

정찰 소형무인기용 20cc급 왕복엔진 개조 개발

20cc-Class Reciprocating Engine Development for a Small Reconnaissance UAVs

장 성 호* 구 삼 옥* 신 영 기** 김 성 남***
 Chang, Sung-Ho Koo, Sam-Ok Shin, Young-Gi Kim, Sung-Nam

강 유 원**** 윤 여 일**** 김 진 수****
 Kang, Yoo-Won Yun, Yeu-Il Kim, Jin-Soo

ABSTRACT

Due to small and light mission payloads, subsystems and propulsion system, small sized UAVs come to be available for reconnaissance that have been performed by aircraft and huge UAVs. The objective of this study is to develop an efficient propulsion system for small reconnaissance UAVs. A glow engine was modified for an efficient and robust 4-stroke gasoline engine with carburetor, new electronic control unit and lubrication system. Engine modification technique and small engine performance test stand are capable of economical method for military UAVs.

주요기술용어(주제어) : UAV(무인기), Reconnaissance(정찰), Glow Engine(글로우 엔진), Gasoline Engine(가솔린 엔진), Dynamometer(동력계), Engine Modification(엔진 개조)

1. 머리말

전자, 통신 및 관련 컴퓨터 분야의 비약적인 발전에 힘입어 다양한 분야에서 제품의 소형화, 고성능화가 이루어지고 있으며 무인기 분야 역시 그 혜택을 누리게 되었다. 무인기는 주로 군사적 용도로 활용되어 왔으나 1990년대에 등장한 에어로존데(Aerosonde)

[표 1] 대표적인 소형 무인기

기 종	동력 (kW)	중량 (kg)	속도 (kph)	체공 시간
EMT LUNA 2000	5	30	160	4
BTA Mini Sheddon	4.03	27	130	2.5
AWC Mk I	5.74	30	175	2
INTA ALO	4.85	20	200	2
NPS Remez-3	1.85	10	105	2
Tasuma CSV-20	1.72	20	140	2
Aerosonde Mk I	0.75	13.4	104	32
Seascan	0.97	15.4	126	15
Silver Fox	1.2	10	100	10
Pointer	0.3	4.35	80	1
BAI AEROS	0.06	3.27	48	0.6
BAI Javelin	0.37	7.71	105	2

† 2004년 10월 21일 접수~2004년 12월 23일 게재승인

* 한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)

** 세종대학교(Sejong Univ.)

*** 성우엔지니어링(SungWoo Eng.)

**** 두양시스템스(Dooyangsystem)

주저자 이메일 : shchang@kari.re.kr

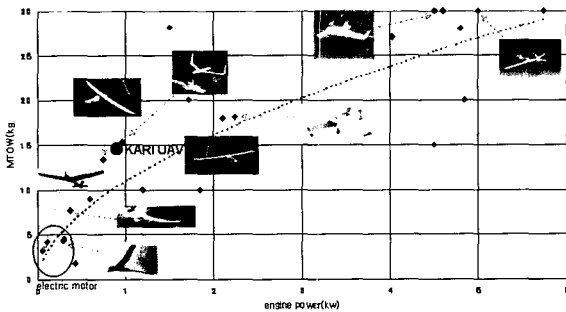
무인기가 상업용 마이크로프로세서와 저가형 센서들을 조합하여 기상관측 임무에 적용되어 비군사용 소형 저가형 무인기의 가능성을 열었으며, 여러 국가 및 기관에서 소형 및 초소형 센서와 탑재장비를 활용한 다양한 형태의 무인기가 개발되고 있다. 표 1은 추진 동력이 5kW 이하인 소형 무인기의 예를 나타낸다.

군사용의 전술형 무인기를 운용 부대의 규모로 분류해보면 대대급, 연대급, 사단급 및 군단급 등으로 나눌 수 있는데 대대급 무인기의 경우 병사가 휴대하기 용이하고 손으로 투척 이륙할 수 있는 크기와 중량으로써 배터리를 동력원으로 활용할 수 있는 최대 이륙중량(MTOW ; Maximum Take-Off Weight) 5 kg 내외인 소형 무인기이다(그림 1, 2). 외국의 제품으로는 AeroVironment사의 Pointer(표 1 참조) 등이 있으며 국내에서도 같은 급의 소형무인기가 개발되고 있다. 이러한 소형무인기는 최근의 Li-Po 전지를 활용할 경우 약 3~4시간 정도의 체공이 가능한 반면 임무장비의 중량과 선택에 제약을 받게 된다. 연

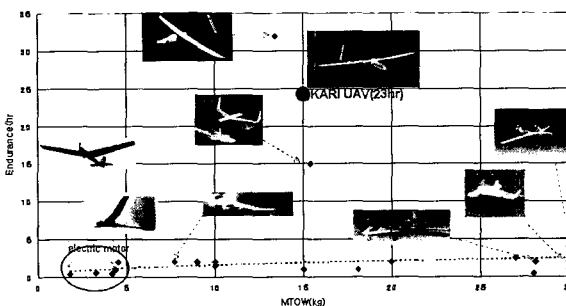
대급 전술정찰용 무인기의 경우는 대대급에 비하여 보다 높은 체공시간과 고성능의 임무장비가(주/야간 감시 카메라) 요구되기 때문에 이륙중량이 10~20 kg급 이상으로 올라가게 된다(그림 1 참조). 이러한 무인기의 추진기관으로는 화석연료를 사용하는 내연기관이 중량당 출력이나 탑재 연료의 중량 면에서 전통형 추진기관보다 경쟁력 있다.

한국항공우주연구원에서는 소형 장기체공형 무인기 연구^[1~4]를 통하여 임무장비 중량 4kg, 가솔린 연료 5kg으로 약 24시간을 체공할 수 있는 소형무인기의 가능성을 확인하였으며, 이러한 급의 무인기에 장착할 신뢰성 있는 동력장치를 경제적으로 조달할 수 있는 방안으로 모형항공기용 4행정 글로우 엔진을 모체로 삼고 이를 가솔린 엔진으로 개조할 경우 충분한 활용 가능성이 있다는 사실을 파악하였다^[5,6].

본 논문에서는 군사용 정찰 임무에 활용될 수 있는 소형 무인기 기종에 적합한 동력장치를 개발하기 위하여 모형항공기용 글로우 엔진을 개조한 가솔린 엔진의 개조 개발에 대한 기술적 연구내용을 제시하고자 한다.



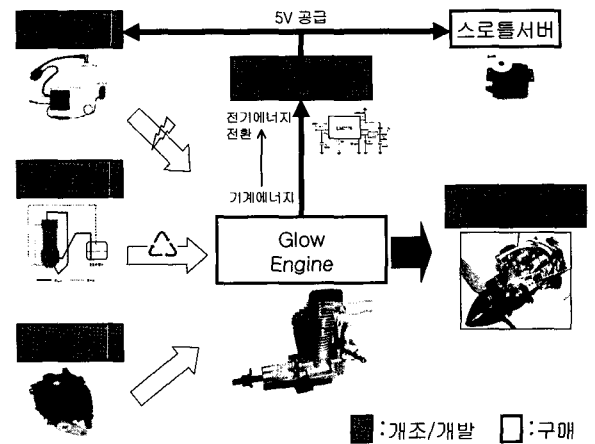
[그림 1] 추진 동력-최대이륙중량 관계



[그림 2] 최대이륙중량-체공시간 관계

2. 엔진개조

글로우 엔진은 글로우 플러그(glow plug)의 hot spot에 의해 점화되는 방식으로서 별도의 점화시기



[그림 3] 엔진개조 개념도

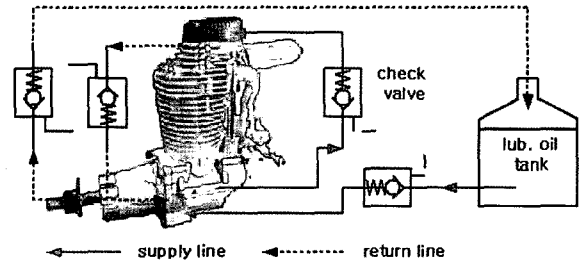
제어장치가 없기 때문에 엔진 제어구조가 간단하나 이러한 연소가 가능하도록 알코올 성분의 글로우 연료를 사용하여야 한다. 연비가 낮고 고가의 비용부담이 있는 글로우 연료를 가솔린 엔진으로 개조하기 위하여 그림 3과 같이 모형항공기용 글로우 엔진에 기화기를 변경하고 점화시스템을 추가하였으며 연료와 윤활계통의 분리가 요구되어 윤활계통을 별도로 구성하였다.



[그림 4] 엔진기화기 개조

가. 대상 엔진

개조 대상 엔진의 모체는 일본 ENYA사의 R155 제품으로서 형상은 그림 3, 제원은 표 2와 같다. 이 엔진은 4행정이면서 엔진의 밸브 타이밍 기어를 조정함으로써 역회전이 가능하여 추진식(Pusher Type)의 무인기에 적용이 용이하다.



[그림 5] 가솔린엔진의 윤활계통

[표 2] ENYA R155 엔진 제원

항 목	실 측
배기량(cc)	25.4
bore(mm)	33.8
stroke(mm)	28.3
최대흡기밸브직경(mm)	14.3
최대배기밸브직경(mm)	12.0
최대흡기밸브양정(mm)	4.0
최대배기밸브양정(mm)	3.3

나. 윤활계통

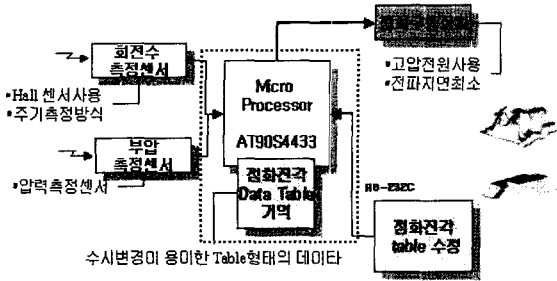
글로우 연료를 사용하는 엔진은 연료내의 합성윤활유를 통해 윤활이 이루어지고 배기가스로 배출되어 연료의 소모가 많게 된다. 엔진의 크랭크실과 점화밸브 등의 마모를 줄이기 위하여 연료와 별도로 윤활유계통을 분리해 엔진을 개조하였다. 그림 5는 윤활계통을 나타낸다. 그림 5에서 실선으로 구분된 공급선은 피스톤의 왕복운동으로 발생하는 크랭크 케이스 내 맥동현상을 이용하여 윤활유를 크랭크 케이스 내부로 공급하고 다시 압력차를 이용하여 실린더 헤드의 밸브실로 윤활유를 공급하게 된다. 실린더 헤드를 거친 윤활유는 엔진을 따라 각 부품으로 전달된 뒤 윤활유 통(tank)으로 재활용되도록 일정방향의 공급과 배출의 순환계가 된다. 체크밸브(check valve)를 이용하여 윤활유의 역 흐름을 방지하였다.

나. 기화기

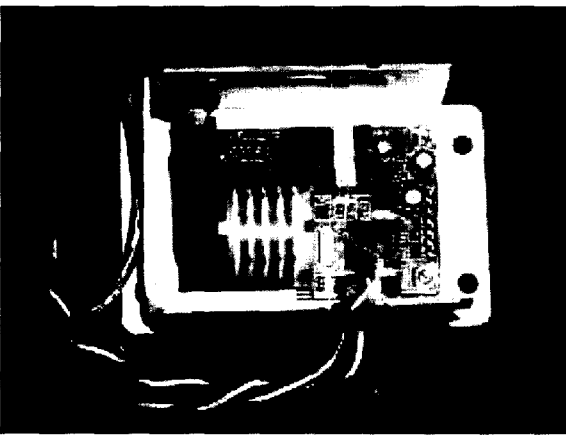
글로우 엔진에 가솔린을 연료로 사용하기 위하여 모형항공기용 엔진에 장착이 가능한 소형의 가솔린용 기화기 중 조달이 가능한 Walbro사의 23cc급 2행정 엔진의 기화기를 이용하여 그림 4와 같이 엔진을 개조하였다. 이 기화기는 크랭크실 내의 압력차를 이용하여 연료와 공기를 빨아들여 혼합기 상태의 연료를 실린더내부로 공급하게 된다. 단점이 있다면 엔진 기화기 외부의 공기 유동에 따라 약간씩 공연비가 변한다는 문제가 있으나 엔진출력에는 크게 영향을 주지 않는다.

다. 점화장치

엔진의 최적점화시기를 설정하기 위해서는 엔진성능 시험의 결과를 토대로 흡기압과 회전속도의 함수로 점화각각 시기를 최적 제어할 수 있도록 프로그램을 만들고 장치를 구성해야 하지만, 상용품으로 만들어져 모형항공기용으로 판매되는 점화장치는 간단한 기계식 진각장치로 엔진의 회전속도 정보만을 이용하



[그림 6] 전자점화장치 구성도

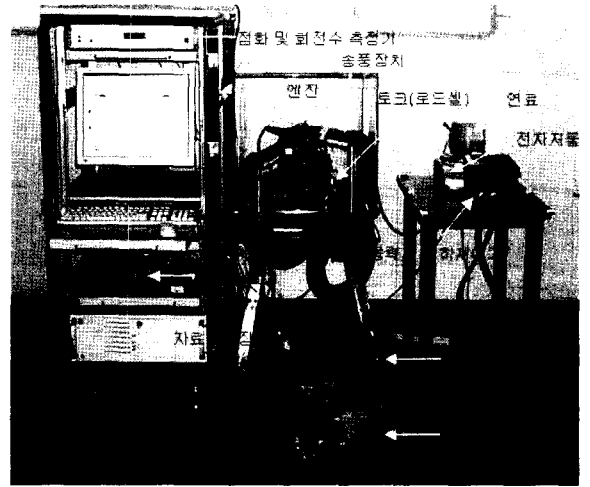


[그림 7] 소형전자점화장치

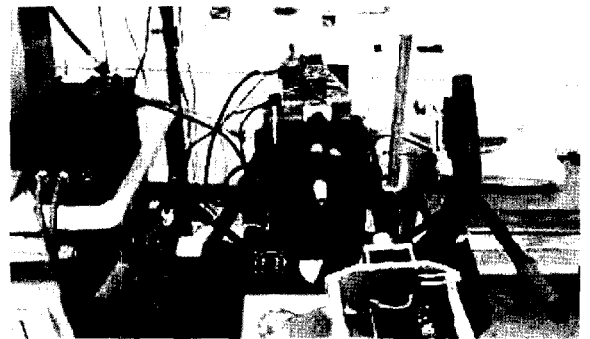
여 점화를 일으키기 때문에 엔진에 따라 변하는 최적의 점화가 제대로 이루어지지 않는다. 따라서 그림 6와 같이 Hall센서를 통해 측정된 엔진회전수와 흡기압 정보를 토대로 작성된 해당 엔진의 점화진각 data table을 기억하고 수정할 수 있도록 마이크로프로세서를 이용하여 최적의 점화시기에 엔진점화가 이루어지는 전자점화장치를 제작하였다(그림 7).

3. 소형엔진 성능시험장치

모형항공기용으로 사용되는 글로우 엔진을 하드웨어 개조를 통하여 자동차용 가솔린 연료를 사용하는 엔진으로 개조 후 엔진성능의 검토를 위해서는 표준화된 성능시험 장치를 구축하고 표준적인 측정방법이 정립되어야 하므로 엔진성능 확인에 요구되는 항목을 결정하고 측정할 수 있는 표준성능시험장치를 구성하



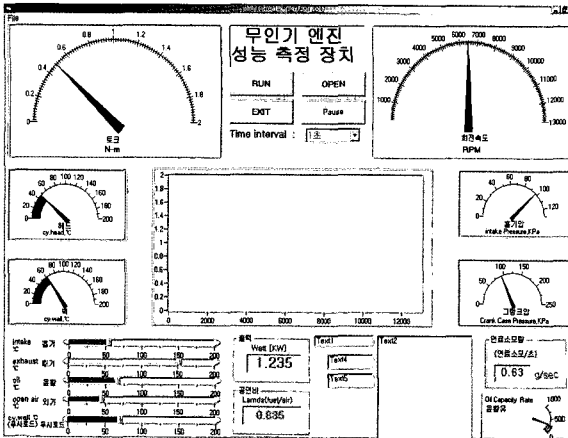
[그림 8] 소형엔진 성능시험장치



[그림 9] 엔진 동력계(Dynamometer)

였다. 성능 측정을 위한 핵심장치는 엔진동력계(dynamometer)이며 미국 Land-and-Sea사의 공랭식 eddy current 방식 5마력급 동력계를 사용하였다. 그림 8과 그림 9는 각각 소형엔진 성능시험장치와 동력계의 모습을 나타낸다.

공연비의 측정은 엔진 연료공급량 적정성 판별을 위하여 매우 중요하다. 공연비 측정은 배기가스 내 잔존 산소량의 분압과 대기중의 산소 분압을 비교하여 공연비로 환산하는 것으로 독일 ETAS사의 AWS2 앰프와 공연비 센서를 이용하여 측정하였다. 공연비 센서는 자동차 엔진용이기 때문에 시험 엔진에 비해 커서 엔진 배기 파이프와 공연비 센서 장착 부위를 일체형으로 용접한 후 엔진과 함께 진동하도록 구성하였다. 흡기관 및 크랭크 케이스 내 압력을



[그림 10] 데이터 측정 프로그램

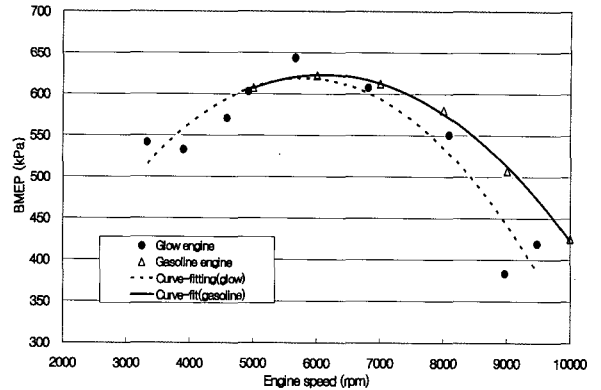
측정하기 위한 압력센서는 액체용으로 엔진 진동으로 인한 오일이 접촉하는 경우를 대비하였다.

공랭식엔진의 특성상 실린더 벽 온도가 냉각판 주변의 기류상태 및 엔진 부하에 따라 수시로 변하기 때문에 실린더 블록 및 헤드에 위치한 냉각판의 온도를 모니터링 할 필요가 있어 K-type 열전대를 냉각판에 알루미늄 에폭시(epoxy)로 고정하였고 원심식 고속 팬을 장착하여 인위적으로 엔진을 냉각하였다.

센서로부터 발생하는 각종 아날로그 신호는 Yokogawa사의 DA100 범용 데이터로거를 사용하여 취득하고 시리얼포트를 통하여 PC에서 데이터 처리를 하였다. 그 외 연료소모를 측정을 위해 전자저울을 사용하고 토크 측정에는 로드셀을 이용하였으며 센서 및 장비와의 인터페이스는 시리얼 멀티포트를 사용하여 측정값을 실시간으로 표시하고 저장하도록 구성하였다. 그림 10은 데이터 측정 프로그램의 메인 화면이다.

4. 가솔린엔진 성능시험결과

그림 11은 글로우 엔진과 가솔린 개조엔진에 대하여 측정된 제동평균유효압력(BMEP : Brake Mean Effective Pressure)을 엔진속도에 대하여 도시한 것이다. 여기서 bmep는 식 (1)과 같이 정의되며 배기량이나 제원이 다른 엔진간의 성능비교를 위하여 정규



[그림 11] 제동평균유효압력(BMEP)

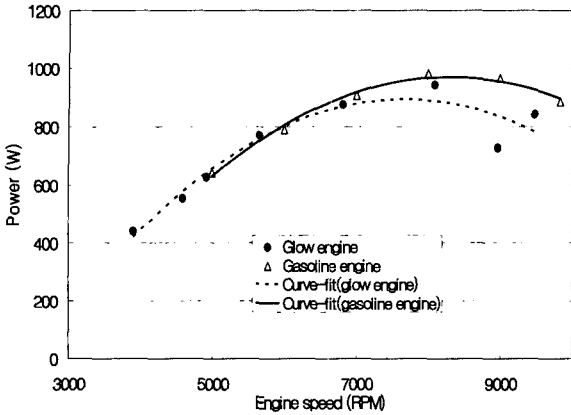
화된 성능변수로서 엔진 한 사이클당 피스톤에 가해지는 평균 제동압력이다.

$$BMEP = \frac{\text{torque}}{2 \times \text{displacement volume}} \quad (1)$$

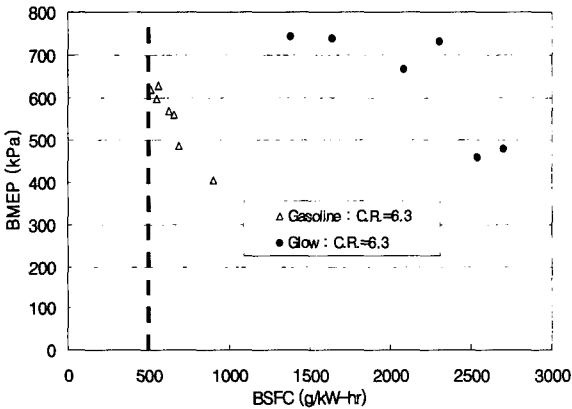
전 부하(full load) 성능의 측정결과 글로우/가솔린 엔진 모두 주요 비행속도 구간인 5,000~7,000rpm 범위에서 대략 600~650kPa의 BMEP를 보여주었으며 이는 자동차 엔진의 850~1,050kPa의 BEMP와 비교할 때 낮은 수준임을 알 수 있다. 대상엔진의 압축비가 6.3:1로써 자동차 엔진의 10:1에 비하여 낮으며 모형항공기용 소형엔진은 일종의 소모품 개념으로 저가의 단순구조로 제작되어 있고, 특히 마찰손실을 줄이기 위하여 피스톤에 장착된 압축링도 2개가 아닌 한 개로 줄이고 오일링도 없는, 크기가 작다는 구조적인 문제에 영향을 받음을 알 수 있다.

출력성능으로 환산한 결과 그림 12와 같이 글로우 엔진과 가솔린 엔진은 7,000rpm 이하에서는 연료에 관계없이 유사한 출력 성능을 나타내고 있다. 이는 엔진의 주요 비행속도 영역에서 성능의 저하 없이 연비를 높일 수 있는 가솔린 엔진으로의 개조가 성공적으로 이루어 졌음을 시사한다.

글로우 엔진에 사용되는 글로우 연료는 일반적으로 30% 이하의 니트로메탄 (CH_3NO_2 ; 저위발열량 =10,920kJ/kg)과 70% 정도의 메탄올(CH_3OH ; 저위발열량=20,050kJ/kg) 그리고 합성윤활유로 구성되



[그림 12] 엔진출력성능



[그림 13] 제동연료소모율(BSFC)

어 있다. 이 두 연료성분의 저위발열량은 각각 가솔린 저위발열량(43,000kJ/kg)의 1/4 및 1/2에 해당하므로 동일 엔진출력을 내기 위해서는 가솔린에 비해 적어도 2배 이상의 연료무게가 소모됨을 알 수 있다. 더욱이 글로우 엔진은 별도의 유회계통이 존재하지 않아 유회유가 혼합된 연료를 사용하고 엔진 연소실 냉각을 위해 잉여의 연료가 주입되게 된다. 이러한 글로우 엔진이 정상운전하는 상태에서 공연비를 측정 한 결과 공기과잉을 $\lambda=0.75$ 이하의 과농한 혼합기상태로 공급됨이 나타났다^[7]. 여기서, 공기과잉을 λ 는 현재의 공연비를 이론공연비로 나눈 값이고 $\lambda=1$ 이 적정 기준값이 된다. 공기과잉율이 1보다 작다는 것은 잉여의 연료가 연소에 참여하지 못한 채 배기되

로 연료소모율이 증가하게 된다. 연료소모율 저감을 위해서는 엔진은 적어도 이론공연비 또는 그보다 희박한 공연비에서 운전될 필요가 있다.

그림 13은 글로우 엔진과 가솔린 엔진의 제동연료소모율(BSFC : Brake Specific Fuel Consumption)의 비교를 보여주며 여기서 bsfc는 단위 발생 제동동력당 한 시간에 소모되는 연료량을 의미한다. 가솔린 엔진의 경우 BMEP가 600~650kPa의 주요 비행속도 영역에서 500g/kW-hr에 근접한 값으로 글로우엔진에 비하여 크게 향상된 연비를 나타낸다.

5. 맺음말

모형항공기용으로 대량 생산되어 저렴하게 운용할 수 있는 글로우엔진을 가솔린엔진으로 개조하기 위하여 기화기를 변경하고 유회시스템을 추가하였으며 소형엔진용 전자점화장치를 개발하여 시험함으로써 실용성 있는 엔진을 개조 개발할 수 있는 제반기술을 확보하였다. 개조된 소형엔진의 무게는 글로우엔진 본체 무게에서 300g 증가한 1,100g이며, 무게증가의 주요 인자는 가솔린엔진용 기화기 교체와 전자점화장치 추가로 개조에 따른 부피의 증가는 있으나 엔진을 고정하는 마운트를 글로우 엔진과 동일하게 사용하기 때문에 이륙중량에 미치는 무게 및 부피의 영향은 미미하다. 소형엔진의 표준성능을 측정하여 비교할 수 있도록 성능시험장치를 제작하여 글로우엔진과 가솔린엔진에 대하여 성능시험을 한 후 출력성능과 연료소모율에 대한 데이터를 비교 검토하였다. 출력성능에서 가솔린엔진으로 개조 후 출력저하는 발생하지 않았으며 연료소모율의 개선으로 프로펠러를 장착하여 운전할 경우 시간당 450g 이하의 연료를 소모하는 것으로 측정되었다^[8]. 같은 양의 글로우 연료를 사용하면 10여분 정도의 운전이 가능한 점과 비교할 수 있다.

구입과 사용이 쉬운 일반 가솔린 연료를 사용하고 최소한의 하드웨어 개조를 통하여 개발한 가솔린엔진을 정찰용 소형무인기에 적용할 경우 체공시간을 획기적으로 증가시킬 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 제시된 15kg급 내외의 소형 무인기에 적용 가능한

신뢰성 있는 동력장치 개조 개발 기술과 소형엔진 성능시험장치 등은 군사용으로 필요시 유사한 급의 엔진을 비교적 적은 비용으로 조달할 수 있는 원천이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 염찬홍 외, “무인항공기 기반기술 연구,” 한국항공우주연구소 연구보고서 UCO99010, 한국항공우주연구소, 2000.5.
- [2] 구삼옥 외, “장기체공형 무인기 핵심기술 연구,” 한국항공우주연구소 연구보고서 UCE00220, 한국항공우주연구소, 2000.12.
- [3] 구삼옥 외, “장기체공형 무인기 핵심기술 연구 (II),” 한국항공우주연구원 연구보고서 UCE01231, 한국항공우주연구원, 2001.12.
- [4] 김재무 외, “무인기 성능향상 핵심기술 연구,” 한국항공우주연구원 연구보고서 UCE02110, 한국항공우주연구원, 2002.12.
- [5] 구삼옥 외, “모형엔진을 활용한 소형무인기용 4행정 가솔린 엔진 개발,” 한국항공우주연구원 연구보고서 UCN01290, 한국항공우주연구원, 2002.9.
- [6] 장성호 외, “연료에 따른 소형무인기용 25cc 왕복엔진 성능비교,” 한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집, 2002.11.
- [7] 신영기 외, “무인기용 소형 4행정 점화기관 성능 시뮬레이션,” 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 2002.4.
- [8] 장성호 외, “정찰 소형무인기용 20cc급 왕복엔진 내구성능시험,” 한국군사과학기술학회 2004년 종합학술대회 논문집, 2004.8.