

## 교류발전기 충전 제어에 따른 차량연비 개선 효과

조근진<sup>1)</sup> · 위효성<sup>1)</sup> · 이종화<sup>2)</sup> · 박진일<sup>2)</sup> · 박경석<sup>3)</sup>

아주대학교 기계공학부<sup>1,2)</sup> · 금오공과대학교 기계공학부<sup>3)</sup>

## Effect of Alternator Control on Vehicle Fuel Economy

Guenjin Cho<sup>1)</sup> · Hyoseong Wi<sup>1)</sup> · Jonghwa Lee<sup>2)</sup> · Jinil Park<sup>2)</sup> · Kyoungseok Park<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School, Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea

<sup>3)</sup>School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

(Received 14 January 2008 / Revised 27 October 2008)

**Abstract :** For many years there has been a trend to increased electrical energy consumption in cars caused by the replacement of mechanical parts by electronic or mechanical devices as well as the introduction of new electronic features. Whereas the number of electrical consumers continues to increase, the battery is still the only passive power source available. Because of this reason, needs for driving power of the engine accessories such as alternator system have increased. Usually, conventional alternator system is directly driven by the crankshaft of engine with belt. Since this increase bring about additional fuel economy. To improve this system automobile makers develops new controlled alternator system. This paper focuses on fuel economy improvement according to control of alternator. In this paper, researches are performed on effect of type of Alternator system on fuel economy by experiment. And it is also calculated the effect on vehicle fuel economy using computer simulation with AVL cruise software. As a result, 0.64% of vehicle fuel economy improvement can be achieved in a vehicle with controlled Alternator system compared to a vehicle with conventional Alternator system in NEDC mode.

**Key words :** Fuel economy(연비), Alternator(교류발전기), Fuel cut(연료 차단), Charging control(충전 제어), Simulation(시뮬레이션), AVL CRUISE(크루즈)

### 1. 서론

현대의 차량에서 가장 큰 화두는 차량의 연비와 배기가스 규제이다. 이는 소비자의 차량 선택의 기준일 뿐만 아니라 각종 규제로 인해 자동차를 팔기 위한 필수 개발 요소 중 하나이다.

이러한 개발들 중에 파워스티어링 펌프와 충전장치, 에어컨디션 시스템과 같이 각종 보기류들의 연비에 미치는 영향에 대한 연구도 활발하다.<sup>1)</sup>

이 중에서도 전자장비의 전기부하에 전기에너지

를 공급해주는 공급 장치를 충전장치라고 한다.

충전장치에는 배터리와 교류발전기가 있는데 이 중에서 교류발전기는 엔진과 벨트로 직접 연결 구동된다. 전자장비로 인해 전력부하가 큰 경우 교류발전기로부터의 발전량은 현저히 증가한다. 이로 인해 교류발전기의 부하가 커져 엔진의 기계적 마찰이 상승하여 연비에 영향을 미친다.

최근 운전자의 요구에 의해 자동차에 각종 전자장비 등이 장착되고 있다. 이로 인해 불가피하게 전기 부하가 증가하여 연비에 많은 영향을 미친다.

모드 주행 시 차량은 시동을 걸때 배터리에 축적

<sup>\*</sup>Corresponding author, E-mail: jlee@ajou.ac.kr

된 전기에너지를 사용하여 배터리의 방전이 급격히 증가하므로 교류발전기의 발전량이 크게 증가한다. 이후 일정 수준으로 충전이 완료되면 발전량과 배터리의 충전량이 안정화된다.

교류발전기 충전 제어는 배터리의 충전량이 안정화되고 난 후에는 교류발전기를 필요시에만 발전하도록 제어, 교류발전기의 부하를 줄여 엔진마찰을 개선하기 위한 기술이다.

본 연구에서는 기존 교류발전기 시스템과 교류발전기를 제어하는 시스템이 모드 주행 연비에 미치는 기여도를 파악하였다.

## 2. 본론

### 2.1 실차 연비 기여도 실험

실차 상태에서의 연비 기여도 분석을 위하여 각 시스템 장착 차량에 대하여 교류발전기 시스템 소모 동력 측정을 위한 모델링 및 단품 실험을 실시하였다. 그리고 모드 주행 실험을 실시하여 동급 차량에서 연비 비교를 위하여 각 시스템에 대한 모델링을 수행하였다.

#### 2.1.1 연비 기여도 분석 방법론

차량에서 사용되는 제동동력은 도시동력에서 기계 마찰 손실, 펌핑 손실, 보기류 손실을 제외한 항으로 표현된다.<sup>2)</sup> 여기서 보기류 손실은 교류발전기에 의한 전기부하와 기타 파워스티어링 펌프와 같은 장치들의 구동 동력을 포함한다.<sup>3)</sup>

$$P_b = P_i - P_p - P_{ef} - P_{acc}$$

$$P_{acc} = P_{alt} + P_{psp} + P_{etc} \quad (1)$$

엔진에서 발생하는 도시 동력과 펌핑 손실동력은 다음 식으로 모사될 수 있다. 여기서  $n_1$ 과  $n_2$ 는 각각 흡기 과정과 배기 과정시의 하사점,  $n_R$ 은 실린더당 1 사이클의 동력행정에 대한 크랭크 회전수를 의미한다.<sup>4)</sup>

$$P_i = \frac{\Omega_E}{n_E} \int_{n_1}^{n_2} p_{cyl} dV$$

$$P_p = \frac{\Omega_E}{n_E} \int_{n_2}^{n_1} p_{cyl} dV \quad (2)$$

차량에 필요한 전원은 일반적으로 교류발전기의

출력을 정류하여 직류 전원으로 사용한다. 차량의 요구전원에 의해 발전용량이 결정되며, 발전기의 발전 효율을 고려하면 동력원에서 요구되는 발전 동력보다 큰 동력이 필요하다. 발전기는 회전속도에 관계없이 일정한 전력을 생산하여야 하므로 발전기 구동 토크는 회전 속도에 반비례한다. 그리고 교류발전기 효율은 발전기 회전속도에 대한 함수로 표현하여 이용하였다.

교류발전기 시스템의 구동력을 계산하기 위하여 교류발전기에 의한 소모 동력을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{alt} = \frac{V_{bat} I_{alt}}{\Omega_{alt} \eta_{alt}}$$

$$P_{alt} = \frac{V_{bat} I_{alt}}{\eta_{alt}} \quad (3)$$

Fig. 1은 차량A의 엔진 회전수에 따른 교류발전기의 구동토크와 효율을 단품 실험을 통해 실측한 값을 나타낸 것이다.<sup>1)</sup> 이 실험을 통해 교류 발전기의 구동 토크 계산식에 필요한 효율을 계산하였다. 차량 B도 동일한 실험을 수행하였다.

차량을 무부하 상태에서 엔진의 총 마찰과 교류발전기 구동력을 측정된 값을 평균유효압력으로 Fig. 2에 나타내었다. 두 차량의 연료분사시기 제어의 차이로 인해 총 마찰의 차이가 크게 나타났다. 이 차이는 엔진 동력계를 통해 엔진 속도와 부하의 함수로 모델링하여 기계적 마찰 토크를 계산하였다.

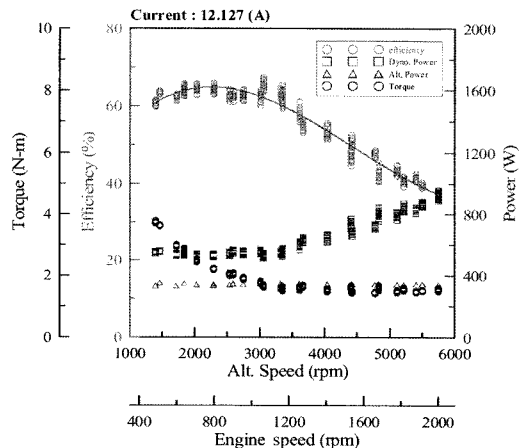


Fig. 1 Alternator's characteristic as a function of engine speed

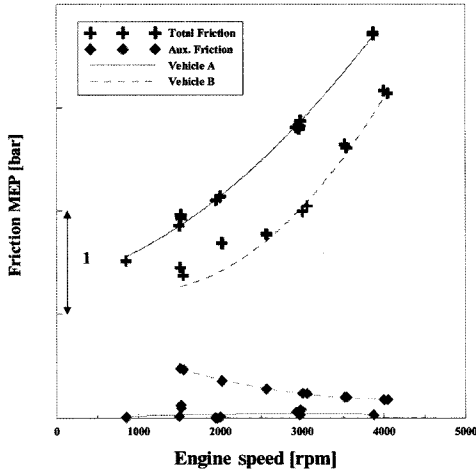


Fig. 2 Comparison of friction

차량 A의 경우 총 마찰이 차량 B의 경우에 비하여 크지만 교류발전기 제어를 통해 교류발전기 구동 토크는 매우 작게 나타났다. 반면에 교류발전기 제어를 하지 않은 차량 B는 총 마찰은 작지만 교류발전기 구동력의 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

2.1.2 실험 장치

시험차량은 교류발전기를 제어하는 2200cc급 디젤엔진과 6속 수동변속기를 장착한 4륜구동 차량, 교류발전기 제어를 하지 않는 2000cc급 디젤 엔진과 5속 수동변속기를 장착한 4륜구동 차량이다.

Table 1 Comparison of vehicle specification

	Vehicle A	Vehicle B
Engine	2.2L Diesel	2.0L Diesel
T/M	6속 수동	5속 수동
Alternator control	○	×

구동력 측정을 위하여 각각의 실린더에 압력센서(Kistler사, 6058A, Glow plug type)를 예열 플러그형 어댑터를 사용하여 장착하였으며, 측정된 압력에 대한 전하량의 증폭에는 전하증폭기(Kistler사, 5019A140)를 사용하였다. 크랭크 각도 측정을 위하여 1도 단위의 엔코더(메트로닉스사, H40-8-0360ZV)를 사용하였고, 데이터 취득에는 VeFAS(Vehicle Fuel Analysis System, 아주대학교 동력시스템 실험실 자체제작 측정 장비)를 이용하였다. 교류발전기 시스템의 전류 측정을 위해 전류 센서(한국 센서사, PLA100-04D15)를 이용하였고, 배터리 전압은 VeFAS를 이용하여 측정하였다.

2.1.3 실험 방법

각 차량에 대하여 EURO3 모드주행을 통하여 모드 주행에 사용된 연료량을 CVS(Constant Volume Sampling)를 통하여 측정하였고 차량에 장착한 압력센서와 엔코더를 이용하여 발생 일을 측정하였다. 발생 일의 측정에는 엔진의 크랭크 각도 1도 마

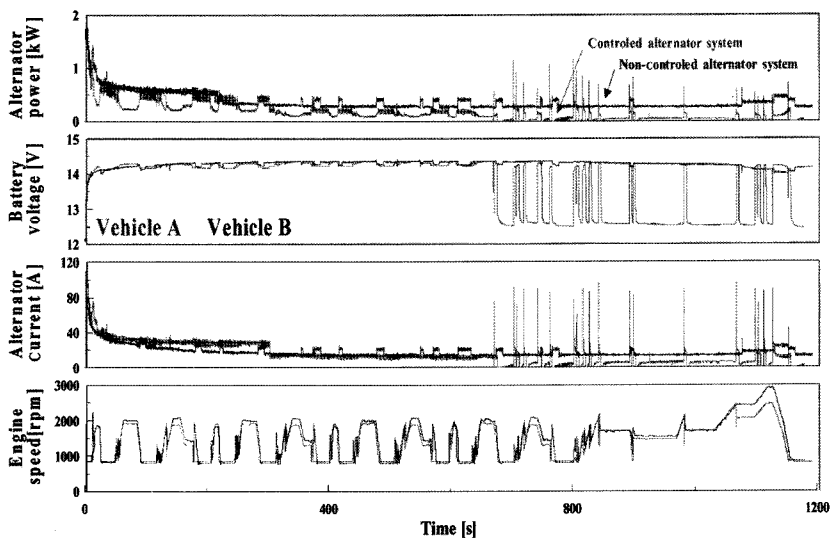


Fig. 3 Comparison of instantaneous alternator consumption power

다. 실린더 압력을 직접 측정하여 전체도시평균유  
효압력으로부터 계산하였다. 동시에 교류발전기의  
전류와 배터리 전압을 측정하여 교류발전기 시스템  
의 소모동력을 계산하였다. 발전효율은 단품실험데  
이터를 이용하였다.

2.1.4 실험 결과

이상의 실험한 결과에 대하여 각 교류발전기 시  
스템의 실시간 소모 동력, 교류발전기의 연비기여  
도에 대하여 Fig. 2 및 Table 1과 같은 결과를 얻었다.

실차 실험 결과에서 보듯이 두 차량은 공통적으  
로 초기 시동 시 스타터 모터로의 배터리의 전하 방  
전량이 급증함으로 인해 교류발전기의 발전량이 급  
증하는 것을 확인할 수 있다. 차량 B의 경우는 배터  
리 충전이 일정 수준 이상이 되었음에도 일정량의  
발전을 계속하고 있음을 확인할 수 있었다. 반면에  
교류발전기의 충전 제어를 하는 차량 A의 경우는  
일정 수준의 배터리 수준이 될 경우 충전량을 줄여  
부하가 작아짐을 확인할 수 있다. 일정 조건을 만족  
하면 발전을 하지 않음으로써 교류발전기에 부하를  
걸지 않는다.<sup>5)</sup> 이로 인해 교류발전기를 통한 동력손  
실이 제어를 하지 않는 차량 대비 현저하게 줄어든  
다. Table 2는 각 차량의 측정 데이터를 이용하여 계  
산된 일에서 에너지 변환 효율이 고려된 환산 연료  
량이다.

Fig. 4는 차량 A의 fuel cut 때 차량관성 에너지를  
이용하여 교류발전기의 충전제어로 배터리의 충  
전을 나타낸다. 일정 조건 이후 충전량을 줄여 부하  
를 줄이지만 감속 구간이나 변속 구간에서의 Fuel  
cut 때 교류발전기의 충전 제어를 통해 교류발전기  
의 구동 부하를 제어함을 확인할 수 있었다.

Table 2 Comparison of F/E due to alternator system

Vehicle	교류 발전기에 의한 연료 소비량
Vehicle A	2.58 %
Vehicle B	4.30 %

2.2 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구에서 수행했던 실차 실험의 경우 차량의  
관성중량, 배기량, 연소특성 등의 변수가 있기 때문  
에 객관적인 연비 개선 효과의 지표로 삼기에는 무  
리가 있다. 이를 보완하기 위해 교류발전기의 충전

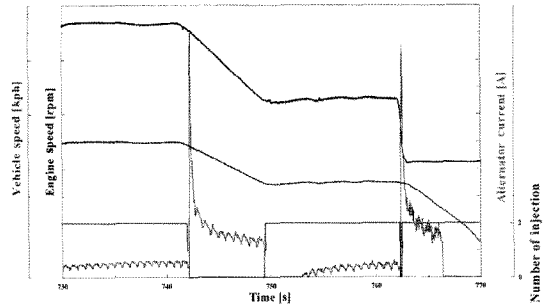


Fig. 4 Charge control on alternator system at fuel cut

제어를 기존의 교류발전기 시스템에 적용하였을 경  
우 연비개선효과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 객  
관적 수치화하였다.

2.2.1 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 상용 차량 시뮬레이션 전용 소프  
트웨어인 AVL사의 CRUISE Ver. 3.0을 이용하였다.

차량 A에 장착된 충전 제어를 하는 교류발전기  
모델을 차량 B에 적용하여 교류발전기의 구동 동력  
을 계산하였다. 계산된 값을 기준으로 엔진속도-교  
류발전기 구동동력 선도를 추출하였다.

우선 차량 B의 CRUISE 모델링을 수행하였다.<sup>6)</sup>  
실제 차량에 부착된 교류 발전기의 소모동력을 예  
측하기 위하여 교류발전기의 효율을 고려하여 소모  
동력을 계산하였다.

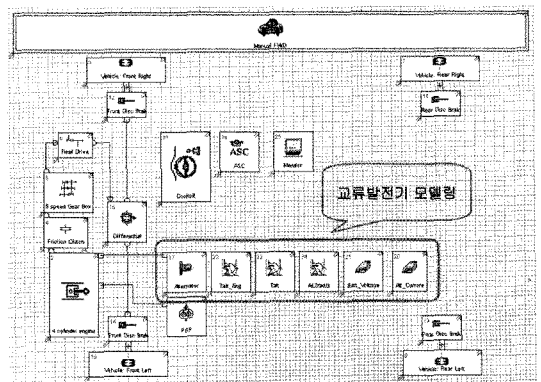


Fig. 5 Modeling by using CRUISE simulation program

2.2.2 분석 결과

먼저 기존의 교류 발전기 시스템을 장착한 차량  
의 실측 데이터와 같은 결과를 얻을 수 있는 모델링

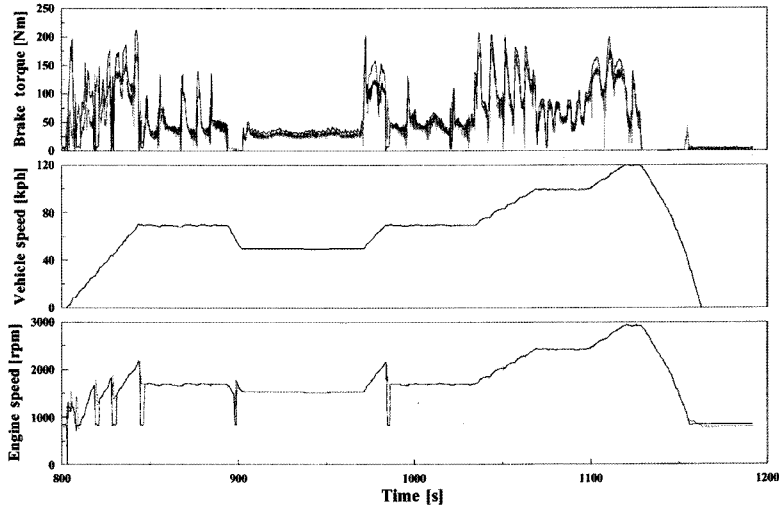


Fig. 6 Comparison of simulated data I

을 하였다.

Fig. 6에서 나타난 것처럼 기존의 교류 발전기 시스템 적용 차량의 시뮬레이션 결과 실측 연비 1% 이내의 오차로 연비를 예측해낼 수 있었다. 이로써 시뮬레이션을 통하여 차량의 교류 발전기 시스템의 충전 제어 시스템을 적용하였을 때 연비 예측이 타당하다고 판단된다.

Fig. 7은 시뮬레이션 결과를 통해 교류 발전기의 소모 구동력을 나타내었다. 충전 제어 시스템을 적용한 모델링을 시뮬레이션 한 결과 주행에 요구되

는 구동력에 비해 교류발전기의 요구 구동력이 작기 때문에 엔진 회전수 및 주 운전 영역은 큰 차이가 나지 않았다.

반면에 교류 발전기의 소모 구동력은 이전 시스템 대비 감소하였음을 확인 할 수 있었다. 시뮬레이션 결과 연비 개선 효과는 기존 교류 발전기 시스템을 기준으로 퍼센트 단위로 정리하여 Table 3에 나타났다. 충전 제어를 하는 교류 발전기 시스템 적용으로 0.64% 연비 개선 효과를 기대할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

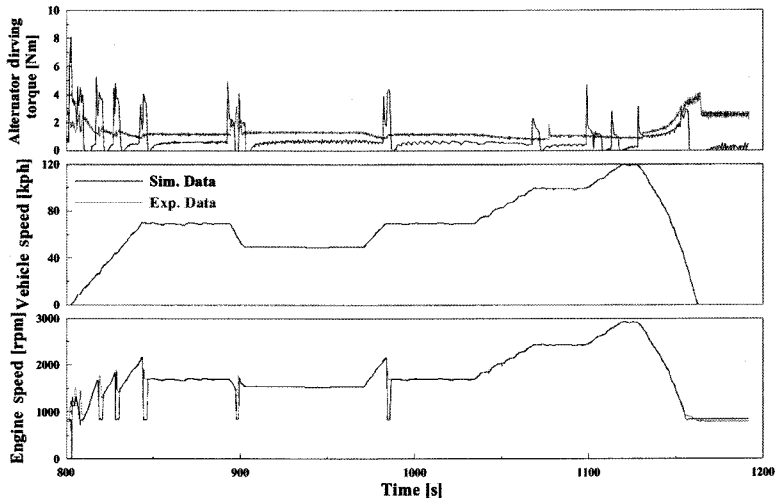


Fig. 7 Comparison of simulated data II

Table 3 F/E improvement due to alternator system for NEDC

	Conventional alternator system	Charging controlled alternator system
F/E improvement factor	100%	100.64%

Table 4 F/E Improvement due to Alternator System for FTP-75

	Conventional alternator system	Charging controlled alternator system
F/E improvement factor	100%	101.08%

하지만 실제 차량에서 모드 주행보다 장시간 운전했을 경우 연비 개선 효과는 더욱 크게 나타날 수 있을 것으로 예상되어 NEDC 모드보다 58% 더 장시간 운전하는 FTP-75 모드를 시뮬레이션에 적용하는 Table 4와 같은 결과를 확인 할 수 있었다.

이는 NEDC 모드 주행 시 충전 제어 기간이 전체 운전 시간의 42%임에 반해 FRP-75 모드 주행 시 최대 75%로 더 증가하였기 때문이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 교류발전기의 충전제어에 따른 연비 기여도를 분석하고 같은 교류발전기를 사용할 경우 실차 및 제어 방식에 따른 연비 개선 정도를 비교하기 위해 NEDC 모드 주행 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 비교 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존의 교류발전기 시스템을 사용하는 2000cc급 차량의 경우 실차에서 교류발전기 소모동력에 의한 연비 기여도는 4.30%이고, 충전 제어를 하는 교류발전기 시스템을 사용하는 2200cc급에서 교류발전기의 소모동력에 의한 연비 기여도는 2.58%이다.
- 2) 충전 제어를 하는 교류 발전기 시스템을 기존의 시스템에 적용하였을 때 NEDC모드에서 전체 운전 시간 중 42%의 충전 제어를 통한 0.64%의 연비 개선 효과를 시뮬레이션을 통해 확인하였다.
- 3) 충전 제어 적용 시 보다 장기간 운전 시 효과가를 것으로 예상되어 FTP-75모드에서 전체 운전 시간 중 75%의 충전 제어를 통한 1.08%의 연비 개선 효과를 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부 주관 자동차기반기술사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### References

- 1) N. Kim, J. Lee, J. Yoo and J. Park, Effect of the Accessories Driving Power on Vehicle Fuel Economy, M. S. Thesis, Ajou University, 2005.
- 2) H. Song, J. Lee, K. Kim, J. Yoo, B. Rhee and K. Min, Modeling and Experiments for the Breakdown of Fuel Consumption in Passenger Car, Ph. D. Dissertation, Ajou University, 2002.
- 3) J. Yoo, H. Song, J. Lee, J. Yoo, Y. Park and K. Park, "An Experimental Study on Breakdown of Fuel Consumption on a Component Basis in Gasoline Engine Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.11, No.1, 2003.
- 4) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw Hill, pp.46-48, 1998.
- 5) M. Rosenmayr, R. Schmidt, R. Naumann, "Battery Management and Control," SAE 2006-21-0002, 2006.
- 6) A. S. Sikchi, R. S. Khokar, U. Niranjana and G. S. Raju, "Charging System: Design Simulation & Validation Methodology," SAE 2007-01-0784, 2007.