

소형무인기용 왕복엔진 성능시험장치 구성

장성호*

Reciprocating Engine Test Stand Build-up for Small UAV

Sung-Ho Chang*

Abstract

Small sized engine test stand has been built up and modified to measure the engine performance for 15g class small UAV propulsion systems. An engine performance standard test stand was developed in order to validate the prediction performance and to shoot troubles. The performance data were measured and analyzed for the newly developed gasoline engine.

초 록

15 kg급 소형무인기의 동력장치 개발을 위한 연구로서 엔진 개조에 따른 성능변화를 측정하기 위하여 소형엔진 성능시험대를 제작 및 개량하였고, 추가적인 성능 개량을 위한 향후계획을 도출하였다. 표준적인 엔진시험방법을 통해 엔진의 성능을 평가하여 문제점을 찾아내고 개선하여 목표한 장기체공형 무인기 엔진 개발을 완수할 수 있도록 엔진성능 표준시험장치를 구성하였다. 엔진성능 표준시험장치를 이용하여 가솔린 연료를 사용하는 개조된 엔진의 성능을 측정하고 이의 과정 및 엔진성능과 관련한 문제점들을 제시하였다.

키워드 : 무인기(UAV), 4행정엔진(4-stroke engine), 동력계(dynamometer), 성능시험장치(test-stand)

1. 서 론

15 kg급의 실용화가 가능한 성능을 갖는 소형 무인기의 개발을 목표로 제작된 시제품은 장시간 제공할 수 있어야 한다[1]. 따라서 대상 무인기용 엔진은 단위 중량당 출력 및 고연비가 가장 중요한 성능지표이다[2]. 그러나 소형 엔진들의 경우 구성 부품이 일반 자동차용에 비해 단순화되어

있고 내구성능이 열악한 관계로 정확한 성능 및 연비 예측이 용이하지 않다[3]. 이러한 소형무인기의 추진장치의 성능측정을 위한 시험장치 개발과 구성에 관한 연구로 엔진의 기본적인 성능 시험을 수행하고 검토함으로써 소형무인기에 사용할 수 있는 동력장치의 개발 방안을 제시하였다.

표준적인 엔진시험방법을 통해 시험엔진의 성능을 비교 평가하여 문제점을 찾아내고 개선하여

* 스마트무인기기술개발사업단 체계종합그룹/shchang@kari.re.kr

목표한 소형무인기용의 엔진 개발을 완수할 수 있도록 엔진성능 표준시험장치를 구성 및 제작하였고 측정해야 할 시험변수와 이 변수들의 측정에 관련된 센서와 측정기기의 제원, 데이터 기록 및 처리 프로그램에 관하여 연구하였다. 특히 엔진성능 시험장치개발과정에서 드러났던 문제점들을 지적하고 이들을 해결한 방안을 검토함으로써 차후에는 이러한 문제들로 시행착오를 겪지 않도록 기술하였다.

2. 소형엔진 성능시험대

2.1 소형엔진 성능시험대 I

소형무인기용 엔진의 마력을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 엔진의 토크를 측정할 수 있는 진자(pendulum) 방식의 측정장치를 구성하였다.

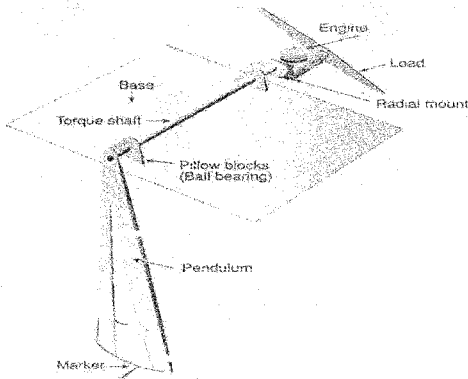


그림 1. 구성원리

이 장치의 원리는 엔진 토크에 의해 발생하는 회전력을 회전축에 일치한 방향으로 축을 설치하고 이 축의 회전이 마찰력에 의한 손실이 최소화된 상태에서 엔진 반대편의 수직막대에 연결된 추의 수평움직임 거리를 계산하여 마력을 측정하는 방법이다. 이때 진자의 수평움직임 거리에 의한 마력의 측정값은 진자의 무게와 추의 수평움직임 거리 및 엔진 마력수와의 관계를 보정시험을 통하여 작성된 수치 그래프를 이용하여 측정할 수 있도록 구성하였으며, 완성된 성능시험대는 그림

2와 같다. 엔진의 마력을 측정하기 위한 성능시험대는 대상용 엔진과 실제 비행에 사용되는 프로펠러를 사용하여 엔진의 부하를 설정하였고, 엔진의 토크측정 구조물, rpm 측정을 위한 타고메터, 엔진점화를 위한 부속품으로 구성이 된다. 소형무인기용의 엔진이라는 점을 감안하여 성능시험대는 약 2마력범위의 출력을 감당할 수 있도록 설계되어 제작되었다.

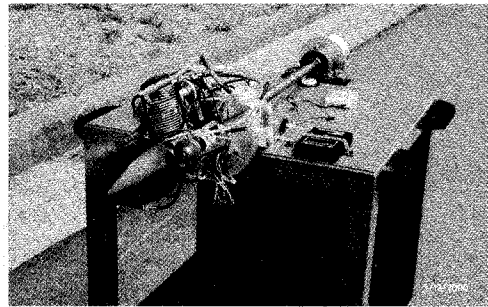


그림 2. 소형엔진 성능시험대 I

2.1.1 실험결과

대상엔진은 ENYA사의 배기량 20cc 글로우엔진(4)을 가솔린연료를 사용할 수 있도록 개조한 엔진으로 실험결과는 그림 3과 같다. 실험을 통해 측정된 엔진의 마력은 회전수 1,800 rpm에서 0.03 마력이고 엔진의 full throttle 상태인 6,000 rpm에서 0.87 마력으로서, 글로우 엔진의 생산자가 제시한 이상적인 값인 2 마력보다 50%이상 줄어든 결과를 보여주었다.

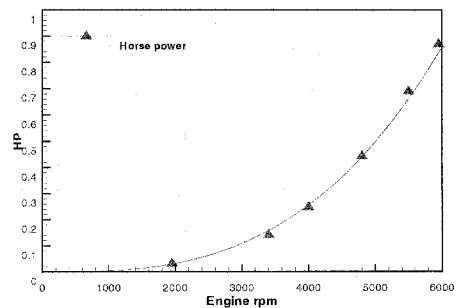


그림 3. 엔진 마력측정(I)

2.2 소형엔진 성능시험대 II

소형엔진의 마력을 측정하기 위하여 제작된 그림 2의 성능시험대 I은 추의 회전운동에 의한 수평변위 지시계를 눈으로 측정하는 것이 단기통의 소형엔진이 발생하는 진동으로 인하여 시각적인 오차를 발생시키고 프로펠러에 의한 엔진의 추력을 측정할 수 없는 개선점이 요구되어 프로펠러 회전에 의한 엔진의 추력과 마력을 동시에 측정할 수 있도록 그림 4와 같이 성능시험대를 개조하여 제작하였다.

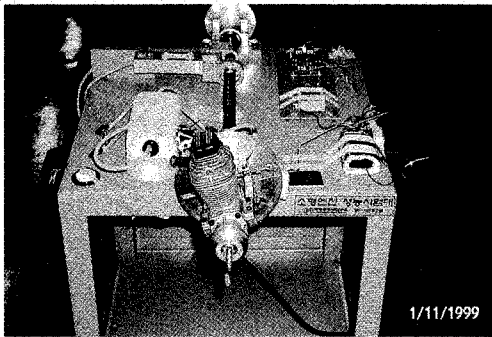


그림 4. 소형엔진 성능시험대 II

성능시험대는 엔진의 최대출력을 2마력으로 가정하고 설계/제작하였으며 성능시험대의 구성은 동력전달계통을 구성한 것으로 추력선상에 일치한 축 방향운동(그림 5) 및 회전운동(그림 6)을 하는 엔진마운트 축을 베어링 구조물에 연결하여 엔진에 의해 발생한 추력과 토크를 마찰력 손실이 최소화된 상태로 두 로드셀로 전달되고 이를 통해 추력과 마력을 각각 측정할 수 있도록 구성하였다. 엔진운전 중 안전을 고려하여 측정 표시부는 엔진의 뒷면에 부착하였으며, 타코메타와 연료탱크 및 기타 부수장비들이 장착된다. 엔진의 수평유지와 진자운동에 의한 토크보정을 위하여 엔진반대면에 수직막대와 추를 매달아 평형을 유지할 수 있도록 구성하였다.

2.2.1 실험방법

성능시험대를 통해 측정된 토크로부터 식(1)[5]

을 이용하여 마력으로 환산하였으며, 서로다른 실험환경을 동일한 조건에서 비교하기 위하여 표준대기상태로 보정하기 위한 식(2)[5]를 이용하였다.

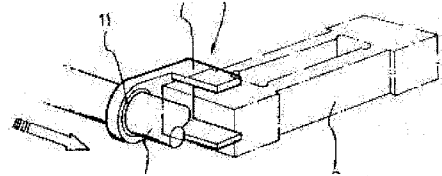


그림 5. 추력 측정원리

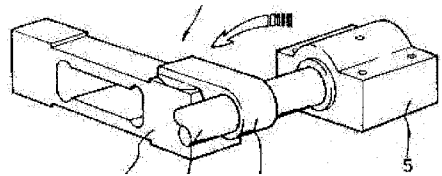


그림 6. 토크 측정원리

표준대기값은 식(3)과 같다.

$$bhp = \frac{Torque \times rpm}{5250} \quad (Torque: lb-ft) \quad (1)$$

$$bhp_0 = bhp_i \frac{\sqrt{T_i}}{\sqrt{T_0}} \frac{P_0 - h_0}{P_i - h_i} \quad (2)$$

bhp : 제동마력

T : 온도(°K)

P : 대기압력(mmHg)

h : 수증기 분압(mmHg)

0 : 표준대기상태(기준상태)

i : 실험대기상태(실험상태)

$$P_0 = 760 \text{ mmHg}$$

$$T_0 = 288.15. \text{ K}(15^\circ\text{C}) \quad (3)$$

$$h_0 = 0 \text{ mmHg}$$

로드셀에 의해 측정된 토크값의 보정은 엔진의 반대편에 엔진회전축의 회전방향으로 움직이는 토크바를 설치하여 실험한 값을 이용하였다. 보정실험은 토크바에 임의의 힘을 주어 생기는 토크값과 이때 측정되는 로드셀에 의해서 구해진 값을 비교하여 다음과 같은 관계식을 구하였다.

$$(\text{보정 토크}) = 1.0603 \times (\text{로드셀 토크}) + 0.0304$$

2.2.2 실험결과

대상엔진은 ENYA사의 20cc 글로우엔진을 가솔린연료를 사용할 수 있도록 개조한 엔진으로 결과는 그림 7과 같다. 마력측정실험결과 5000rpm에서 0.65의 마력이며, 5800rpm에서 1.02마력을 나타내었다. 위 진자방식의 성능시험대에서 측정된 값인 6,000 rpm의 0.87 마력보다 높은 측정값이 나타나는 것으로 보아 시각적인 오차의 범위가 10%이상 나타나는 것을 알 수 있다.

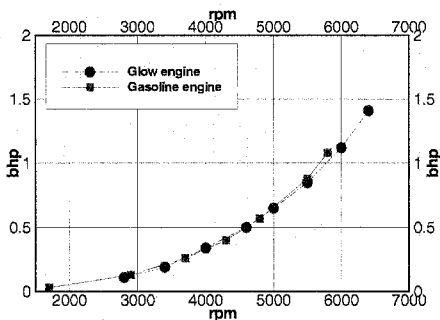


그림 7. 엔진 마력측정(II)

글로우엔진과 가솔린엔진의 부하량 변화에 따른 엔진출력을 알아보기 위하여 최대출력상태의 실험을 프로펠러의 크기와 피치각을 변화시켜 수행하였고 전부하 성능 결과를 그림 8에 나타내었다. 엔진의 마력은 에어포일의 받음각에 대한 양력계수의 선도와 비슷한 형태를 나타내어 최대토크가 발생하는 시점 이후로 토크가 감소하는 경향이 있다. 본 실험에서는 APC 14x13 프로펠러의 결과값을 정점으로 부하량 변화에 대한 마력이 감소하게 된다. 프로펠러변화에 대한 두 엔진의

최대마력은 APC 14x13 프로펠러를 장착한 상태에서 글로우엔진이 7700 rpm의 1.62마력, 가솔린엔진이 7000rpm의 1.18마력을 나타낸다. 글로우엔진을 가솔린엔진으로 개조한 후 동일한 프로펠러를 장착한 실험에서는 동일한 rpm변화 구간에서의 성능차이는 없으나 최대출력에 대한 실험을 통해 가솔린엔진의 자체 성능은 글로우엔진의 경우보다 최대출력 성능에서 손실이 있음을 성능시험대의 제작을 통하여 실험으로 확인할 수 있다.

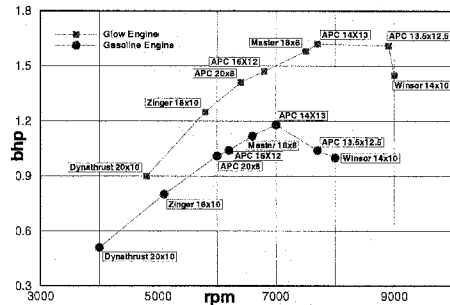


그림 8. 프로펠러를 이용한 엔진 전부하 성능

3. 엔진성능 표준시험장치

모형항공기용으로 사용되는 글로우 엔진을 하드웨어 개조를 통하여 자동차용 가솔린 연료를 사용하는 엔진으로 개조 후 엔진성능의 비교와 검토를 위해서는 표준화된 성능시험 장치를 구축하고 표준적인 측정방법이 정립되어야 하므로 엔진성능 확인에 요구되는 항목을 결정하고 측정할 수 있는 표준시험장치를 구성하였다. 이를 위해 왕복기관 엔진성능 측정에 필요한 장비를 구성하여 표준화된 측정시스템을 구축하고 해당 시스템으로 측정된 데이터는 엔진 개발 및 성능 시뮬레이션 결과를 보완하기 위한 데이터 베이스로 활용된다.

3.1 표준시험장치 구성

엔진성능 표준시험장치는 그림 9에서와 같이 크게 동력부와 측정부로 구성된다. 동력부는 측

정대상이 되는 소형엔진과 소형엔진의 동력을 흡수하고 회전수를 일정하게 유지하기 위한 동력계(Dynamometer)로 이루어지며 측정부는 그림 10과 같이 엔진과 동력계에 연결된 센서, 이를 통해 측정된 데이터를 저장하고 실시간으로 모니터링하는 PC로 구성된다. 엔진성능 표준시험장치의 실제모습은 그림 11과 같다.

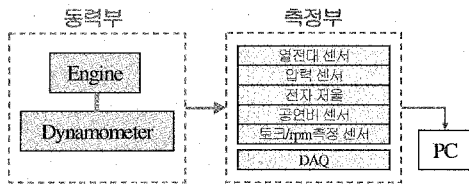


그림 9. 표준시험장치 구성도

는(Engine dynamometer) 미국 Land & Sea 사의 Eddy current type Micro Dynamometer로서 사용전원은 AC 110V이고 동력계가 흡수할 수 있는 최대 동력은 약 5 마력이다.

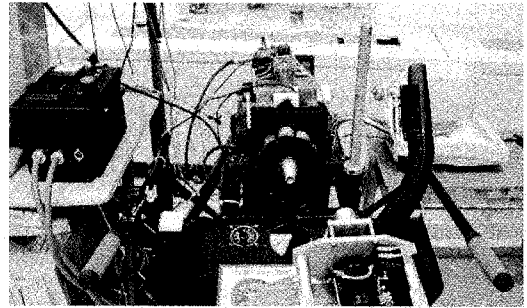


그림 12. 동력부

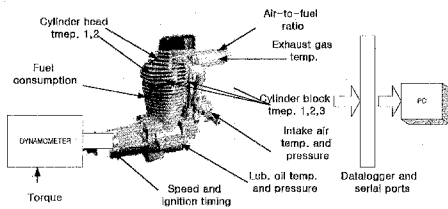


그림 10. 측정데이터 개략도

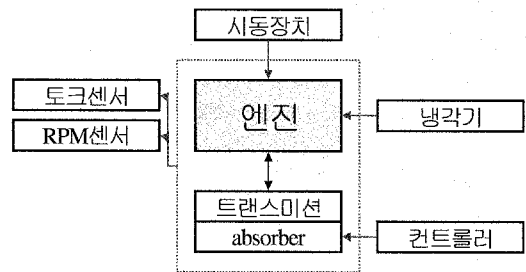


그림 13. 동력부 구성도

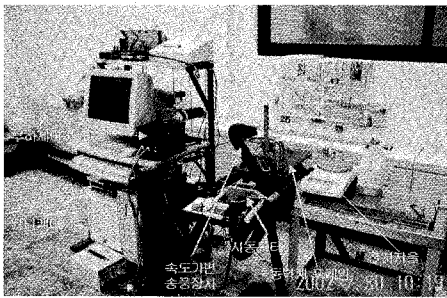


그림 11. 엔진성능 표준시험장치

3.1.1 동력부

엔진성능 표준시험장치의 동력부는 그림 12와 같이 세부구성을 그림 13에 나타내었다. 엔진에 연결되어 엔진성능 시험을 위해 사용되는 동력계

동력계의 최고 회전수는 3,000 ~ 4,000 rpm으로 10,000 rpm 이상에서의 엔진실험을 위해서는 적어도 3 : 1 이상의 기어비를 갖는 감속기어박스를 장착하여야 한다. 엔진에서 발생한 동력을 흡수하고 발산하는 원리는 eddy current 원리로 엔진축에 연결된 stator에 감겨있는 코일에 흐르는 전류량에 따라 회전축에 연결된 rotor에 자속이 유도되어 기전력에 의한 제동력이 발생하게 된다. 유도된 자속은 rotor 내에서 맴돌이 전류(eddy current)를 생성하고 Joule의 법칙(power = i^2R)에 의해 흡수동력에 상응하는 전기저항열이 발생되며 이 열은 회전하는 rotor에 장착된 블레이드 형상의 팬에 의해 공기냉각이 되도록

되어 있다. 동력계의 전류량을 제어하는 콘트롤러는 전류량을 나타내는 아날로그 계기판 아래 'auto'와 'manual'을 선택할 수 있는 스위치가 위치하는데 이 스위치는 반드시 'manual'로 두어야 한다. 만약 실수로 'auto'로 두는 경우에는 과전류가 흘러 휴즈가 끊어진다. 콘트롤러로 고장나면 수리가 어려우므로 향후에는 'auto 모드'를 제거하는 것이 좋은 방법이 될 것이다. 'auto 모드'는 추가 옵션항목들을 구입하여 엔진속도를 자동 제어하는데 사용되도록 한 부분이나 현재의 엔진 시험 용도에는 부적합하므로 별도의 옵션에 대한 구매는 필요치 않다.

3.1.2 측정부

엔진성능 표준시험장치의 측정부는 그림 14와 같으며 왼쪽의 측정항목부분은 동력계에서 성능 측정에 필요한 물리량,中间的의 센서부분은 물리량을 측정하기 위해 사용된 전용 센서, 우측에는 측정된 데이터를 취득하기 위한 data acquisition system을 나타내며 해당 데이터들을 가공하고 저장하기 위한 응용 프로그램이 PC에서 실행된다.

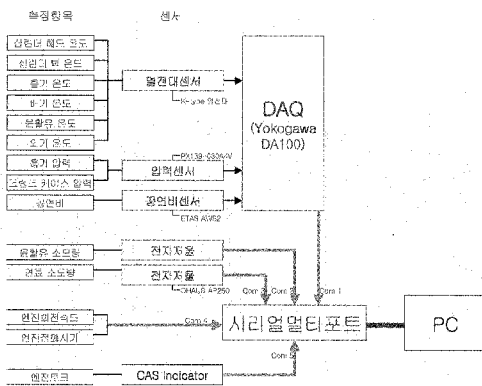


그림 14. 엔진성능 표준시험장치 측정부

3.1.2.1 데이터로거

온도와 압력신호 등 각종 아날로그 신호를 conditioning하여 취득할 수 있는 범용 데이터로

거로서 일본 Yokogawa사의 DA100 모델을 사용하였으며 PC와는 시리얼 포트로 통신하고 통신 속도는 9600 bps로 설정하였다. 통신과 관련된 프로토콜은 데이터로거 매뉴얼을 참고하여 Microsoft사의 Visual Basic으로 프로그램을 작성하였다. 입력 채널은 20개까지 사용가능하나 엔진성능 시험장치의 구성에는 10개의 채널만 사용하였고 그림 15는 온도센서인 K-type 열전대와 압력센서의 신호선이 연결된 모습을 보여준다.

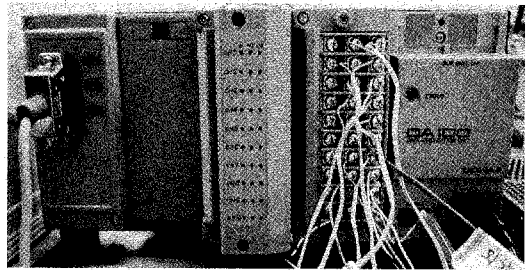


그림 15. 데이터로거

3.1.2.2 시리얼멀티포트

그림 16의 각종센서와 다양한 장치들을 PC와 RS232c 형식으로 인터페이스하기 위하여 시리얼 멀티포트를 사용하였으며 국내 중소기업인 키커뮤니케이션사의 모델로서 총 8개의 시리얼 포트 연결이 가능하고 최대 전송속도는 15 Kbps이다.

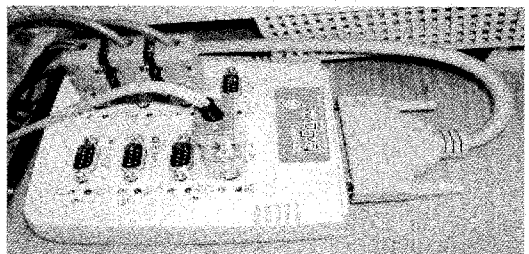


그림 16. 시리얼멀티포트

3.1.2.3 전자저울

그림 17은 연료 및 윤활유의 소비량 측정을 위해 사용된 전자저울이다. 국내 CAS사의 제품

을 고려하였으나 최소 측정간격이 실험을 위해 요구되는 수준보다 낮아 미국 Ohaus사의 ADVENTURER ARR70 모델을 사용하였고 RS-232c 시리얼 통신을 통해 데이터의 전송이 이루어지며 통신속도는 9600 bps이다. 최대 측정질량은 1500 g이고 최소 측정간격은 0.01g으로 실제응용에서의 정밀수준은 선풍기 바람에 의한 무게 변화를 측정할 수 있다.

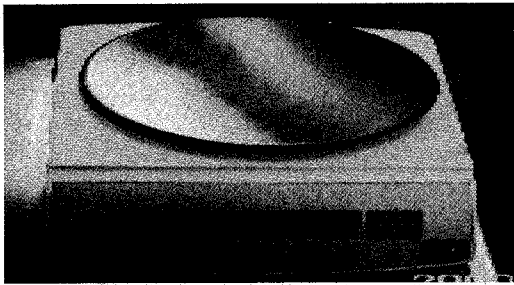


그림 17. 전자저울

3.1.2.4 토크센서

엔진의 토크를 측정하기 위해 동력계 아암(arm)에 로드셀을 설치하였다. 로드셀은 최대 하중 20 kgf용인 국내 CAS사 제품(그림 18)으로 2.2절에서 소형엔진성능시험대를 제작하여 20 cc 엔진의 추력과 토크를 측정한 경험을 통해 선택되었다. 로드셀 신호의 conditioning unit은 CAS사의 CI-5010A Indicator를 사용하였고 설정중량은 20 kg, 측정 최소중량은 0.001 kg으로 하였으며 RS-232c통신 9600 bps 속도로 PC와 데이터를 전송하도록 구성하였다. 주의할 사항은 카스 인디케이터에 해당센서의 zero 및 span을 표준 분동을 사용하여 직접 교정하여야 하며 단순히 숫자를 넣어서는 교정정보가 입력되지 않는다. 그리고 인디케이터의 교정에 관한 매뉴얼 내용을 따라할 때 해당과정을 모두 따라가서 끝에서 종료해야지 영점이나 스펬조정만 하고 빠져나오면 교정결과가 인디케이터에 저장되지 않아 의미없는 측정이 되므로 다른 저울을 통하여 미리 질량을 알고 있는 표준 질량을 사용하여 교정하여야 하는 문제점이 발생하였다.

3.1.2.5 공연비센서

공연비의 측정은 엔진 연료공급량 적정성 판별을 위하여 매우 중요하다. 공연비 측정은 배기가스 내 잔존 산소량의 분압과 대기중의 산소 분압을 비교하여 공연비로 환산하는 것으로 대표적으로 사용되는 공연비 센서는 독일 Bosch 계열 회사인 ETAS사의 공연비 센서와 conditioning unit이다. 그림 19는 사용된 공연비 센서를 보여준다. 해당 센서는 DC 12V로 구동되며 센서의 활성화를 위해서 300 °C 이상을 유지해야 하므로 전기히터가 내장되어 있어 전원이 가해지면 해당 온도를 유지하도록 가열된다. 따라서, 사용하지 않을 때는 전원을 차단하여 불필요한 전원낭비나 과열을 막아야 한다.

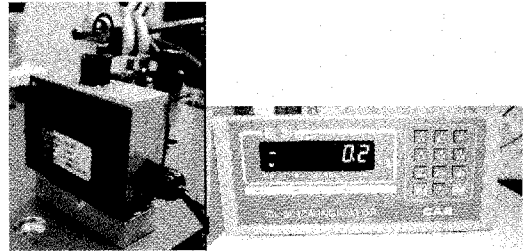


그림 18. 로드셀과 인디케이터

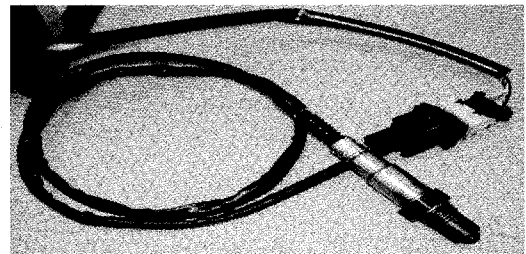


그림 19. 공연비측정 λ 센서

3.1.2.6 압력센서

흡기관 압력을 측정하기 위하여 그림 20에서 보는 바와 같은 미국 OMEGA engineering 회사의 PX139을 사용하였다. 해당 센서는 기체용으로

제작된 제품으로 압력센서 표면 membrane이 오염되면 전기적 특성이 변하여 센서 출력을 신뢰할 수 없기 때문에 액체나 이물질이 압력센서 표면을 오염시킬 수 있는 상황에서 사용해서는 안 된다.

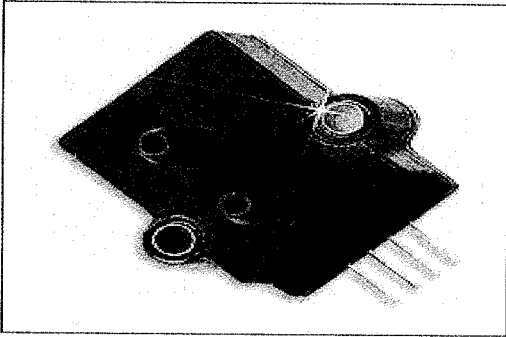


그림 20. 압력센서

3.1.2.7 온도센서

온도센서는 배기가스온도가 수 백도 이상의 범위로 상승하기 때문에 고온에 적합하고 엔진 표면에 접촉이 용이한 K-type 열전대를 사용하였고 열전대의 중간연결은 OMEGA사의 커넥터를 사용하였으며 알루미늄 예폭시를 이용하여 그림 21과 같이 표면에 부착하였다.

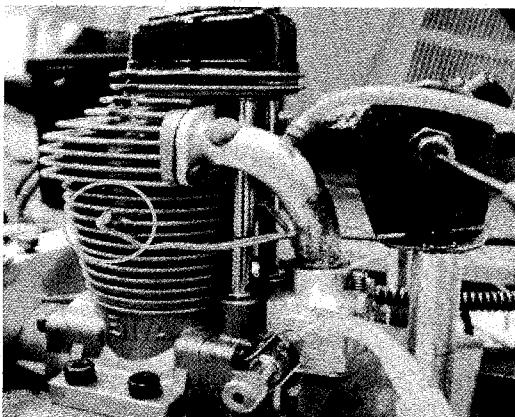


그림 21. 온도센서

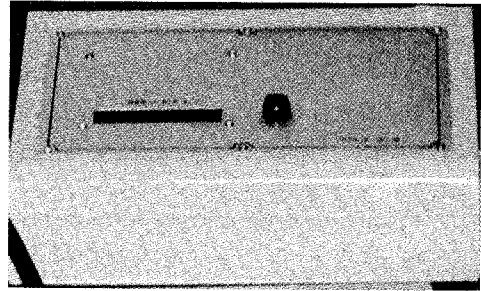


그림 22. 엔진회전수 측정장치

3.1.2.8 rpm 측정장치

엔진의 회전수를 측정하기 위하여 그림 22의 엔진회전수 측정장치를 사용하였으며 마이크로프로세서로 운용되어 엔진에 부착된 hall 센서를 통해 엔진의 회전수와 압력센서의 압력을 측정하고 RS232c통신을 통하여 PC로 전송하도록 제작되었다.

3.2 실험방법 및 개선사항

3.2.1 실험방법

3.2.1.1 데이터측정용 응용프로그램

그림 23은 PC에서 구동되는 응용프로그램으로서 엔진 성능시험을 위한 각종측정항목들을 실험자가 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 제작되었다. 해당 프로그램은 MicroSoft사 VisualBasic을 기반으로 작성되었으며 약 2초마다 데이터가 업데이트 되면서 동시에 성능시험을 통해 측정된 값들을 파일로 저장한다.

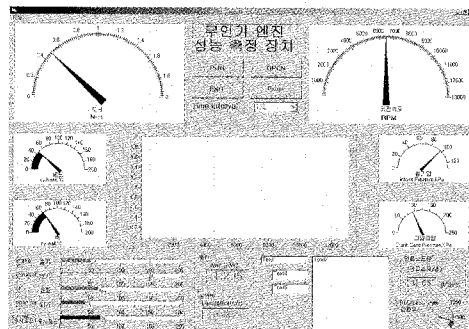


그림 23. 실시간 측정 프로그램

3.2.1.2 온도측정

실린더 헤드, 실린더 벽, 흡기, 배기, Oil, 대기, 푸시로드의 엔진의 각 부분에 부착된 K-type 열전대 센서들의 온도는 DA100 데이터로거를 통해 측정값들을 수집하고 시리얼멀티포트를 이용하여 PC로 전송하게 된다. 전송된 온도 측정값들은 그림 24와 같이 모니터상에 표시되 PC에 저장된다.

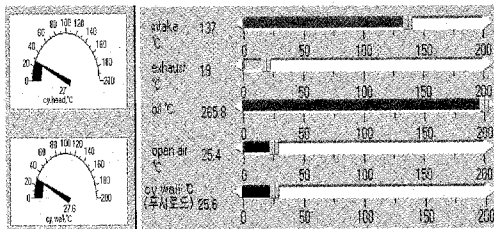


그림 24. 온도 모니터

3.2.1.3 압력측정

흡기압력과 크랭크케이스 내부의 압력은 위에서 설명한 압력센서의 전압출력값 범위 0.25 ~ 4.25 V에 대한 압력범위 0 to 30 psia의 비례값으로 표시되며 프로그램의 작성은 다음과 같다.

$$i = ((\text{Chan}(7) - 0.25) * 7.5) * 6.89 ;$$

전압을 압력으로 바꾸는 식

$$\text{Chan}(7) = \text{Round}(i, 2) ;$$

소수점 2자리까지 표시

센서의 출력값은 DA100을 통하여 수집되고 시리얼멀티포트를 이용하여 PC로 전송한 후 응용프로그램을 이용하여 그림 25와 같이 모니터링 할 수 있도록 구성되었다. 두 압력의 단위는 모두 KPa로 나타낸다.

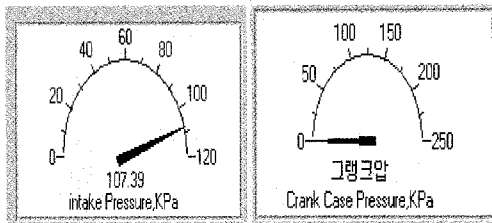


그림 25. 압력 모니터

3.2.1.4 공연비측정

공연비 센서의 특성상 공기과잉율(λ : excess air ratio)은 그림 26에서 보는 바와 같이 센서내 산소펌프 전류인 I_p (Pump current)에 대하여 비선형적 특성을 나타내기 때문에 측정 환산값의 계산과정이 복잡하다. 여기서 공기과잉율은 현재의 공연비를 이론공연비로 나눈값으로 정의되고 그 값이 "1"일 때 적정값이 된다. 공연비센서의 출력을 앰프를 통해 DA100과 인터페이스 한 후, 시리얼포트를 이용하여 PC로 측정값이 전송된다. 공연비센서의 출력을 전압으로 출력하기 위한 센서전압과 공기과잉율의 관계는 표 1과 같다.

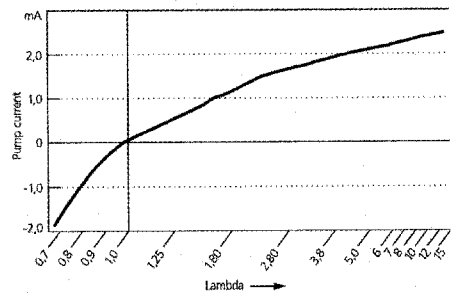


그림 26. 공기과잉율과 펌프전류와의 관계

표 1. 공기과잉율과 공연비 센서 출력전압간의 관계

LSU 4.2, 80 0					
λ	V_{ip}	λ	V_{ip}	λ	V_{ip}
0.75	0.1603	1.01	2.4816	3.00	5.2023
0.78	0.5226	1.01	2.4914	3.20	5.2967
0.80	0.7524	1.01	2.5010	3.50	5.4191
0.81	0.8609	1.02	2.5243	3.80	5.5230
0.82	0.9694	1.02	2.5468	4.20	5.6393
0.83	1.0748	1.03	2.5685	4.60	5.7360
0.84	1.1769	1.05	2.5895	5.00	5.8179
0.85	1.2711	1.04	2.6100	5.50	5.9041
0.86	1.3732	1.04	2.6299	6.00	5.9762
0.87	1.4674	1.05	2.6851	7.00	6.0904
0.88	1.5584	1.06	2.7046	8.00	6.1765
0.89	1.6477	1.08	2.7732	10.00	6.2980
0.90	1.7371	1.11	2.8735	12.00	6.3796
0.91	1.8169	1.18	3.0650	15.00	6.4616
0.92	1.8981	1.25	3.2533		
0.93	1.9765	1.33	3.4464		
0.94	2.0520	1.43	3.6411		
0.95	2.1249	1.54	3.8390		
0.96	2.1952	1.71	4.1120		
0.97	2.2655	1.80	4.2396		
0.98	2.3276	1.97	4.4423		
0.99	2.3899	2.18	4.6466		
1.00	2.4515	2.43	4.8557		
1.00	2.4617	2.67	4.9862		
1.00	2.4718	2.80	5.0953		

3.2.1.5 연료 및 윤활유 소비량 측정

연료와 윤활유의 소비량을 측정하는 전자 저울은 시리얼포트를 이용하여 PC와 연결되고, 전자 저울과 PC의 통신포트를 연결할 때의 시리얼 케이블 배선은 일반적인 Null modem 방식으로 해선 안되기 때문에 그림 27에서와 같이 배선하였으며 응용프로그램에 측정결과가 표시된다. 통신을 위한 저울환경은 9,600 bps이며 저울의 stable mode 선택은 'stable on'을 선택하게 되면 저울이 안정화될 때까지 저울의 출력값을 얻을 수 없어 제 시간에 원하는 중량정보를 얻을 수 없는 문제가 발생하므로 'stable off' 조건으로 하였다.

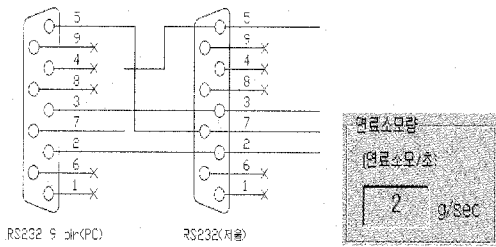


그림 27. 배선도와 연료소비량 모니터

3.2.1.6 rpm 측정

엔진 회전수는 크랭크 축에 설치된 마그네틱과 이를 카운트하여 신호를 발생시키는 홀센서의 TTL 신호를 측정하도록 AVR 계열의 8비트 칩을 이용하여 프로그램하였으며 측정된 회전수는 시리얼 통신을 통하여 PC로 입력되고 모니터상에 표시된다(그림 28). 측정가능 회전수는 15,000 rpm 이상이며 향후에는 점화시기도 함께 조정할 수 있도록 기능을 개선 중이다(그림 29).

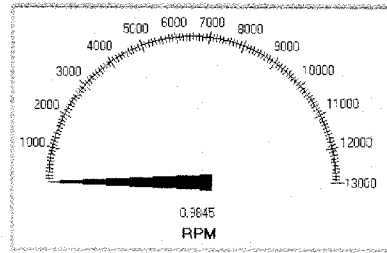


그림 28. 회전수 모니터

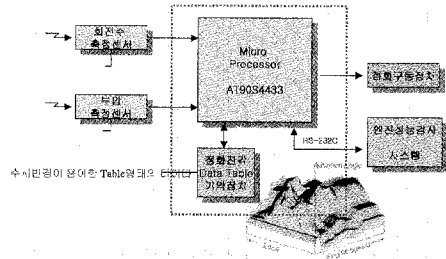


그림 29. 점화진각측정 구성도

3.2.1.7 토크 및 출력 측정

(주)CAS의 로드셀을 이용하여 측정된 하중은 모멘트 아암의 길이인 0.0772m를 곱하여 N-m 단위로 환산된다. 엔진출력은 아래의 식으로 계산되며 측정된 로드셀은 앰프를 통하여 컴퓨터와 시리얼 통신으로 전송되고 그림 30와 같이 표시된다.

$$\text{Watt} = (\text{RPM} / 60 * \text{torque}) / 159.2$$

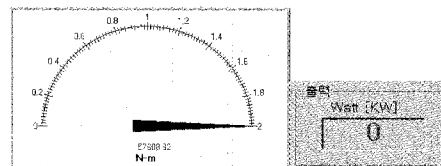


그림 30. 토크와 출력 모니터

3.2.2 문제점 및 개선사항

엔진에 대한 표준성능시험을 수행하기 위하여 구성된 엔진성능 표준시험장치를 가동하는 중 발생한 문제점들과 이의 해결방법은 다음과 같다.

3.2.2.1 공연비 측정

공연비 센서는 자동차 엔진용이기 때문에 소형 엔진에 부착하여 시험하기에는 크기가 커서 엔진과 분리하는 대신 플렉시블 파이프를 사용하여 연결하였으나 엔진 진동으로 플렉시브 파이프가 파손되는 현상이 발생하였다. 문제점을 해결하기 위하여 그림 31에서 보는 바와 같이 배기 파이프와 공연비 센서 장착 부위를 일체형으로 용접한 후 엔진과 함께 진동하도록 하였으며 현재까지의 엔진시험 결과로는 공연비 센서가 엔진 진동을 잘 견디고 있다.

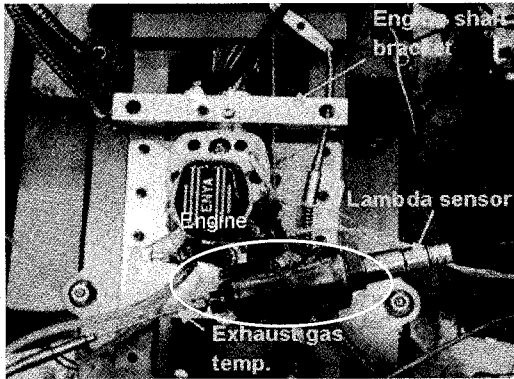


그림 31. 공연비센서 장착

3.2.2.2 압력계 센서

압력계를 엔진 동력계에 직접 붙여 사용한 결과 두 가지 이유로 센서가 고장났다. 첫째는, 센서 표면 막이 이물질에 취약하여 크랭크 케이스의 압력을 측정할 때는 엔진오일의 유입으로 센서가 오염되면서 작동불능이 되었다. 엔진오일이 유입되는 이유 중의 하나로 니플 형식의 압력 측정부위에 고무호스만 연결하는 것이 충분한 기밀작용을 하지 않는다는 점이다. 따라서 케이블 타

이나 스테인레스 밴드 등을 이용하여 고무호스와 니플 연결부위의 기밀작용을 보강할 필요가 있다. 또 다른 문제점은, 압력센서가 진동에 약하다는 것으로 엔진의 심한 진동에 노출되자 오래지 않아 작동불능 상태가 되었는데 이는 센서 내부의 구조가 진동에 잘 견디지 못하는 구조로 판단된다. 따라서, 해당 센서는 향후 무인기용으로 사용하기에 곤란하다는 판단이다. 이상의 여러고장에 대처하기 위하여 자동차용 압력센서(대우자동차 엔진용)로 교체한 후 엔진성능 시험을 수행하였다. 이 센서는 제작사에서 제공하는 공식과 실제의 압력에서 약간 차이가 나는 문제가 있지만 교정문제만 해결된다면 자동차 엔진의 거친 환경에서 내구성이 입증된 센서인 만큼 무인기용 압력센서로의 응용도 가능하리라 판단된다.

3.2.2.3 엔진운전

공랭식엔진의 특성상 실린더 벽 온도가 냉각된 주변의 기류상태 및 엔진 부하에 따라 수시로 변하며 실린더 벽의 온도상승은 글로우 엔진의 경우 과열에 의한 엔진 정지를 초래하였다. 따라서, 실린더 블록 및 헤드에 위치한 냉각핀의 온도를 모니터링 할 필요가 있어 K-type 열전대를 냉각핀에 알루미늄 에폭시(epoxy)로 고정하였다. 현재까지의 운전경험에 의하면 실린더 헤드에 장착된 온도센서의 감지온도가 150 ℃가 넘어가면 엔진 상태가 과열에 해당하며 이 온도를 넘어서면 잠시 후 엔진 연소가 더 이루어지지 못하고 심한 경우에는 글로우 플러그가 단선되는 현상이 발생하였다. 이러한 문제의 해결을 위하여, 모형 항공기용 제트엔진 시동용의 580W급 원심식 고속 팬을 장착하여 인위적으로 엔진을 냉각하였고 엔진부하에 따른 팬 속도조절은 SCR (Silicon-Controlled Rectifier) 제어를 사용하였다.

3.2.2.4 동력계

엔진 축의 회전은 10,000 rpm 이상이 가능한 반면 엔진 동력계의 가능회전 속도는 3,000 ~ 4,000 rpm 정도이기 때문에 동력전달을 위하여 감속기어를 적용하였다. 시험엔진 축의 구조적 제한 때문에 2.5 : 1 비율의 평기어(spur gear)를

사용하였으나 엔진부하가 증가함에 따라 동력계에 전달해야 할 토크가 커지고 이 전달토크는 치차사이의 수직접촉력 증가를 가져왔다. 엔진을 지지하고 있는 4개의 소형볼트는 치차사이의 수직접촉력으로 인한 모멘트를 충분히 제어하지 못하여 엔진축에 연결된 소형 기어가 큰 기어로부터 약간 밀려나면서 전달하중이 소형기어의 이(tooth) 끝 부분에 집중되고 그 결과 기어 이의 심한 마모 및 파손현상이 발생하였다. 이 문제를 해결하기 위하여 그림 32과 같이 치형이 열처리된 헬리컬 기어를 적용하고 기어비도 가능한 범위 내에서 2.9:1 비율로 증가시켰다. 아울러 기어 치차사이의 수직접촉력에 대한 추가적인 지지력을 제공하기 위해 그림 31의 Engine shaft bracket을 장착하였다.

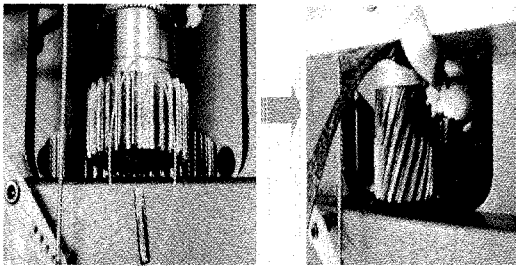


그림 32. 동력계 기어변경

3.2.2.5 열전대

열전대는 두 가닥의 끝을 접점으로 만들어 온도를 측정하게 되어 있다. 손으로 접점을 꼬아 에폭시를 이용하여 엔진의 필요한 부위에 부착하였는데 문제는 에폭시가 손으로 꼬여진 접점부까지 확산침투하여 접점부를 절연시키는 현상이 발생하였다. 이러한 문제는 에폭시로 고정된 부분을 모두 제거한 후 열전대 접점을 뿔납을 이용하여 에폭시가 침투하지 못하도록 만들었다. 그 결과 에폭시로 고정후에도 접점이 불량해지는 문제는 해결되었다.

3.2.2.6 연료 소비량

연료소비량 측정을 위하여 중량 측정시간을

처음에는 10초 정도 동일 운전조건을 유지하며 중량변화량을 읽었으나 엔진 운전시의 진동 때문에 저울이 영향을 받아 10초 정도의 질량변화는 진동 등에 의한 측정오차 범위에 속하게 되어 측정값의 경향성을 찾기 어려운 문제가 발생하였으며 1분 정도 동일 운전조건 유지가 요망되나 공랭식 엔진의 냉각문제와 글로우 엔진 시험시의 심한 매연 때문에 30~40초 정도로 측정하였다. 저울 위에 올려놓은 연료탱크와 엔진간의 연결호스를 통해 엔진의 진동이 저울로 전달되는 저울의 측정분해능이 정밀하여 생기는 문제가 발생하였으며 진동전달로 인한 측정오차를 줄이기 위하여 중간에 튼튼한 지지대를 설치하고 이 지지대에서 호스의 진동을 흡수하도록 할 필요가 있다. 또한 엔진 냉각을 위해 작동되는 팬의 풍속에 의해서도 저울의 측정이 영향을 받으므로 바람의 영향도 받지 않도록 바람막이를 설치할 필요가 있다.

3.3 실험결과

실험대상 엔진은 일본 ENYA사의 R155제품으로 4행정 글로우엔진[6]과 가솔린으로 개조한 엔진에 대하여 실험하였다. 엔진은 25.4cc 배기량으로 이전의 엔진보다 배기량이 약 5cc가 크며, 최대출력은 12,500rpm에서 2.5마력의 출력성능을 가지는 엔진이다. 그림 32는 측정된 글로우 엔진과 가솔린 엔진의 성능비교를 나타낸다. 엔진 동력계의 안정성에 대한 충분한 검증이 이루어지지 않아 엔진시험은 약 8,000 rpm으로 제한하였고 추후 더 높은 속도 영역에 대해서도 시험이 진행될 예정이다.

그림 33의 엔진출력결과 중 굵은 선 부분은 현재의 측정결과와 고속에서의 마찰손실 및 제품설명서상의 엔진 최고 출력을 고려하여 그려졌다. 실제 소형무인기에 적용되어 운전될 엔진의 속도범위는 8,000 rpm 이하이기 때문에 그 이상 속도영역은 그다지 중요하지 않다. 시험결과 가솔린 엔진의 경우는 전부하에서 bmep가 약 800 kPa로서 글로우엔진에 비해 약간 낮은 편으로 적용한 점화시스템의 점화시기가 최적화되지 않은데 주 원인이 있다고 판단된다. 해당 점화장치

는 홀센서를 이용하여 엔진 속도만 감지하고 있으므로 최적의 점화시기를 구현할 수 없다.

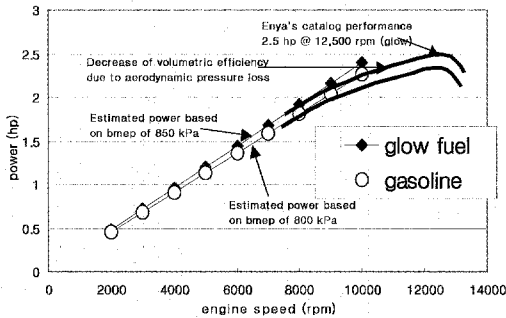


그림 33. 엔진성능 실험결과 비교

4. 결 론

본 연구에서는 소형무인기용 왕복엔진의 성능 측정을 위하여 소형엔진 시험대를 제작하였으며 이를 통해 20cc 배기량의 가솔린엔진에 대하여 마력을 측정하였다. 또한 소형엔진 시험대를 개선하고, 표준적인 엔진성능 시험방법을 통해 시험엔진의 성능을 비교 평가하여 문제점을 찾아내고 개선하여 목표한 소형무인기용의 엔진 개발을 완수할 수 있도록 엔진 표준시험장치를 구성 및 제작하였다.

엔진성능 표준시험장치를 통하여 측정해야 할 시험변수와 이 변수들의 측정에 관련된 센서나 측정기기의 제원, 데이터 기록 및 처리 프로그램에 관하여 연구하였고 소형무인기용 4행정 가솔린 엔진을 개발하기 위한 제반기술이 확보되었으며 성능을 개선할 수 있는 방안이 도출되었다.

본 연구를 통하여 소형무인기용 4행정 가솔린 엔진을 개발하기 위한 제반기술이 확보되었으며 성능을 개선할 수 있는 방안이 도출되어 앞으로 전자점화장치, 연료 공급시스템 및 윤활시스템의

구성을 통하여 엔진성능 및 연비개선효과를 측정/비교하고 목표연비를 달성하기 위한 여러 가지 시험 개선안이 대상 엔진에 적용될 것이다.

참 고 문 헌

1. 구삼옥, "15 kg급 장기체공형 무인항공기의 개념설계 연구," 한국항공우주연구원 기술 보고서 KARI-UD-TM-1999-009, 한국항공우주연구원, 1999. 9.
2. 염찬홍 외, "무인항공기 기반기술 연구," 한국항공우주연구원 연구보고서 UCO99010, 한국항공우주연구원, 2000. 5.
3. 구삼옥 외, "무인기용 소형 글로우 엔진의 개조에 관한 연구," 2001년 추계 한국항공우주학회 학술발표회.
4. Anon., "Enya R155-4C 4 Stroke Cycle Engine Operating Instruction," Enya Metal Products Co., Ltd.
5. 허영근, 남평우, "최신 내연기관," 동명사, 1969. 2. 1.
6. Anon., "Enya R120-4C 4 Stroke Cycle Engine Operating Instruction," Enya Metal Products Co., Ltd.