



# 하이브리드 자동차의 연평균 실도로 연비 상세 분석

정 인 천 · 김 민 규 · 강 혜 현 · 박 진 일\* · 이 종 화

아주대학교 기계공학과

## Fuel Economy Analysis of Hybrid Electric Vehicles in On-road Driving Condition

Inchun Chung · Minkyu Kim · Hye Hyun Kang · Jinil Park\* · Jonghwa Lee

Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 16499, Korea  
(Received 19 December 2016 / Revised 18 April 2017 / Accepted 18 April 2017)

**Abstract** : This research analyzed the concept of fuel economy in power split and parallel hybrid electric vehicles and the role of various environmental conditions. The results compared the fuel economy of both internal combustion vehicles and hybrid electric vehicles. The vehicles were tested under various temperatures to help determine the effect of each seasonal change in weather. Actual road tests were done on both city roads and expressways. City road conditions were defined by average vehicle speed, ambient temperature, and distance, while expressway conditions were defined by ambient temperature and distance. The results showed that all the vehicles provided better fuel economy when they were going above average speeds. Distance did not affect fuel economy in the expressways. A power split hybrid vehicle would be more affected by the air conditioning system compared to the parallel hybrid vehicle. The total annual fuel savings showed the effects of the power split hybrid vehicle at 27 ~ 29 %, while the parallel hybrid vehicle was at 25 ~ 35 %.

**Key words** : HEV(하이브리드 전기 자동차), Fuel efficiency(연료 효율), On-road driving condition(실도로), Parallel HEV(병렬형하이브리드), Powersplit HEV(동력분기형 하이브리드)

### Nomenclature

g : mass  
kw : power

### Subscripts

HEV : hybrid electric vehicle  
MEP : mean effective pressure  
TM : transmission

### 1. 서론

강화되는 환경규제 및 배출가스 저감으로 인해 차량 업계는 고효율 차량을 개발하고 있으며 그 중 한가지인 하이브리드 자동차의 보급을 점차적으로 확대 시키고 있다.<sup>1)</sup> 일반적으로 하이브리드 자동차는 정차시 엔진을 작동하지 않기 때문에 무효일을 줄일 수 있으며 모터부와 엔진의 조합으로 엔진을 고효율 운전영역에서 작동이 가능하다. 또한 엔진으로 발전하는 것 외에 제동 및 감속으로 버려지는 에너지를 이용하여 전력을 생산할 수 있으며 차량 출발 같은 저효율 영역에서는 모터를 사용하기 때문에 내연기관 차량과 비교하여 에너지 효율을 개선할 수 있다.<sup>2)</sup>

\* A part of this paper was presented at the KSAE 2016 Spring Conference

\* Corresponding author, E-mail: [jpark@ajou.ac.kr](mailto:jpark@ajou.ac.kr)

그러나 이는 일반적인 상황에서의 하이브리드 자동차의 운전영역이며 다양한 환경에서 하이브리드 자동차의 실연비 및 연비기여도를 요소별로 분석된 바가 없다. 따라서 본 연구는 다양한 환경 조건에서 하이브리드 차량의 연비를 분석하고 이를 바탕으로 내연기관 차량과 비교하여 연비 향상도 및 연간 평균 연료량 절감 효과를 예측하고자 한다.

## 2. 실험 장치 구성 및 실험 방법

### 2.1 실험 차량 제원

내연기관차량과 하이브리드 차량을 비교하기 위해 배기량과 총 시스템 출력이 유사한 차량을 선정하였다. 배기량은 세 차량 모두 2,400 cc이며 하이브리드 차량의 경우 각기 다른 동력전달방식인 병렬형과 동력분기형으로 선정하였다. 하이브리드 차량에서 변속방식이 상이하며 동력분기형 하이브리드는 ECVT, 병렬형 하이브리드는 6속 자동변속기를 채택하고 있다. 이외에도 모터출력에서 차이가 나며 동력분기형 하이브리드의 모터출력은 병렬형에 비하여 약 3배가 높다.

Table 1 Test vehicle specification

| Powertrain system         | IC                   | Parallel             | Power split |
|---------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| displacement (cc)         | 2,359                | 2,359                | 2,362       |
| Weight (kg)               | 1,530                | 1,680                | 1,670       |
| Engine power (kW)         | 150                  | 117                  | 110         |
| Battery output power (kW) | -                    | 34                   | 30          |
| Batthey capacity (Wh)     | -                    | 1,431                | 1,591       |
| Transmission system       | Transmission 6 speed | Transmission 6 speed | ECVT        |
| Motor power (kW)          | -                    | 35                   | 105         |
| Total system power (kW)   | 150                  | 150                  | 140         |

### 2.2 실험 장치 구성

내연기관 차량과 하이브리드 차량간의 연비를 비교하기 위해 각 부분별로 계측하였으며 엔진의 경우 압력센서를 설치하고 크랭크각도를 취득하여 엔진에서 발생하는 에너지를 Kistler사의 Kibox를 이용해 측정하였다. 전동부 및 배터리에서 소모하는 에너지는 차량에서 나오는 Can 정보를 취득 후 사용하였으며 Can 정보는 ETAS사의 ES581를 사용했다.

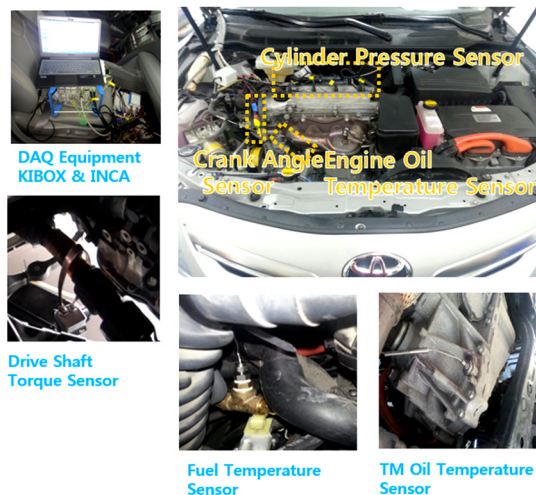


Photo. 1 Vehicle fuel economy element behavior factor measurement system

최종으로 나오는 에너지인 휠 에너지를 측정하기 위해 구동계에 토크센서를 설치하여 데이터를 취득하였다. 이 외에 각종 아날로그 신호는 ES650를 사용하여 취득하였다.

### 2.3 실험 조건

내연기관 차량과 하이브리드 차량을 비교하기 위해 다양한 환경과 주행조건에서 실험을 진행하였으며 선행연구를 참조하여 사용하였다.<sup>4)</sup> 동일 경로를 3회 이상 시행하고 실험 차량 모두 동시에 진행했다.

계절에 따른 영향을 파악하기 위해 외기온으로 구분 하였으며 외부 환경 조건은 선행연구를 참고하여 하단의 표와 같이 사용하였다.<sup>4,5)</sup>

주행경로는 크게 시가지 실도로와 고속도로 실도로로 분류하였다. 시가지 실도로의 경우 수원 시내에서 진행하였으며 City 1은 정체구간을 상정한 경로이며 전체 주행 시간 중 아이들이 차지하는 비율이 가장 높다. City 2는 복잡구간이며 City 3는 고속구

Table 2 Test condition

| Season               | Summer | Autumn | Winter |
|----------------------|--------|--------|--------|
| Ambient (°C)         | 30     | 25     | 0      |
| A/C Temperature (°C) | 22     | -      | 24     |
| A/C                  | on     | off    | off    |
| Heater               | off    | off    | on     |

Table 3 Driving condition

| Route        | Distance (km) | Average velocity (km/h) | Idle potion (%) | Test time (sec) |
|--------------|---------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| City 3       | 20.9          | 29.5                    | 23              | 2549            |
| City 2       | 14.4          | 20.2                    | 33              | 2574            |
| City 1       | 8.3           | 11.8                    | 46              | 2840            |
| Expressway 1 | 77.1          | 90.3                    | 0               | 3080            |
| Expressway 2 | 148.2         | 89.6                    | 0               | 6958            |

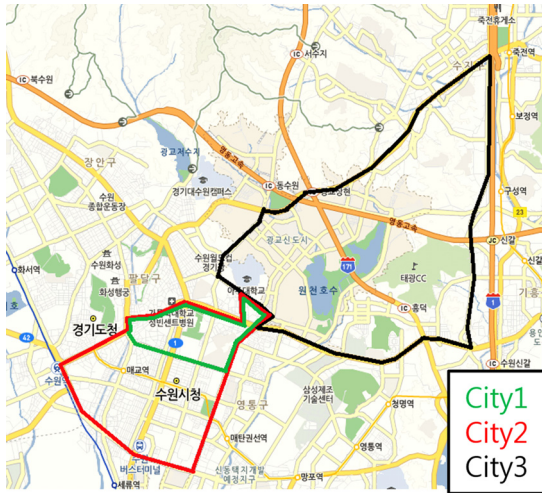


Photo. 2 City route



Photo. 3 Expressway route

간이 일부 포함된 경로이다. 시가지 경로는 상단의 Photo. 2와 같다.

고속도로 실도로는 영동고속도로에서 진행하였으며 주행경로는 주행거리에 따라 실험하였다.

### 3. 실도로 실험 결과

#### 3.1 가을철 시가지 실도로 실험 결과

가을철 시가지 실도로는 외기온도 25도에서 실험 하였으며 이 때 차량의 조건은 에어컨과 히터를 작동하지 않는 상태이다. 실험 결과는 각 경로별로 평균을 취한 값이다. 평균속도가 높아짐에 따라 실험 차량 모두 연비가 우세한 결과를 보였다.

하이브리드 차량의 동력전달방식에 따라 연비 향상을 또한 상이한 결과를 보였다. 차이가 나는 원인 중 한가지는 동력전달 방식에 따라 엔진작동 비율이 상이하기 때문이며 연비에 영향을 미치는 요소로 판단된다.

동력분기형 하이브리드의 경우 25도 외기 조건에서 엔진 작동 비율은 14.8% ~ 27.7%를 보였으며 병

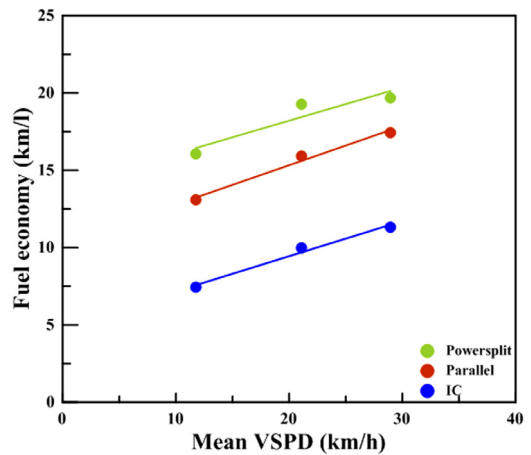


Fig. 1 City real road driving F/E result (Autumn)

Table 4 City real road driving fuel economy result

| Route  | Fuel economy (km/h) |              |                |
|--------|---------------------|--------------|----------------|
|        | IC                  | Parallel HEV | Powersplit HEV |
| City 1 | 7.44                | 13.09        | 16.06          |
| City 2 | 9.98                | 15.92        | 19.27          |
| City 3 | 11.32               | 17.43        | 20.07          |

Table 5 Engine working portion in real road driving

|        | Parallel (%) | Powersplit (%) |
|--------|--------------|----------------|
| City 1 | 21.2         | 14.8           |
| City 2 | 28.0         | 22.8           |
| City 3 | 33.3         | 27.7           |

렬형 하이브리드는 21.2 % ~ 33.3 %의 작동 비율을 보였다.

### 3.2 여름철 시가지 실도로 실험 결과

Fig. 2에서 실선은 여름철 시가지 실도로 조건에서 에어컨을 가동한 실험이며 세 차량 모두 공조기 온도를 22도로 자동으로 설정 한 후 실험하였다. 점선은 가을철 시가지 실도로 실험이다.

실험차량 모두 가을철 실도로 실험과 같은 결과로 평균속도가 감소함에 따라 연비가 악화되었으며 동력분기형 하이브리드 차량의 경우 에어컨 컴프레서 전력 소모량이 병렬형 하이브리드에 비해 많기 때문에 연비 악화 폭이 증가된 결과를 보였다.

Table 6 AC consumption compare

| Powersplit HEV AC consumption / Parallel HEV AC consumption |        |        |
|---|--------|--------|
| City 1  | City 2 | City 3 |
| 2.99  | 2.06   | 3.37   |

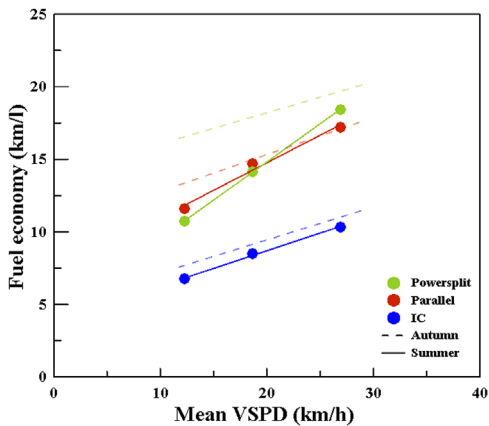


Fig. 2 City real road driving F/E result (Summer)

하이브리드 차량의 에어컨은 모터로 작동되므로 전기에너지가 소모되는 양을 충족시키기 위해 엔진을 이용한 발전량 또한 증가한다. 이로 인해 엔진구동비율이 높아져서 연비 또한 악화된 결과를 보였다. 동력분기형 하이브리드 차량 경우 City 1에서 큰 폭으로 엔진 작동 비율이 높아졌다. 연비 또한 병렬형 하이브리드 보다 악화된 결과를 보였다.

Table 7 City real road driving fuel economy result (Summer)

| Route  | Fuel economy (km/l) |              |                |
|--------|---------------------|--------------|----------------|
|        | IC                  | Parallel HEV | Powersplit HEV |
| City 1 | 6.75                | 11.58        | 10.73          |
| City 2 | 8.48                | 14.69        | 14.14          |
| City 3 | 10.33               | 17.19        | 18.44          |

Table 8 Engine working portion in real road driving

|        | Parallel (%) | Powersplit (%) |
|--------|--------------|----------------|
| City 1 | 23.3         | 28.0           |
| City 2 | 29.0         | 27.1           |
| City 3 | 38.6         | 33.8           |

### 3.3 겨울철 시가지 실도로 실험 결과

겨울철 시가지 실도로 실험은 히터를 가동한 실험이며 세 차량 모두 공조기 온도 24도 오토로 설정한 후 연비 결과이다. 겨울철 실험에서는 외부환경에서 8시간 소킹한 후 냉시동에서 실험을 진행하였다.

겨울철 시가지 실도로 실험에서 하이브리드 차량의 연비 향상율이 가장 낮은 결과를 보였으며 연비 결과 수치는 Table 9와 같다.

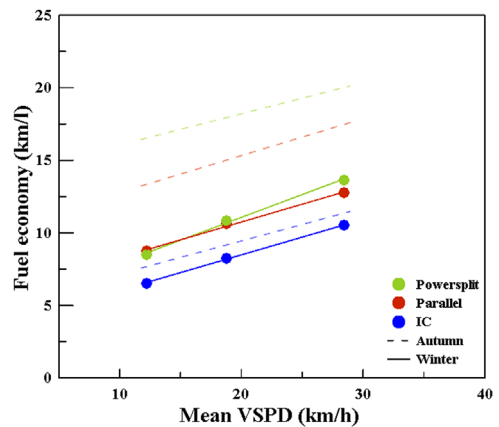


Fig. 3 City real road driving F/E result (Winter)

Table 9 City real road driving fuel economy result (Winter)

| Route  | Fuel economy (km/l) |              |                |
|--------|---------------------|--------------|----------------|
|        | IC                  | Parallel HEV | Powersplit HEV |
| City 1 | 6.53                | 8.73         | 8.51           |
| City 2 | 8.26                | 10.62        | 10.86          |
| City 3 | 10.52               | 12.76        | 13.66          |

Table 10 Engine working portion in real road driving

|        | Parallel (%) | Powersplit (%) |
|--------|--------------|----------------|
| City 1 | 42.9         | 58.1           |
| City 2 | 50.4         | 63.7           |
| City 3 | 55.9         | 71.1           |

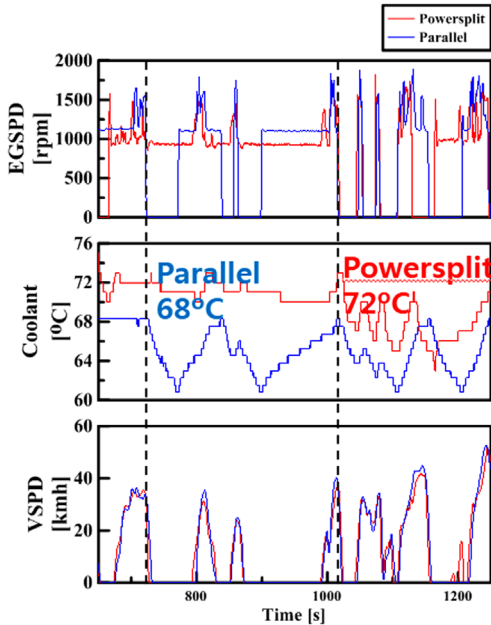


Fig. 4 Engine operation graph (Winter)

냉간 시동 및 히터 작동으로 인해 엔진 작동이 10% ~ 56% 가량 증가했으며 정차 및 저속 구간에서 엔진의 폐열을 이용해야 하기 때문이다.

겨울철 실도로 실험 또한 동력분기형 하이브리드 차량의 연비가 병렬형 하이브리드보다 유사하거나 악화된 결과를 보였으며 이는 동력분기형 하이브리드의 차량이 히터를 적극적으로 사용하기 때문이다. 하단의 그래프에서 동력분기형 하이브리드의 냉각수 온도가 72도 일 때 엔진의 작동이 멈추며 병렬형 하이브리드의 경우 68도 일 때 엔진 작동이 멈춘 결과를 보였다.

### 3.4 고속도로 실험 결과

가을철 고속도로 실험은 거리에 따라 실험을 진행하였다. Table 11의 연비 결과는 외기온도 25도, 공조기는 작동하지 않는 상태에서 실험한 결과이다. 고속도로 실도로에서 하이브리드 차량의 연비

Table 11 Expressway real road driving fuel economy result

| Route        | Fuel economy (km/l) |              |                |
|--------------|---------------------|--------------|----------------|
|              | IC                  | Parallel HEV | Powersplit HEV |
| Expressway 1 | 18.1                | 20.2         | 19.4           |
| Expressway 2 | 18.4                | 20.5         | 19.6           |

Table 12 Engine working time in real road driving

|              | Parallel (%) | Powersplit (%) |
|--------------|--------------|----------------|
| Expressway 1 | 67.4         | 87.9           |
| Expressway 2 | 66.4         | 85.6           |

향상효과는 시가지 실도로보다 악화되었다. 고속도로에서는 정차하는 상황이 없기 때문에 엔진의 작동비율이 늘어났으며 제동시간 또한 시가지 실도로에 비해 적기 때문에 회생제동이 감소하였으며 부족한 발전량을 충족시키기 위해 엔진 작동비율이 늘어났기 때문이다.

병렬형 하이브리드의 경우 엔진점유율이 67%, 동력분기형 하이브리드는 86.8%의 결과를 보였다. 동력분기형 하이브리드는 시가지 실도로에 비해 엔진점유율이 늘어난 결과를 보였으며 이는 동력분기장치 특성으로 인한 결과이다.<sup>3)</sup>

### 3.5 계절별 고속도로 실험 결과

내연기관 차량의 경우 여름철 고속도로 실험에서 에어컨을 구동시키기 위해 엔진동력을 사용하기 때문에 연비가 소폭 하락한 결과를 보였다. 그러나

Table 13 Expressway real road driving fuel economy result (Summer)

| Route        | Fuel economy (km/l) |              |                |
|--------------|---------------------|--------------|----------------|
|              | IC                  | Parallel HEV | Powersplit HEV |
| Expressway 1 | 17.6                | 20.4         | 19.0           |
| Expressway 2 | 17.5                | 20.5         | 19.1           |

Table 14 Expressway real road driving fuel economy result (Winter)

| Route        | Fuel economy (km/l) |              |                |
|--------------|---------------------|--------------|----------------|
|              | IC                  | Parallel HEV | Powersplit HEV |
| Expressway 1 | 17.9                | 20.1         | 19.0           |
| Expressway 2 | 18.0                | 20.3         | 19.1           |

Table 15 Engine working time in real road driving

|              | Parallel (%) | Powersplit (%) |
|--------------|--------------|----------------|
| Expressway 1 | 67.3         | 86.0           |
| Expressway 2 | 67.5         | 86.9           |

하이브리드 차량은 외기온도 및 에어컨, 히터에 의한 연비 영향도는 미미한 결과를 보였으며 엔진 점유율 또한 가을철 고속도로 실험과 유사한 결과를 보였다.

#### 4. 연간평균 연료량 절감 효과 예측

Table 16, 17은 실도로 실험을 기반으로 하여 연간 평균 연료량 절감 효과 예측 결과이다.

외부환경으로 영향으로 인한 연료량 절감을 예측하기 위해 각 실험차량을 여름철 3개월, 가을철 6개월, 겨울철 3개월로 운행을 가정하였다.

Table 16 Fuel economy savings forecast

| Expressway condition        | Drive distance 100 km |             |             |
|-----------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
|                             | Average speed         |             |             |
| City real road condition    | City 1                | City 2      | City 3      |
|                             | 12 km/h               | 21 km/h     | 29 km/h     |
| Internal combustion vehicle | 1765 L                | 1421 L      | 1244 L      |
|                             | ₩2,404,205            | ₩1,936,007  | ₩1,694,969  |
| Parallel hybrid vehicle     | 1149 L (35%)          | 982 L (31%) | 896 L (28%) |
|                             | ₩1,564,940            | ₩1,337,613  | ₩1,220,436  |
| Powersplit hybrid vehicle   | 1078 L (39%)          | 923 L (35%) | 851 L (32%) |
|                             | ₩1,468,768            | ₩1,257,300  | ₩1,158,470  |

Table 17 Fuel economy savings forecast

| Expressway condition        | Drive distance 200 km |              |              |
|-----------------------------|-----------------------|--------------|--------------|
|                             | Average speed         |              |              |
| City real road condition    | City 1                | City 2       | City 3       |
|                             | 12 km/h               | 21 km/h      | 29 km/h      |
| Internal combustion vehicle | 2053 L                | 1709 L       | 1532 L       |
|                             | ₩2,796,364            | ₩2,328,166   | ₩2,087,129   |
| Parallel hybrid vehicle     | 1403 L (32%)          | 1236 L (28%) | 1150 L (25%) |
|                             | ₩1,911,141            | ₩1,683,813   | ₩1,566,637   |
| Powersplit hybrid vehicle   | 1347 L (34%)          | 1192 L (30%) | 1119 L (27%) |
|                             | ₩1,834,358            | ₩1,622,890   | ₩1,524,061   |

Table 16은 운행 조건은 주 5회 40 km 도심 실도로, 주 1회 고속도로 100 km 주행이며 각 시험 차량 별로 연간 연료 사용량 및 연간 연료 가격을 계산하였다. 연료량 가격은 1L당 ₩1,362로 책정하여 계산하였으며, 팔호의 경우 내연기관 대비 병렬형 하이브리드와 동력분기형 하이브리드의 각각 연료량 절감 효과를 표시한 내용이다.

병렬형 하이브리드의 경우 연 평균 28% ~ 35%의 내연기관 대비 연료 절감 효과를 예측할 수 있으며, 동력분기형 하이브리드의 경우 연 평균 32% ~ 39%의 연료 절감효과 예측할 수 있다. 특히, 도심 실도로 평균 속도가 감소함에 따라, 연료 절감효과는 더욱 커지는 것을 볼 수 있으며, 이는 평균속도가 낮은 도심 실도로 구간의 하이브리드 차량의 연비 증가율이 내연기관 대비 높기 때문이다.

Table 17은 주 1회 고속주행을 200 km로 가정후 연료량 절감효과 결과이다. 병렬형 하이브리드의 경우 연 평균 25% ~ 32%의 내연기관 대비 연료 절감 효과를 보이고, 동력분기형 하이브리드의 경우 연 평균 27% ~ 34%의 연료 절감효과를 예측할 수 있다.

고속도로 주행 시 내연기관차량과 하이브리드차량 간의 연비 증가율이 도심 구간 보다 낮기 때문에 고속도로 주행이 증가 할수록 연료 절감 효과는 감소하며 Table 16에 비해 연료량 절감 효과가 줄어든 결과를 보였다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 내연기관 차량과 하이브리드 차량에 대해 다양한 환경과 주행 실도로에서 연비 기여도를 분석하였다.

- 1) 하이브리드 차량은 내연기관 대비 연비 향상이 있었으며 동력분기형 하이브리드는 내연기관 대비 시가지 실도로에서 76.2% ~ 112.5%의 연비 향상이 있었다. 병렬형 하이브리드는 44.5% ~ 85.2%의 연비 향상이 있었다. 고속도로 실도로의 경우 거리별, 외부 환경별 영향은 미미한 결과를 보였다.
- 2) 여름철 시가지 실도로에는 환경적인 요인으로 인해 연비향상도가 떨어졌다. 평균속도가 하락

함에 따라 동력분기형 하이브리드의 연비가 병렬형 하이브리드에 비해 악화되는 경향을 보였다. 동력분기형 하이브리드는 실내를 쾌적하게 하기 위해 큰 에어컨용량을 사용하기 때문이다.

- 3) 겨울철 시가지 실도로 또한 히터 작동으로 인해 하이브리드 차량의 연비가 하락되었으며 실내 히터를 사용하기 위해 엔진의 폐열을 이용함으로써 인한 결과이다.
- 4) 이를 종합하여 1년 운행시 총 연료 절감 효과는 동력분기형 하이브리드가 27%~39%의 효과를 보였으며 병렬형 하이브리드는 25%~35%의 효과를 보였다.

### References

- 1) T. Johnson, "Vehicular Emissions in Review," SAE 2013-01-0538, 2013.
- 2) National Research Council, Transitions to Alternative Vehicles and Fuels, National Academies Press, Washington, p.28, 2013.
- 3) W. S. Yoon, S. T. Cho, W. S. Lim, Y. I. Park and J. M. Lee, "Dynamic Analysis of Toyota Hybrid System," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.1244-1249, 2004.
- 4) I. C. Chung, M. K. Kim, H. H. Kang, J. I. Park and J. H. Lee, "Fuel Economy Analysis of Hybrid Electric Vehicles in On-road Driving Condition," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.20-21, 2015.
- 5) M. K. Kim, I. C. Chung, J. I. Park, J. H. Lee, Y. M. Woo, O. S. Kwon and Y. J. Lee, "Analysis of Fuel Economy of Hybrid Electric Vehicles According to the Heater Operation during the Winter," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.64-65, 2016.