

## 커먼레일 디젤엔진을 이용한 바이오디젤 연료의 연소 및 배출가스 특성

張岳秋\* · 王建昕\*\* · 조행목†

(원고접수일 : 2008년 12월 26일, 원고수정일 : 2009년 2월 27일, 심사완료일 : 2009년 3월 9일)

### Combustion and Emission Characteristics of Biodiesel Fuel in a Common Rail Diesel Engines

Yue-Qiu Zhang\* · Jianxin Wang\*\* · Haeng Muk Cho†

**Abstract :** Engine bench tests has been done on a common-rail diesel engine with bio-diesel fuel to study effects of B100 and B20 on output power, fuel consumption and emissions. Test results show that B100 and B20 could reduce PM, HC, CO emission and smoke, but power decrease, fuel consumption increase and NOx increase obviously. B100 reduce PM and DS with 50%~70% and 80%~85% compared with diesel fuel, while B20 reduce PM and DS with 25%~35% and 30%~40%. NOx of B100 and B20 increase 5% ~20% compare to diesel.

**Key words :** Combustion characteristics(연소특성), Common-rail(커먼레일), Bio-diesel fuel (바이오디젤 연료), Emission characteristics(배기특성), BMEP(평균유효압력), Part throttle characteristics(부하특성), Cottonseed oil(면실유), Diesel fuel(경유).

## 1. 서 론

자동차공업의 급속한 발전은 현대사회에 물질적인 편리와 행복을 가져다 주었지만 자동차에서 배출되는 유해물질은 대기오염에 큰 영향을 미치고 있으며, 그 영향이 계속 증가하고 있다. 또한 석유 연료는 재생할 수 없는 에너지로 자동차공업은 에너지 위기와 날로 엄격한 배출 규제에 도전하고 있다. 그러므로 각국에서는 석유연료를 대체할 수 있는 연구를 지속적으로 진행해 왔다. 그 중 바이오디젤은 최근 여러 나라에서 각광을 받는 대체 에너지로

관심을 받고 있다<sup>[1]</sup>.

바이오디젤(Biodiesel)은 동식물성에 기름에 있는 지방성분을 경유와 비슷한 물성을 갖도록 가공하여 만든 바이오연료로 바이오에탄올과 함께 가장 널리 사용되며, 디젤엔진에 주로 사용되는 경유와 혼합하여 사용하거나 그 자체로 차량 연료로 사용하고 있다. 바이오디젤의 원료는 대두유, 옥수수유, 유채유, 폐식용유 등과 같은 모든 식물성 유지뿐만 아니라 다양한 동물성 유지를 원료로 사용할 수 있다<sup>[2],[3]</sup>.

바이오디젤의 분자량(Carbon chain) 길이는

† 교신저자(공주대학교 기계자동차공학부, E-mail : hmcho@kongju.ac.kr, Tel : 041)521-9287)

\* 공주대학교 대학원 기계공학과

\*\* 中國 清華大 自動車工學科

C<sub>18</sub>, 디젤의 (Carbon chain) 길이는 C<sub>16</sub>~C<sub>23</sub>사이로 나타났다<sup>[4]</sup>. 바이오디젤은 다른 디젤 대체 연료와 비교할 때 일반 디젤의 물리화학적 특성에 더욱 근접한다. 바이오디젤의 산소함량은 약 11% 이므로 일반 디젤경유보다 높다. 바이오디젤은 기본적으로 황을 함유하지 않으며 점화온도가 높고 무독성이며, 우수한 윤활성과 용해성을 가지고 있다<sup>[5][6]</sup>.

기존연구자의 연구결과 바이오디젤은 독립적으로 디젤엔진에 직접 사용할 수 있으며 일정한 비율로 경유와 혼합하여 사용할 수 있다<sup>[7][8]</sup>. 20%의 바이오디젤과 80%의 경유를 혼합한 것을 B20이라고 하고, 순수한 바이오디젤을 B100이라 하였다. 엔진에 구조를 변경 하지 않은 상태에서 B20은 B100보다 대체연료로 적합하다<sup>[9][10]</sup>.

바이오디젤은 산소를 함유하고 있어서 엔진의 매연 배출을 크게 저감시킬 수 있다. 미국 환경보호청(USA EPA)에서 발표한 결과 바이오디젤은 10%정도의 산소를 함유한다. 디젤기관에서 연소 및 배기배출물 특성에 주안을 두어 진행되었으며, 거의 모든 연구에서 HC(Hydrocarbon), CO (Carbon Monoxide), PM(Particulate Matter) 등 대부분의 배기배출물은 감소하는 경향으로 나타나고 있으며NOx(Nitrogen Oxides)는 약간 증가되는 경향을 보이는 것으로 보고하고 있다<sup>[11]</sup>.

바이오디젤은 산소함량의 증가에 따라 DS(Dry Soot)의 배출 감소 폭도 큰 것으로 나타났다. 디젤 엔진에서 산소를 함유 하고 있는 바이오디젤연료의 DS배출량은 PM에 비해 많이 개선 되었음을 알 수 있다<sup>[12][13]</sup>.

본 논문에서는 배출규제에 만족할 수 있는 커먼레일 디젤엔진으로 실험하였으며 그 연료로 일반경유 B0와 바이오디젤유 B100 및 혼합한 연료 B20을 사용하여, 바이오디젤에 대한 PM 배출물과 성능 등을 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 기관은 CUMMINS-ISBe6 커먼레일형 디젤엔진(Common-rail diesel)이고, Fig. 1은 실험 장치를 보여주고 있다. 주요한

구성요소로는 엔진동력계, 배기분석기, 매연측정기 등이다. 배기분석기는 질소산화물(NOx), 탄화수소(THC), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 산소농도를 측정할 수 있다. 배기농도 측정에 있어서 NOx는 CLD(Chemiluminescence Detector)법, THC는 FID(Flame-Ionization Detector)법, CO는 NDIR(Non-Dispersive Infrared Analyzer)법을 각각 채택하고 있다<sup>[14]</sup>. 또한 디젤기관에서 주요 오염물질인 입자상물질(PM)을 측정하기 위한 장비로 AVL회사의 SPC472 미립자분석기를 사용하고 DS (Dry Soot)산출에는 여과지 샘플링 광반사방식을 채택하고 있다.

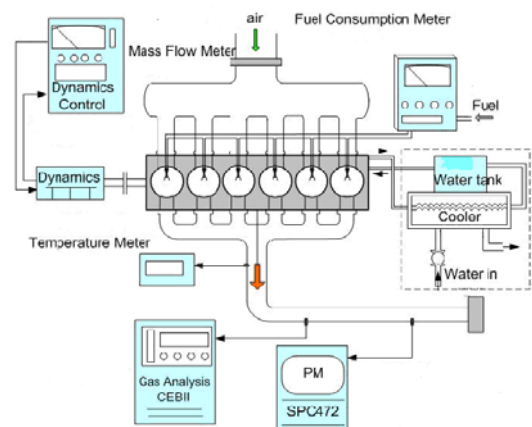


Fig. 1 Schematic diagram of measuring apparatus

### 2.2 실험기관

실험기관은 상용디젤엔진(CUMMINS-ISBe6 커먼레일형)으로서 배출가스오염물질 배출기준을 만족할 수 있으며, 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine Type	DI diesel engine
Injection Type	Common-rail
Number of Cylinder	6
displacement	5900cc
Cylinder Diameter	102mm
Compression Ratio	17.5
Max Power	136/2500 (kw/rpm)

### 2.3 실험연료

실험연료로는 일반경유 100%와 바이오디젤 연료 100% 및 바이오디젤 20%를 혼합한 연료 세 가지 연료를 사용하였다. 기본연료 100%는 일반경유(B0)를 사용하였고 바이오디젤 연료 100%는 순수바이오디젤 연료 B100(면실유)를 사용하였으며, 혼합율 20%인 경우 일반경유 80%와 면실유에서 추출한 바이오디젤유 오일 20%를 체적 기준으로 혼합한 연료(B20)를 사용하였다. 이러한 세 가지 연료의 물성은 Table 2에 나타내었다.

**Table 2 Properties of test fuels**

Item	Diesel fuel	Biodiesel fuel (100%)	Biodiesel fuel (20%)
Oxygen (wt %)	0	10.75	2.25
Calorific Value(MJ/kg)	43	39	42
Cetane index	53.6	56.6	~55
Sulfur content (weight)ppm	160	5	130
Distillation 90% (°C)	319	343	324
Viscosity (40 °C,cst)	3.76	6.38	4.85

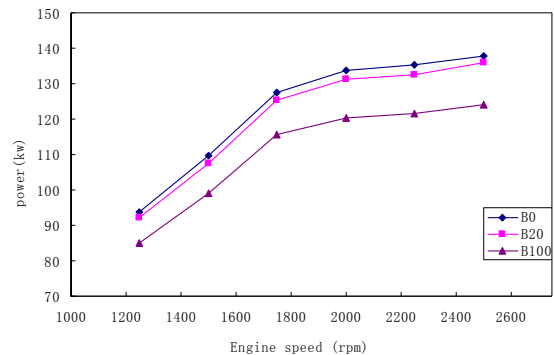
### 2.4 실험방법

Cummins-ISBe6 커먼레일형 디젤엔진의 구조를 변경하지 않은 상태에서 엔진출력, 토크, 연료 소비량의 변화를 측정하였다. 사용연료로는 바이오디젤 20%에 일반경유 80%를 혼합한 연료 B20과 순수바이오디젤 B100 및 일반경유 B0를 사용하였다. 실험은 정속모드로 회전속도를 고정시킨 후에 엔진부하를 가변시키는 방법으로 하였다. 즉 회전속도 1250rpm~2500rpm까지 250rpm단위로 증가시키면서 실험하였으며, 기관부하는 각 회전속도를 조절하여 출력 및 토크를 측정하였다. 그리고 기관회전수를 1500rpm으로 고정시킨 상태에서 부하특성을 조절하여 제동연료소비율과 배출물 및 PM을 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 기관 출력 및 토크

실험한 결과는 Fig. 2에 각각 나타내었다. 출력과 토크는 일반경유B0에 비해서 바이오디젤 B100과 혼합한 연료 B20이 다소 감소하는 결과를 보여주었다. 이는 엔진출력 및 토크의 미소한 변화 폭을 보여 주고 있으며, 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 출력 및 토크가 평균 10%정도 감소하였다. 혼합연료 B20의 경우는 출력 및 토크가 평균 2%정도 감소되었으며, 이러한 원인은 바이오디젤 B100 중에는 산소 함유량이 일반경유보다 11%정도 증가되었기 때문으로 분석된다.



**Fig. 2 Characteristics of Power**

기관출력 및 토크의 저감요인은 점성이나 세탄가가 높지만 열량(Calorific Value)이 일반경유 B0보다 작아서 출력 및 토크가 감소하는 현상이 나타났다.

### 3.2 제동연료소비율 (BSFC)

실험결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이, 일반경유 B0에 비해서 바이오디젤 B100과 혼합연료 B20의 경우가 제동연료소비율이 상승하는 결과를 보여주었다. 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 제동연료소비율이 약 13%~17% 정도 증가되었다. 혼합연료 B20의 경우는 제동연료소비율이 약 2.5%~3.7%정도 증가되었다.

이러한 원인은 기관이 동일한 출력을 발생시키기 위해서는 동일한 연소 온도와 압력이 필요한데 일반경유 B0에 비해서 바이오디젤 B100은 발열량이 약 8.4%정도 작고 바이오디젤 B100 첨가로 인해 연소실 온도와 압력의 저하가 발생하므로 온도와 압력을 일정하게 계속 유지하기 위해서는 더 많은 연료가 소비되기 때문이다.

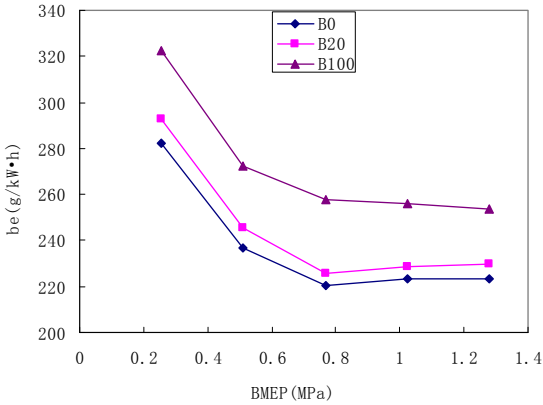


Fig. 3 Characteristics of BSFC vs. BMEP

### 3.3 DS 및 PM

DS 특성은 실험한 결과는 Fig.4에 나타내었다. 일반경유 B0에 비해서 바이오디젤 B100과 혼합한 연료 B20의 DS가 감소하는 결과를 보여주었다. 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 DS가 약 80%~85%정도 감소되었다. 혼합연료 B20의 경우는 DS가 약 30%~40%정도 감소되었다<sup>[15]</sup>.

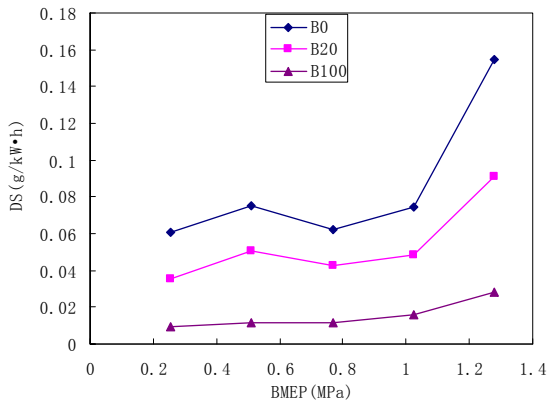


Fig. 4 Characteristics of DS Emission

이러한 원인은 연소실 내에서 국부적으로 산소가 모자란 상태에서 바이오디젤 B100은 산소를 함유하고 있기 때문에 DS가 생성되는 것을 억제했기 때문으로 추정할 수 있다.

### 3.4 NOx (질소산화물)

실험결과 Fig. 5에 나타내었으며, 일반경유 B0에 비해서 바이오디젤 B100과 혼합한 연료 B20의 NOx가 증가하는 결과를 보여주었다. 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 NOx가 약 5%~20%정도를 증가되었다. 혼합연료 B20의 경우는 NOx가 약 6%~21%정도 증가되었다. 저·중부하에서 일반경유 B0의 것보다 약간 증가되었고, 고부하영역에서는 큰 폭으로 NOx가 증감되고 있음을 알 수 있다. 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 산소함유량이 약 11%정도 증가되었고, 혼합한 연료 B20의 경우는 산소함유량이 약 2%정도 증가하였다. 그러나 바이오디젤 B100과 일반경유 B0 사이의 혼합량은 NOx의 증가와는 상관이 없음을 알 수 있었다.

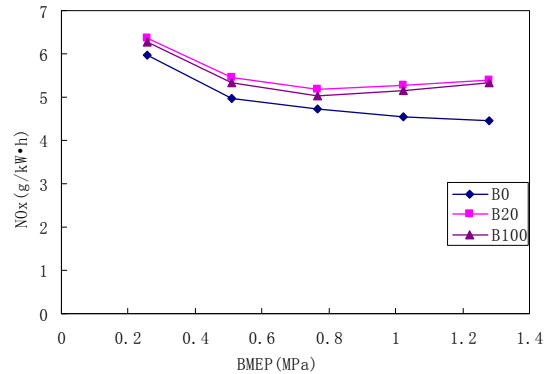


Fig. 5 Characteristics of NOx Emission

이러한 원인은 바이오디젤의 산소함유량이 높기 때문에 착화 지연이 길어져 착화 직후의 열발생량이 증가하여 연료 중의 산소함량과 함께 NOx 발생량이 증가함을 알 수 있으며, 그 이유는 연소온도가 상승하면서 NOx가 증가한 것으로 생각된다<sup>[16][17]</sup>.

### 3.5 CO (일산화탄소)

실험결과 Fig. 6에 나타내었으며, 일반경유 B0

에 비해서 바이오디젤 B100과 혼합연료 B20의 경우 CO가 감소하는 결과가 나타났다. 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 CO가 약 15%~55%정도 감소되었으며, 혼합연료 B20의 경우는 CO가 약 5%~23%정도 감소되었다.

이러한 원인은 온도가 충분히 높지 않아 산화반응이 완전히 일어나지 않거나 또는 분무의 중심과 실린더벽 근처에서 국부적으로 산소와 연료의 혼합상태가 양호하지 않기 때문에 생긴다. 그리고 바이오디젤 B100은 일반경유보다 산소함유량이 약 11%정도 많으므로, 연료중의 산소가 연소를 촉진하고 국부적으로 공연비도 향상되었다. 바이오디젤 B100의 CO는 감소되었다.

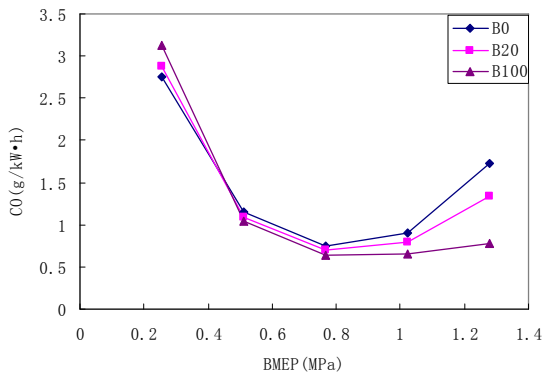


Fig. 6 Characteristics of CO Emission

### 3.6 HC (탄화수소)

실험결과 Fig. 7에 나타내었으며, 일반경유 B0에 비해서 바이오디젤 B100과 혼합연료 B20의

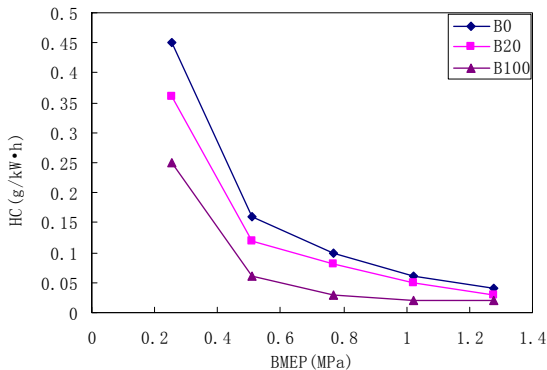


Fig. 7 Characteristics of HC Emission

HC가 감소하는 결과를 보여주었다. 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 HC가 약 45%~70%정도 감소되었으며, 혼합연료 B20의 경우는 HC가 약 15%~25%정도 감소되었다. 이러한 원인은 HC의 미연소된 배출가스가 냉각된 실린더 벽면 근처에서 화염을 형성할 때 좁은 소염영역을 생성하지만 CO는 부분적으로 연소된 연료이기 때문에 이와 같은 차이가 발생된다고 생각한다.

### 3.7 CO<sub>2</sub> (이산화탄소)

실험결과 Fig. 8에 나타내었다. 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우 CO<sub>2</sub>가 평균 2.1% 정도 감소되었으며, 혼합연료 B20의 경우는 CO<sub>2</sub>가 평균 1.8% 정도 감소되었다. B0와 B20 및 B100의 차이는 거의 없음을 알 수 있었다.

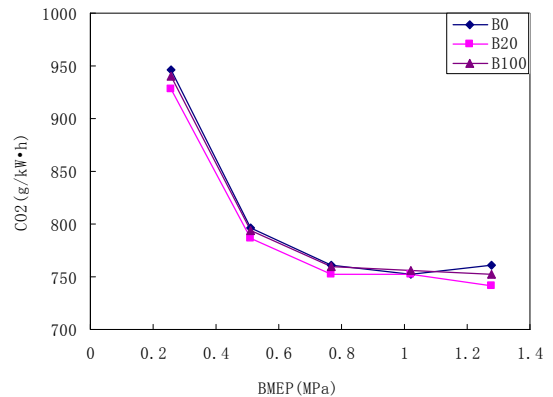


Fig. 8 Characteristics of CO<sub>2</sub> Emission

## 4. 결 론

바이오디젤(면실유) 및 혼합한 연료와 일반 디젤연료를 커먼레일 디젤엔진에 적용하여 연소 및 배기특성에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 출력 및 토크는 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우 평균 10% 정도 감소되었으며, 혼합한 연료 B20의 평균 2% 정도 감소되었다.
- 2) 제동연료소비율(BSFC)은 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우가 약 13%~17% 정도 증가되었으며, 혼합연료 B20인 경우는 약

2.5%~3.7% 정도 증가되었다.

3) 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 경우 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우는 약 5%~20% 정도 증가되었으며, 혼합한연료 B20의 경우는 약 6%~21% 정도 증가되었다.

4) 일산화탄소(CO)는 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우가 약 15%~55% 정도 감소되었으며, 혼합한연료 B20의 경우는 약 5%~23% 정도 감소되었다.

5) 탄화수소(HC)의 경우 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우가 약 45%~70% 정도 감소되었으며, 혼합연료 B20의 경우 HC가 약 15%~25% 정도 감소되었다.

6) 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우가 평균 2.1%정도 감소되었으며, 혼합한 연료 B20의 경우는 평균 1.8% 정도 감소되었다.

## 참고문헌

- [1] John Sheehan, Vince Camobreco, "An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles[c]", National renewable energy laboratory, pp. 5~8, 1998.
- [2] 이명재, "디젤차량 대체연료로서의 바이오디젤의 현황", 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 연료, pp. 16~33, 2006. 10.
- [3] David Y. Chang and Jon Van Gerpen, "Determination of particulate and unburned hydrocarbon emissions from diesel engines fueled with bio-diesel," SAE Paper NO. 982527, 1998.
- [4] 劉崢, 王建昕, 汽車發動機原理, 清華大學出版社(北京), 2001.
- [5] Jason Munson, Barry Hertz, Ajay Dalai and Martin J. Reaney, "Lubricity survey of low-level bio diesel fuel additives using the 'munson roles' bench tests", SAE Paper NO. 1999-01-3590, 1999.
- [6] Directorate General for Research, European Commission. Bio-fuels Research Advisory Council, 2006.
- [7] AK. Babu, and G. Devaradjane, "Vegetable oils and their derivatives as fuels for CI engines an overview", SAE Paper.NO.2003-01-0767, 2003.
- [8] C. D. Rakopoulos, K. A. Antonopoulos, D. C. Rakopoulos, "Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various", Energy Converse Manage, pp. 3272~3287, 2006.
- [9] 葛蘊珊, 陸曉明, 吳思進, 韓秀坤, 高力平, "車用增壓柴油機燃用不同摻混生物柴油的實驗研究", 汽車工程, Vol.27, NO.3, 2005.
- [10] 박만재, "대형디젤기관에서 바이오디젤과 초저유황경유 사용에 의한 성능 및 배출가스에 미치는 영향에 관한 연구", 한국공작기계학회 Vol. 12, NO. 6, pp. 97~103, 2003.12.
- [11] EPA, United States, "A comprehensive analysis of bio diesel impacts on exhaust emissions", EPA-Draft Technical Report, EPA420-P-02-001, October, 2002.
- [12] Ali Mohammadi, Takuji Ishiyama, and Hiroshi Kawanabe, "An optimal usage of recent combustion control technologies for DI diesel engine operating on ethanol blended fuels [C]", SAE Paper NO. 2004-01-1866, 2004.
- [13] M. A. Ahmed, C. E. Ejim, B. A. Fleck, and A. Amirfazli, "Effect of bio-diesel fuel properties and its blends on atomization", SAE Paper No. 2006-01-0893, 2006.
- [14] 최병철, "배기후처리공학", 도서출판바로, pp. 219~254, 2001.

- [15] Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, "Biodiesel Handling and Guidelines", 2006.
- [16] Aaron Williams, Robert L. McCormick, R. Robert Hayes and John Ireland, "Effect of biodiesel blends on diesel particulate filter performance", National Renewable Energy Laboratory, 2006.
- [17] 박만재, "대형디젤기관에서 바이오디젤 열화와 엔진부하에 따른 배출가스특성 및 성능에 관한 연구", 한국공작기계학회, Vol.16, No.3, 2007.6.
- [18] 임재근, 최순열, 조상근, "디젤기관에서 바이오디젤 연료가 배기배출물 특성에 미치는 영향", 한국마린엔지니어링학회 제32권, 제1호, pp.27~32, 2008.1

## 저 자 소 개



### 張岳秋

1981년생, 2007년 강원대학교 기계공학과 졸업, 현재 2009년 공주대학교 대학원 기계공학과 석사과정



### 王建昕

1976년 산동공업대학교내연기관정공 학사 졸업, 1981년 산동공업대학교 내연기관정공, 석사학위졸업, 1995년 일본北海道 대학 내연기관정공, 공학박사, 현재 清華大學 자동차공학과 教授



### 조행묵(趙珩默)

1982 영남대학교 기계공학과 공학사, 1990 연세대학교 대학원 자동차공학전공 공학석사, 1997 한양대학교 대학원 열공학 전공 공학박사, 소속 : 공주대학교 공과대학 기계자동차공학부(자동차공학 전공)