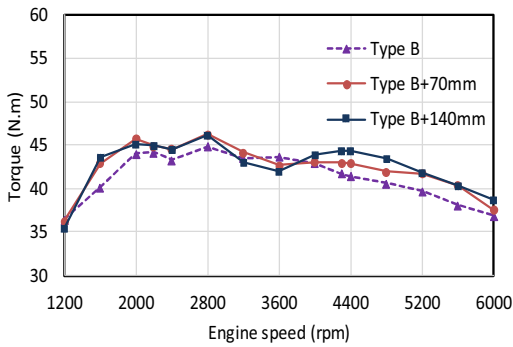


Fig. 6. Comparison of full load engine performance for applying intake manifold adapter

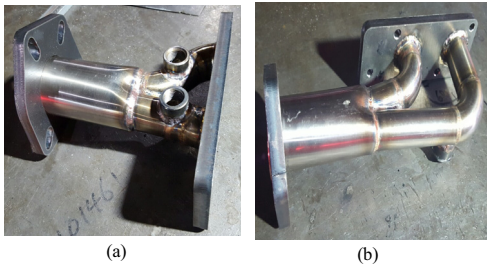


Fig. 7. New design of exhaust manifold with different length
(a) 70mm (b) 200mm

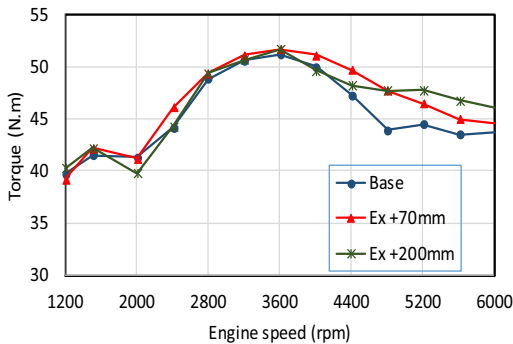


Fig. 8. Comparison of full load engine performance for applying exhaust manifold with different length

Fig. 8은 배기다기관 두 가지 사양을 시험엔진에 장착한 후 엔진성능을 측정된 결과이며 양산엔진의 배기다기관보다 배기간섭 최소화를 고려하여 제작한 배기다기관 두 가지 사양 모두 중·고속 영역에서 엔진 성능이 전반적으로 높아진 것을 확인할 수 있었다. 특히 70mm 사양의 경우 4300rpm 조건에서 성능 향상이 큼을 알 수 있다.

3.3 발전기 부하 연결 시 엔진회전수 안정성

다양한 설계변경 부품들의 평가 시험을 토대로 레이저 익스텐더용 엔진 사양을 결정하였고 대상엔진을 발전기 부하에 연결하여 엔진속도변화율을 측정하여 제어정도를 살펴보았다. 엔진회전수는 각각 2200rpm과 4300rpm에서 실시하였으며 측정 결과, Fig. 9와 Fig. 10과 같이 목표회전수 2200rpm 조건에서 평균회전수 2196rpm과 변동폭 -50~46rpm의 결과를 얻었고, 목표회전수 4300rpm에서는 평균회전수 4294rpm, 변동폭 -62~54rpm의 결과를 얻었다. 두 조건 모두 목표제어정도인 속도변화율 $\pm 2.5\%$ 이내를 만족함을 확인할 수 있었다.

제어응답성(목표속도 추종성)은 1단(2200rpm) 속도에서 2단(4300rpm) 속도로 상승 시 측정하였으며 Fig. 11과 같이 1단 속도에서 2단 속도로 증가 시 2단속도에도달하는데 3.5초 걸렸으며 속도증가율은 610rpm/s로 비교적 빠른 추종속도 결과를 얻었다.

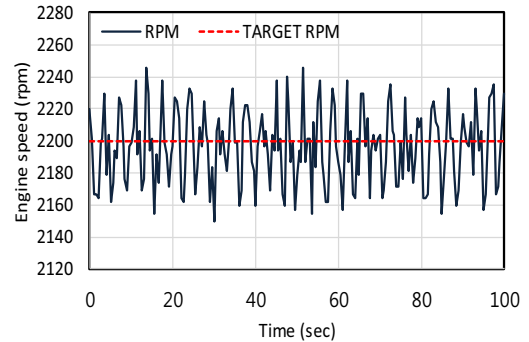


Fig. 9. Engine speed stability at 2200rpm in 1st stage

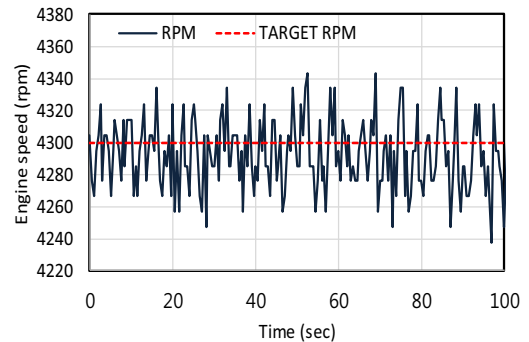


Fig. 10. Engine speed stability at 4300rpm in 2nd stage

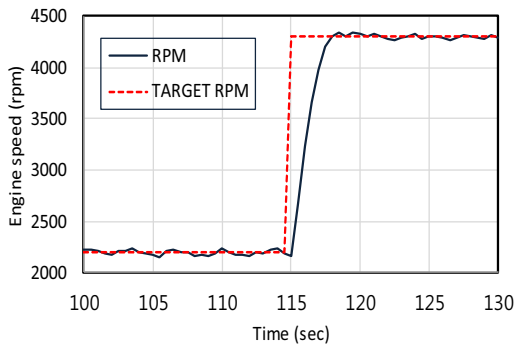


Fig. 11. Target speed follow-up from 2200rpm in 1st stage to 4300rpm in 2nd stage

또한 2단 속도에 도달한 이후에 엔진회전수가 안정적으로 유지되고 있음을 확인할 수 있었다. 흡입공기량 조절장치의 신뢰성 평가를 위해 총 100시간 동안 내구시험을 진행하였으며 완료 후 시제품 작동에 이상은 없었으며 시제품 탈거 후 내구부품에 대한 검사를 실시한 결과 변형이나 이물질 오염으로 인한 흔적은 발견할 수 없었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 쓰로틀바디 시스템을 대체하는 스텝모터방식 흡입공기량 공급시스템을 개발하여 기존 base 엔진에 적용하고, 흡입공기량 증대를 통한 성능 개선을 위해 흡배기다기관 길이가 변경 효과를 실험적으로 살펴보았다. 이 과정을 통해 최적 설계된 엔진을 대상으로 레인지 익스텐더 전기자동차에 적용 가능하도록 발전기 부하를 연결하여 2단 속도로 고정밀 운전제어를 구현하여 낮은 속도변화율과 빠른 목표속도 추종성을 갖는 저가이면서 제어 로직이 간단한 시스템을 개발하고자 하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존 쓰로틀바디 방식을 대체할 수 있는 저가형 스텝모터방식의 흡입공기량조절장치를 개발하여 2단 속도로 레인지 익스텐더 전기자동차용 엔진에 적용 가능함을 확인하였다.
- 2) 흡기매니폴드에 140mm 어댑터를 장착한 경우와 새로 설계된 70mm 길이의 배기매니폴드를 적용한 경우 2200rpm과 4300rpm 두 속도조건에서 엔진성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

- 3) 발전기 부하를 연결하여 2200rpm과 4300rpm의 2단속도로 제어할 때 제어정도는 속도변화율 $\pm 2.5\%$ 이내를 만족하였으며 1단에서 2단으로 상승 시 제어응답성은 610rpm/s로 비교적 빠른 추종 속도 결과를 얻었다.

References

- [1] M. Anwar, M. Hayes, A. Tata, M. Teimorzadeh and T. Achatz, "Power Dense and Robust Traction Power Inverter for the Second-Generation Chevrolet Volt Extended-Range EV", SAE Technical Paper 2015-01-1201, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.4271/2015-01-1201>
- [2] A. Agarwal, A. Lewis, S. Akenhurst, C. Brace, Y. Gandhi and G. Kirkpatrick, "Development of a Low Cost Production Automotive Engine for Range Extender Application for Electric Vehicles", SAE Technical Paper 2016-01-1055, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.4271/2016-01-1055>
- [3] M. Bassett, J. Hall, G. Kennedy, T. Cains, J. Powell and M. Warth, "The Development of a Range Extender Electric Vehicle Demonstrator", SAE Technical Paper 2013-01-1469, 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.4271/2013-01-1469>
- [4] M. Atzwanger, C. Hubmann, W. Schoeffmann, B. Kometter and H. Friedl, "Two-Cylinder Gasoline Engine Concept for Highly Integrated Range Extender and Hybrid Powertrain Applications", SAE Technical Paper 2010-32-0130, 2010.
DOI: <https://dx.doi.org/10.4271/2010-32-0130>
- [5] H. Shimamura, A. Kasai and T. Arai, "Engine Speed Control with a Choke Valve based on the Adaptive Control Approach-Mechanism to Drive both the Throttle Valve and the Choke Valve with a Single Motor", SAE Technical Paper 2010-32-0116, 2010.
DOI: <https://dx.doi.org/10.4271/2010-32-0116>

함 윤 영(Yun-Young Ham)

[정회원]



- 1988년 8월 : 연세대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 연세대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1989년 11월 ~ 2001년 1월 : 대우자동차 기술연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 우석대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

엔진제어, 친환경자동차

이 정 준(Jeong-Jun Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 우석대학교 반도체전
기자동차공학부 (공학사)
- 2003년 8월 ~ 현재 : ㈜블루플래
닛 차장

<관심분야>

전자제어, 친환경자동차