

고도 데이터를 이용한 연비 향상 방안과 성능 평가

최성철^{1*}, 권만준¹, 이상준¹, 김영일¹, 오태일¹, 고광호¹
¹아주자동차대학 자동차계열

Fuel Economy Improvement Method and Performance Evaluation Using Altitude Data

Seong-Cheol Choi^{1*}, Mann-Jun Kwon¹, Sang-Jun Lee¹, Young-Il Kim¹,
Tae-II Oh¹ and Kwang-Ho Ko¹

¹Division of Automotive Engineering, Ajou Motor College

요약 지구 온난화의 영향으로 차량 연비 향상은 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는 경사를 갖는 고속도로를 주행하면서 차량 전방의 고도 데이터를 이용하여 주행속도를 예측하는 3가지 연비 향상 알고리즘을 제안하고 성능을 평가했다. 제안하는 알고리즘은 가중평균경사각(WMGA), 하강 경사에서 감속 후 재가속 I, II(RAADE I, II) 3가지이다. 이를 위해 GPS 수신 데이터 중에서 거리와 고도 데이터를 추출하여 각 구간의 경사도와 주행저항을 계산한다. 제안하는 3가지 알고리즘에 대한 속도 프로파일을 약 213Km 영동고속도로 전 구간에 대해서 완성하여 모의 주행하여 연비를 측정한다. 그 결과 제안하는 알고리즘 중에서 RAADE II 알고리즘이 기존 CVELCONT3 알고리즘 연비 대비 약 3.571% 우수한 결과를 얻었다.

Abstract The vehicle fuel economy is very important issue in the view of global warming. This paper proposes the three fuel economy improvement algorithms which predict the velocity using altitude data of the positions in front of vehicle and estimates their performances. The proposed 3 algorithms are WMGA(Weighted Mean Gradient Angle), RAADE I, II(Reacceleration After Deacceleration I, II). This research extracts the distance and altitude data from received GPS data and calculates gradient angle and road load for each section. The velocity profile according to proposed algorithms is made for Youngdong highway of 213km. And the test vehicle runs along this highway and fuel economy is measured. RAADE II of proposed algorithms showed better performance by 3.571% in comparison to the conventional CVELCONT3.

Key Words : Gradient, Fuel economy, Altitude, velocity profile

1. 서론

지구 온난화의 영향으로 차량의 연비 향상은 매우 중요한 문제이다. 연비 향상을 위한 방안으로 새로운 전기/전자 기술을 도입한 하이브리드 자동차, 전기자동차 등이 활발히 연구되고 있다. 그러나 아직도 대부분의 자동차는 화석 연료를 사용하는 내연기관으로 지구 온난화의 주범인 CO₂를 배출하고 있다. 이러한 CO₂ 배출가스를 줄이는 방안으로 차량의 경량화, 저항감소, GDI(Gasoline Direct

Injection)엔진, 동력전달장치 효율 개선 등이 적용되었고, 연비가 향상되었다[1].

도로의 경사도와 운전자의 운전 패턴이 연비에 영향을 준다[2]. 운전자의 운전 패턴에 따른 연료 과소모의 대표적인 사례는 급가속, 급정지, 과속, 저속 등이다. 기존의 연구에서도 연비 향상을 위한 연구는 많이 진행되었다. JH Park, YI Park과 JM Lee[3]는 실제 도로가 아닌 특정 주행 모드에서 경사를 고려한 연비에 대해 연구하였고, JH Song et all[2]은 경사를 고려하지 않고 초기 가속 특

*Corresponding Author : Seong-Cheol Choi

Tel: +82-10-3925-2201 email: csc@motor.ac.kr

접수일 12년 02월 15일

수정일 (1차 12년 04월 25일, 2차 12년 04월 30일)

게재확정일 12년 05월 10일

성과 주행 패턴에 대한 연구를 하였으며, YS Park et al[4]은 경사를 고려하지 않고 주로 차량 종류에 따른 주행 속도가 연비에 주는 영향을 연구하였다.

그러나 최근 들어 GPS 수신 데이터 중 고도와 경사도를 추출하여 연비 향상에 활용하는 방안과 고도가 연비에 주는 영향을 연구한 논문을 볼 수 있다[5-7]. SC Choi[5]는 고속도로에서 고도데이터를 이용하여 순항제어(cruise control)의 속도 편차를 $\pm 10\%$ 까지 허용하는 에코드라이빙 방안을 제안하였고, SC Choi와 JH Lee[6]은 순항제어 속도 개념을 도입한 속도 편차를 $\pm 3\%$ 이내로 허용한 에코크루즈 방안을 제안하였다. 또한 SC Choi와 TI Oh[7]은 경사도가 연비에 주는 영향을 영동고속도로에서 평가하였다. SC Choi[5-6]의 앞선 연구들에서는 주행 중 도로 경사도를 실시간으로 반영하여 주행속도를 신속하게 가속하여야 한다. 이러한 가속에 의해 연료가 과다소모 되고 결국 연비가 악화된다[2].

본 논문에서는 연비 악화의 원인이 되는 경사도의 영향을 완화시키는 3가지 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 3가지는, ①저장된 고도데이터로 부터 다음 지점의 가중평균 경사각을 구하고 이에 따른 속도를 예측한 가중평균경사각(WMGA : weighted mean gradient angle) 알고리즘, ② KH Ko and SC Choi[8]의 결론 3을 이용한 내리막 구간 내에서 감속 주행과 재가속 주행이 완료되게 하는 감속후재가속(RAADE : reacceleration after deceleration I) 알고리즘, 마지막으로 ③ 결론 3을 개선한 감속후재가속II(RAADE : reacceleration after deceleration II) 알고리즘이다. 각 알고리즘에 따라 계산한 경사도와 주행 저항(road load)을 이용하여 영동고속도로 전구간의 속도 프로파일을 완성한 후 모의 주행하여 연비를 평가한다. 연비 평가는 배기량 2,359cc 소나타 NF 차량을 모델링하여 AVL사의 Cruise 프로그램에 입력하고, SC Choi와 JH Lee[6]에서 제안한 중앙속도제어 알고리즘(CVELCONT) 중에서 속도 오차를 $\pm 3\%$ 까지 허용한 CVELCONT3를 기준으로 평가하였다. 주행한 결과를 토대로 연료 소모를 최소로 하면서 주행할 수 있는 최적의 새로운 연비 향상 알고리즘을 도출한다.

2. GPS 고도 데이터 확보 및 주행저항

2.1 GPS 고도와 거리 데이터

4개 이상의 인공위성에서 동시에 수신된 GPS 데이터로부터 현재의 위치 정보를 추출한다. 이 추출된 데이터를 1차 처리하여 0.2초 간격으로 거리와 고도 데이터를

생성한다. 생성된 거리와 고도 데이터는 5만 라인 이상이고, 여러 가지 오차가 포함되어 있어 SC Choi가 제안하는 방법으로 필터링하면 42,723라인으로 감소한다[5]. 이렇게 하여 영동고속도로(213Km)에 대한 정확한 거리와 고도 데이터를 확보한다. 이 확보된 거리와 고도 데이터를 실험 차량의 내부에 장착한다.

2.2 고도와 등판저항

본 논문의 주요 변수는 고도이다. 도로에서 고도는 시작 지점과 종료 지점의 경사각으로 표현되고, 경사각은 차량 주행저항(road load) 4개 항 중 등판저항(gradient resistance)으로 표현된다[5]. 차량이 정속 주행일지라도 경사각에 따라 연료소모량이 다르다. 즉 상승 경사에서는 연료를 더 소모해야 정속을 유지할 수 있고, 하강 경사에서는 연료를 덜 소모하고도 유지가 가능하다. 심지어 하강 경사가 심할 경우는 연료를 전혀 사용하지 않는 fuel-cut 구간에서도 가속이 된다[8].

따라서 제안하는 3가지 알고리즘을 이러한 도로의 경사각에 따른 등판 저항을 이용하여 SC Choi[5]가 제안한 방법으로 속도 프로파일을 완성한다.

3. 제어 알고리즘

시험 차량에 GPS 수신기를 장착하여 영동고속도로를 주행하면서 수신기로부터 현재 위치와 고도데이터를 취득한다. 또한, 2장에서 확보하여 차량에 미리 저장한 거리와 고도데이터에서 다음 지점의 거리와 고도 데이터를 알 수 있다. 따라서 차량 전방의 고도 데이터와 현재 위치의 고도데이터와 이용하여 경사각, 등판저항을 계산하여 속도 프로파일을 완성한다.

3.1 가중평균경사각(WMGA : Weighted Mean Gradient Angle) 알고리즘






WMGA 알고리즘은 CVELCONT3 알고리즘[6] 중에서 다음 지점의 고도가 상승 경사이거나 평탄할 경우 그 다음 지점의 고도를 반영하여 속도를 계산한다. 이때 반영하는 두 고도에 가중치를 두어 평균적인 경사도에 해당하는 속도가 되도록 반영한다.

이러한 다음 지점들의 두 고도는 다음과 같은 여러 가지 경우가 존재한다. 즉,

- ① 다음 지점이 상승 경사일 경우 그 다음 지점이
 - a. 평탄한 경우,
 - b. 더 작은 경사각으로 증가할 경우,

- c. 같은 경사각으로 증가할 경우,
 - d. 더 큰 경사각으로 증가할 경우,
 - e. 하강 경사일 경우 등 5가지로 구분된다.
- 아래 표 1은 위 경우에 대하여 보여준다.

[표 1] 경사각에 따른 가중 경사도(다음 지점 : 상승)
 [Table 1] Weighted Gradient according to Gradient angle
 (next : up)

①	a	b	c	d	e
경사					
경사도 계산식	$\frac{a1+a2}{2}$	주1)	$\frac{a1+a2}{2}$	주2)	주1)

주1) $\frac{1.5a1+0.5a2}{2}$, 주2) $\frac{0.5a1+1.5a2}{2}$

- ② 다음지점이 평탄한 경우 그 다음지점이
 - a. 상승 경사각을 가질 경우,
 - b. 또 평탄한 경우,
 - c. 하강 경사인 경우 등 3가지로 구분된다.

[표 2] 경사각에 따른 가중경사도(다음 지점 : 평탄)
 [Table 2] Weighted Gradient according to Gradient angle
 (next : flat)




②	a	b	c
경사			
경사도 계산식	$\frac{a1+a2}{2}$	0	a1

표 1과 2의 a1과 a2는 다음 지점과 그 다음 지점의 경사각이다.

3.2 감속후 재가속(RAADE I : Reacceleration after Deceleration I) 알고리즘

RAADE I 알고리즘은 KH Ko and SC Choi[8]의 결론 3의 “내리막 구간 내에서 연료차단 감속주행과 재가속 주행이 완료되어야 한다.”를 영동고속도로에 적용한 것이다. “재가속 주행이 완료되어야 한다.”의 뜻은 서해안 고속도로의 법정 최고속도 110km/h로 속도가 복귀해야 한다. 이를 CVELCONT3 알고리즘에 적용하면, 영동고속도로에서 경사각 $\theta < 0$ 일 때 내리막이 끝나는 지점에서

100km/h로 복귀해야 한다.(CVELCONT3 알고리즘에서는 경우에 따라서 100km/h ~ 103km/h) 따라서 경사도에 대한 가중치는 적용하지 않는다.

3.3 감속후 재가속(RAADE II : Reacceleration after Deceleration II) 알고리즘

RAADE II 알고리즘은 RAADE I 알고리즘을 하강경사가 끝나는 지점에서 CVELCONT3 알고리즘이 제안하는 방법으로 복귀 속도를 제한한다. 즉, 하강경사의 경우 경사각 $-\theta_e$ (공기저항과 구름저항의 합이 등판저항과 같아서 차량이 정속을 유지하는 경사각)에 따라, $-\theta_e \leq \theta < 0$ 일 때 내리막이 끝나는 지점에서 100km/h로 복귀하고 (CVELCONT3에서는 100km/h가 되지 않을 수도 있음), $\theta < -\theta_e$ 일 때는 103km/h로 되어야 한다.(CVELCONT3에서는 103km/h가 되지 않을 수도 있음) RAADE II 역시 경사도에 대한 가중치는 적용하지 않는다.

3.4 속도 프로파일

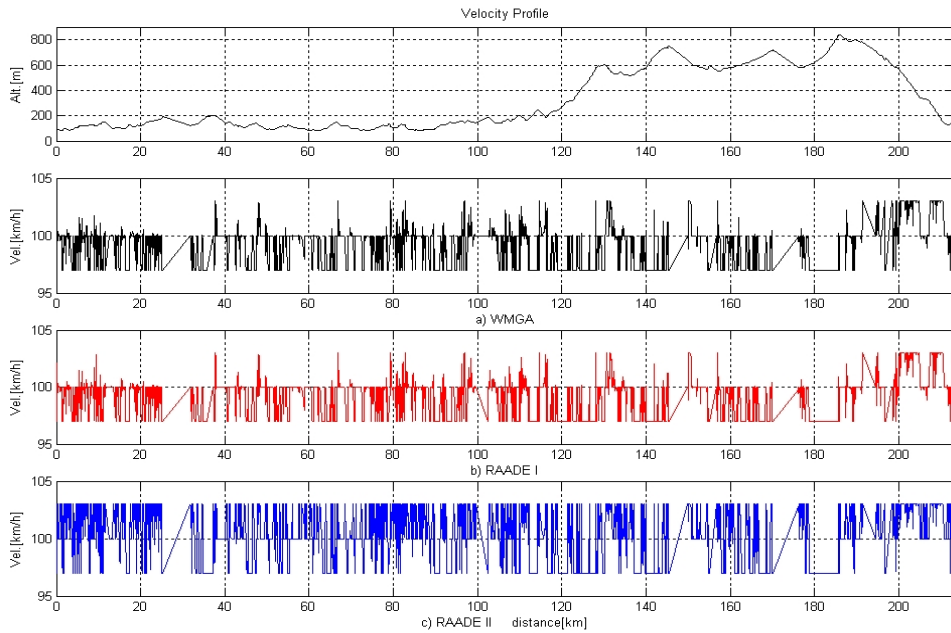
본 논문에서 제안하는 3가지 알고리즘의 연비를 Cruise로 계산하기 위해서는 영동고속도로 약 213km 구간간의 속도 프로파일이 필요하다. 이 속도 프로파일은 Matlab을 이용하여 완성하였다. 아래 그림 1은 3가지 알고리즘의 속도 프로파일을 보여준다.

4. 모의실험 및 결과 고찰

4.1 모의 실험

연비 측정을 위해 소나타NF 2,359cc 차량모델을 AVL사의 CRUISE 프로그램으로 영동고속도로를 모의 주행하였다. 자동차 모의주행 CRUISE 프로그램을 사용하기 위해서는 주행에 필요한 전폭, 전고, 무게, 엔진 파워, 토크 등 회사가 발표한 제원, 주행에 필요한 변속기(기어 변속 패턴, 기어 비 등등), 엔진 제원(아이들 rpm, 최대 rpm, 연료 발열량, 공연비, 엔진 맵 등등), 파이널 기어, 바퀴 제원, 제동력, 가속 특성, 공기 저항을 포함한 주행 저항 등 각종 데이터를 입력 해 주어야 한다. 이러한 데이터는 생산 회사가 공개하는 경우는 쉽게 구하지만 많은 데이터는 실험실 및 동력계를 이용하여 측정하여 사용한다.

자동차의 공식 연비는 공개되어 알고 있지만 실제 자동차를 주행할 때는 속도에 따른 rpm, 기어 단수, 공기 저항, 도로 사정 등에 따라서 연비는 변한다. 따라서 자동



[그림 1] 알고리즘에 따른 속도 프로파일
 [Fig. 1] Velocity profile of 3 algorithms

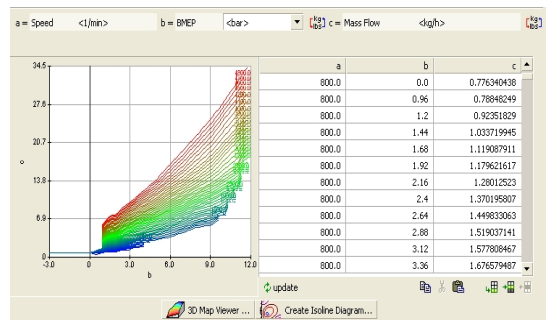
[표 3] 연료 소모량 및 연비
 [Table 3] Fuel Consumption and Fuel Economy

알고리즘	평균 속도 (Km/h)	연료소모량 (L)	연비 (Km/L)	향상 (%)	주행시간 (시간:분:초)
CVELCONT3	99.073	16.130	13.230	0	2:09:17
WMGA	99.062	16.105	13.251	0.155	2:09:19
RAADE I	99.039	16.052	13.294	0.484	2:09:21
RAADE II	100.351	15.554	13.720	3.571	2:07:54

차의 rpm에 따른 연료 소모량을 실험실에서 측정하여 연료소모 맵을 완성하여 CRUISE 프로그램에 입력한다. 아래 그림 2는 측정하여 입력한 연료 소모 맵을 보여준다.

또한 CRUISE 프로그램을 사용하기 위해서는 자동차의 속도 프로파일과 고도 데이터, fuel-cut 구간, 승차 인원 등도 입력한다. 이제 CRUISE 프로그램은 속도에 따른 기아 단수, rpm을 생성하여 그림 2의 맵을 이용하여 연료 소모량을 산출한다.

fuel-cut 기능은 1,800rpm이상에서 동작하고 1,200rpm에서 정지하도록 설정 하였다. 표 3은 주행결과 연료소모량과 연비 및 연비 향상율을 보여준다.



[그림 2] 연료 소모 엔진 맵
 [Fig. 2] Engine map of fuel consumption

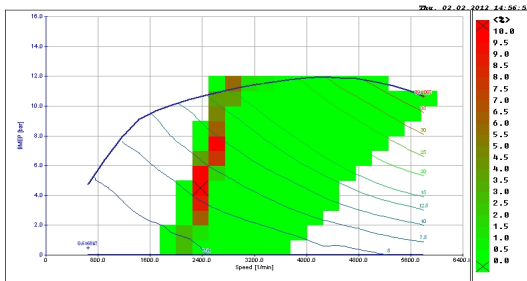
4.2 고찰

4.2.1 속도

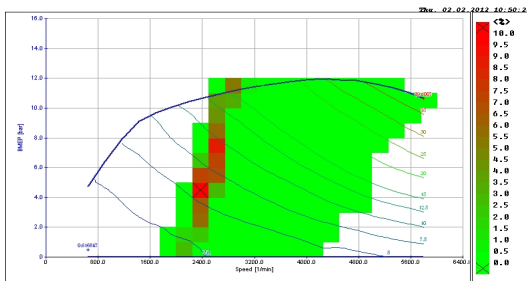
그림 1에서 보는 바와 같이 WMGA 알고리즘과 RAADE I 알고리즘의 속도 프로파일은 주로 100km/h 이하에서 주행하며 그 모양 역시 거의 비슷하다. 두 알고리즘의 평균 속도도 비슷하고 연비 향상도 0.5% 미만이다. 그러나 RAADE II 알고리즘의 속도 프로파일은 위의 두 알고리즘과 다르게 100~103km/h 사이에서도 충분히 주행하고 있다. 그 결과 평균속도도 빠르고 연비 향상 역시 3.571%로 우수하다. 그 이유는 fuel-cut이 동작하고 자연 가속되는 $\theta < -\theta_e$ 인 하강 경사를 잘 활용할 뿐만 아니라 경사의 끝에서 최고속도 103km/h로 속도를 상승시켜 그 타력으로 평지 또는 상승 경사를 주행하므로 상대적으로 연료 소모가 적기 때문이다.

4.2.2 연료소모 분포

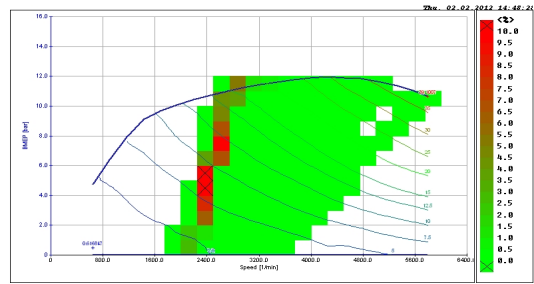
그림 3는 순간연료 분사량, 엔진 회전속도 등을 종합하여 그린 연료 소모 분포 그림이다. RAADE II 알고리즘이 WMGA와 RAADE I 알고리즘 보다 5~7.5L/h 구간에서 연료 소모량이 많다. 즉, RAADE II 알고리즘이 연료 소모량이 낮은 구간에서 엔진의 동작이 많으므로 다른 두 알고리즘 보다 연료소모가 작다. 이것은 속도에서 살펴본 $\theta < -\theta_e$ 인 경우 충분한 속도 상승과 일치한다. WMGA와 RAADE I 알고리즘은 표 3의 연료소모량에서 보는 바와 같이 비슷하므로 그림 3의 연료 소모의 주요 사용 영역도 비슷하다.



a) WMGA 알고리즘



b) RAADE I 알고리즘



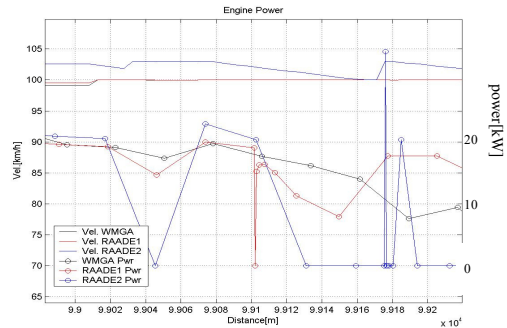
c) RAADE II 알고리즘

[그림 3] 연료소모량 분포

[Fig. 3] Portion of Fuel Consumption

4.2.3 엔진 파워

그림 4은 엔진 파워[kW]를 보여준다. 영동고속도로 구간 99.0~99.2km에서 속도는 RAADE II, RAADE I, WMGA 알고리즘 순으로 빠르다. RAADE II 알고리즘의 경우 속도가 빠름에도 불구하고 엔진 파워는 제일 낮다. 그 이유는 하강경사에서 충분히 가속하여 속도를 올려놓고 평지 또는 상승 구간에서 속도를 줄이므로 엔진 파워를 낮게 유지할 수 있기 때문이다. 반면 RAADE I은 거의 속도 변화가 없어 파워 역시 RAADE II 보다 낮게 유지할 수 없다.



[그림 4] 엔진 파워

[Fig. 4] Engine Power

5. 결론

본 논문에서는 고도 데이터를 이용하여 연비 향상 방안에 대하여 연구하였다. 3가지의 알고리즘을 제안하고 기존의 CVELCONT3 알고리즘과 성능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 하강 경사의 경사각을 고려한 가속과 재가속이 완

료되는 RAADE II 알고리즘이 기존의 CVELCONT3 알고리즘 보다 연비가 3.571% 우수함을 알았다.

- 2) 하강 경사에서 등판저항이 충분히 커서 fuel-cut을 이용하고, 자연 가속을 활용하면 다음 지점이 평탄 또는 상승 경사일 지라도 연료를 절약할 수 있다.
- 3) 우리나라와 같이 경사를 갖는 고속도로에서는 제안하는 알고리즘이 연비 향상에 좋은 성능을 보여줄 것으로 판단된다.

References

- [1] T. S. Han, "Trend of Improving Vehicle Fuel Economy", Auto Journal, 2001.4.
- [2] J. H. Song, D. J. Kim, C. H. Lee and CB Lee, "Simulation of Effect of Vehicle Driving Pattern on Fuel Consumption", KASE 2009 Annual Conference, pp. 2039 ~ 2044.
- [3] J. H. Park, Y. I. Park, and J. M. Lee, "Estimation of Real Driving Fuel Consumption Rate of a Vehicle When Driving on Road Including Grade", Transaction of KASE, Vol. 9, No. 3, pp.65 ~ 76, 2000.
- [4] YS Park, SM Choi, HB Kwon, JS Kim, SB Um, and SW Cho, "An Experimental Study on the Fuel Consumption Characteristics of Passenger Cars under various Driving Condition", KASE03-S001, 2003, pp. 3 ~ 8.
- [5] SC Choi, "Eco-driving Method at Highway including Grade using GPS Altitude data", J. KAIS, Vol. 12, No. 1, pp. 19 ~ pp.25, 2011.
- [6] SC Choi and JH Lee, "Fuel Economy Improvement Cruise Control Algorithm using Distance and Altitude Data of GPS in Expressway", KSAE vol. 19, No. 6, pp.68 ~ 75, 2011.
- [7] SC Choi and TI Oh, "Effect on the Fuel Economy by Gradient in Automobile Driveway", KAIS vol. 12, NO. 7, pp. 2925 ~ 2930, 2011.
- [8] KH Ko, and SC Choi, "A study on the improvement of vehicle fuel economy by fuel-cut driving", KAIS vol. 13 No. 2, pp. 498 ~ 503, 2012.

최 성 철(Seong-Cheol Choi)

[정회원]



- 1988년 5월 ~ 1998년 2월 : LG 산전 선임연구원
- 1998년 2월 : 연세대학교 공학대학원 전자공학과 (전자공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수
- 2002년 2월 : 아주대학교 전자공학과 박사 수료

<관심분야>

자동차임베디드 시스템, 자동차 네트워크, 자동차전기전자, 정보통신, LED 조명제어

권 만 준(Mann-Jun Kwon)

[정회원]



- 1989년 3월 ~ 1991년 8월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
- 1991년 3월 ~ 2000년 2월 : LS 산전(구, LG산전) 선임연구원
- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 원클릭테크놀로지스 부설연구소 책임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수
- 2008년 8월 : 충북대학교 제어계측전공(공학박사)

<관심분야>

영상처리, 시스템소프트웨어개발, 지능형자동차, 자동차임베디드시스템

이 상 준(Sang-Jun Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 부산대학교 공과대학 생산기계공학과 공학사
- 1987년 2월 : 부산대학교 대학원 기계공학과 공학석사
- 2000년 8월 : 충북대학교 대학원 기계공학과 공학박사
- 1987년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원
- 1995년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수

<관심분야>

기계가공, 정밀기계설계, 공조냉동기계, 자동차새시

김 영 일(Young-Il Kim)

[정회원]



- 1992년 4월 ~ 1997년 2월 : 일
본자동차연구소 연구원
- 2003년 9월 : 군마대학 공과대학
원 기계시스템공학과 박사과정
수료(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 아주자동
차대학 교수

<관심분야>

미립화, 분무, 연소, 대체에너지

오 태 일(Tae-Il Oh)

[정회원]



- 1990년 12월 ~ 1998년 2월 : 기
아자동차 선임연구원
- 1990년 2월 : 서울대학교 공학대
학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동
차대학 부교수
- 2002년 2월 : 서울대학교 기계설
계학과 박사 수료

<관심분야>

자동차 NVH, 차량동역학, 파워트레인 마운팅

고 광 호(Kwang-Ho Ko)

[정회원]



- 1991년 3월 ~ 1993년 2월 : 서
울대 항공공학(연소공학 석사)
- 1993년 1월 ~ 1997년 3월 : 기
아차 연구원
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동
차대학 부교수
- 2002년 2월 : 서울대학교 기계항
공공학부 박사 수료

<관심분야>

자동차 배기가스, 연비 실험
신재생에너지 분야