

소형항공기 FBW 시스템용 오토스로틀 개발

이석천* · 김응태** · 성기정***

Development of Autothrottle for Small Aircraft FBW Test

Sugchon Lee* · Eung Tai Kim** · Kie-Jeong Seong***

ABSTRACT

An autothrottle module for small jet aircraft Fly-By-Wire system was developed. The autothrottle was designed to be composed of DC geared motor and electro-magnetic clutch that enables smooth manual/auto switching. A controller was designed for simple position control using ON/OFF control method with a commercial motor driver. The autothrottle developed was installed in the cockpit mockup and interfaced to the flight control computer for the HILS test. The performance test proved that the throttle lever follows well the command signal from the flight control computer.

Key Words: FBW, HILS, Autothrottle

1. 서 론

오토스로틀은 원하는 비행특성을 맞추어 엔진 파워를 자동적으로 제어할 수 있도록 해주는 장치이다. 기존 소형항공기에 장착된 Autopilot의 경우 엔진 추력 제어를 위한 스로틀은 사용하지 않고 승강타 만을 사용하기 때문에 속도 제어 성능이 제한될 뿐 아니라 속도와 고도를 동시에 제어하는 것이 불가능하다. 반면에 최신 전투기와 대형여객기에 적용되던 전자식비행제

어(FBW: Fly-By-Wire) 시스템은 IT 기술의 발달로 신뢰도가 향상되고 개발비가 낮아져 최근 들어 세스나 Citation과 같은 소형제트기에까지 적용되고 있으며, 소형 항공기용 FBW 시스템 연구도 수행되고 있다. [1],[2]

FBW 시스템에서는 비행조종컴퓨터가 엔진 출력을 제어한다. 수동비행시에는 비행조종컴퓨터가 조종사에 의해 동작되는 스로틀 레버의 위치 센서 데이터에 따라 엔진을 제어하며, 자동비행시에는 비행조종컴퓨터 내부에서 계산되는 제어 알고리즘 결과에 의하여 엔진을 제어한다.

오토스로틀은 자동비행시에 비행조종컴퓨터가 스로틀 레버를 움직이도록 하는 기능을 갖추고 있어 자동비행과 수동비행 상호 전환시 스로틀 레버의 위치가 어긋나지 않고 자연스러운 전환

† 2009년 월 일 접수 ~ 2009년 월 일 심사완료

* 정회원, 한국항공우주연구원

** 정회원, 한국항공우주연구원

*** 정회원, 한국항공우주연구원

연락처, E-mail: sugchon@kari.re.kr

이 가능하도록 해준다. 오토스로틀과 주변 장치들과의 기능의 상관관계를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

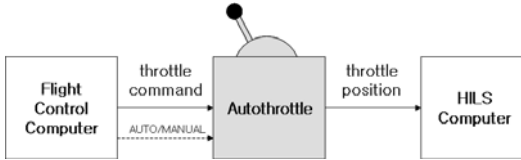


Fig. 1 Functional Diagram of Autothrottle

이러한 기능을 보유한 오토스로틀 유닛은 소형항공기에 적합한 상용 제품은 전무하다. 여객기용 오토스로틀은 상용 판매를 하지않고 매우 고가이며 소형항공기에 장착하기에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 소형항공기 FBW 시스템에 사용하기 위한 목적으로 오토스로틀을 다음의 목표를 달성하도록 설계 제작하였다.

- 부드러운 자동/수동 전환
- 추가/예비 기능 지원을 위한 기능 버튼 고려
- 주변기기와의 인터페이스가 용이할 것
- 상용부품을 최대한 활용하여 개발부담은 최소화하고, 성공률을 극대화
- 개발된 장비의 향후 활용도를 고려하여 타 장비와의 호환성을 가질 것

2. 개념설계

오토스로틀의 구조를 결정하기 위해 다음의 세 가지 제작 방안에 대하여 검토를 하였다.

- 서보모터를 이용한 오토스로틀 제작안
- Motorized throttle 상용품 구매 활용안
- DC geared motor와 클러치를 이용한 오토스로틀 설계제작안

21 서보모터를 이용한 오토스로틀 제작안

스로틀 레버는 제작하고, RC 서보모터와 포텐셔미터 상용품을 추가하여 구성하는 본 안(Fig. 2)은 구조가 간단하고 구성이 쉬운 반면에 소형항공기의 스로틀 퀴드런트에 수납하기에 공간적인 제약이 따르는 단점이 있다. 또한 수동과 자동 운용을 구현하기 위한 서보모터 운용로직의

설계가 어렵다. 수동운용을 위해서 서보모터의 전원을 껐다가 다시 자동운용을 위해 전원이 인가될 경우 서보모터가 중립 위치로 향하는 초기 움직임 때문에 스로틀 레버의 동작이 자칫 부자연스러워 질 수 있다.

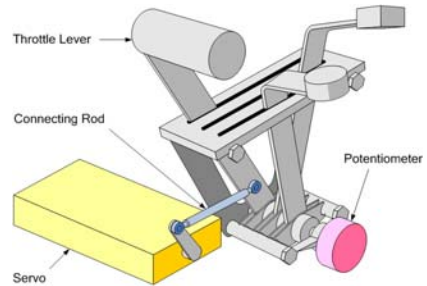


Fig. 2 Configuration with Servo Motor

22 Motorized throttle 상용품 구매안

시뮬레이션 게임 MS FS2004 또는 FSX 용으로 시판되는 B737NG 스로틀 퀴드런트(Fig. 3)는 제품의 표현력이 뛰어나 시뮬레이터 제작시 시간과 노력을 절감할 수 있다는 것이 장점이나[3], USB 인터페이스를 채용하고 있어서 비행조종컴퓨터의 통신이 어렵고 소형항공기 장착이 어렵다.

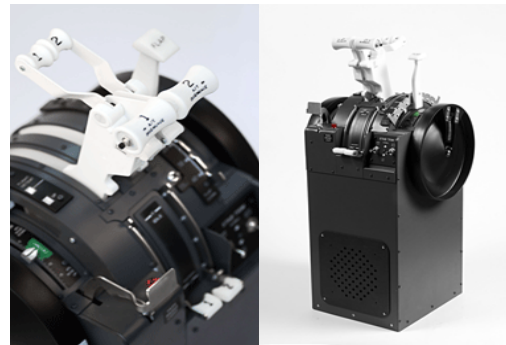


Fig. 3 Motorized Throttle
by courtesy of Flight Simulator Center (FSC)

23 DC geared motor와 클러치를 이용한 오토스로틀 설계 제작안

DC geared motor와 클러치를 이용하여 오토스로틀을 설계, 제작할 경우(Fig 4) 클러치를 사

용하기 때문에 수동 및 자동 전환이 자연스러운 특징이 있으며, 자체적으로 설계 개발하므로 기계적, 전기적 특성을 요구에 맞게 설계, 제작할 수 있는 장점이 있다.

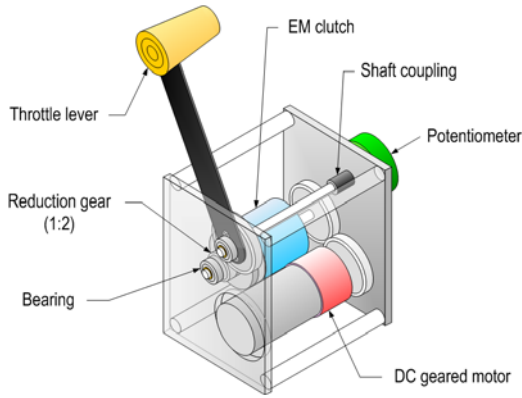


Fig. 4 Configuration with DC geared motor and Clutch

2.4 오토스로틀용 모터 특성 비교

오토스로틀용 모터의 선정을 위해 대상 모터 3종의 특성을 Table 1에 비교 정리하였다.

비교 분석결과 오토스로틀에 사용하기 위해서는 DC geared motor와 클러치를 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단하였다.

3. 예비설계

3.1 시스템 구조 결정 및 요구제원 도출

개념설계 결과를 바탕으로 오토스로틀 설계목표를 달성하기 위해 하위 구성품들을 Fig. 5와 같이 구성하였다. 부드러운 자동/수동 전환을 위해서는 전자클러치가 필요하며, 주변기기와의 인터페이스 및 호환성을 고려하여 작동전원은 12V와 24V를 모두 고려하였다.

Table 1. 오토스로틀용 모터 특성 비교

	스텝핑 모터	DC geared 모터	RC 서보모터
구동요소	• 스텝핑 모터 드라이버 필요	• DC 모터 드라이버 필요	• 별도의 드라이버 필요 없음
제어목적	• 위치(각도)제어	• 속도제어	• 위치(각도)제어
회전특성	• 저속회전에 적합 (고속작동 시 진동발생) • 기동정지, 정/역회전 응답성 좋음	• 광범위한 변속 가능 • 감속기어가 내장되어 있어 저속, 고토크를 발휘하며, 정/역회전 응답성 좋음	• 광범위한 변속 가능 • 감속기어가 내장되어 있어 저속, 고토크를 발휘하며, 정/역회전 응답성 좋음
센서유무	• 스텝당 각도 오차가 적고 오차가 누적되지 않아 피드백을 하지 않음. • 한 번 오차가 발생하면 작동불가	• 제어 목적에 따라 센서를 별도 구성하여 사용가능	• 센서가 내장되어 있어 위치 오차를 보상함
외력하에 전원제거 특성	• 자기 유지력이 좋아서 브레이크 사용 없이도 정지 위치 유지가 가능함	• 정지 위치 유지 못함	• 정지 위치 유지 못함
오토스로틀 적합성	• 스텝핑 모터는 센서 없이도 간단하게 제어할 수 있는 점이 가장 큰 특징임. 그러나 스로틀 제어 입력 또는 속도 제어 입력을 위해서 별도의 센서를 장착해야 함	• 모터, 센서, 드라이버, 클러치 등 원하는 요소들을 원하는 대로 구성하여 활용 용도에 맞는 시스템을 개발할 수 있다는 것이 장점임.	• 클러치 장착이 어려움 • 클러치 장착 여부에 상관없이 포지셔닝 문제가 수반됨

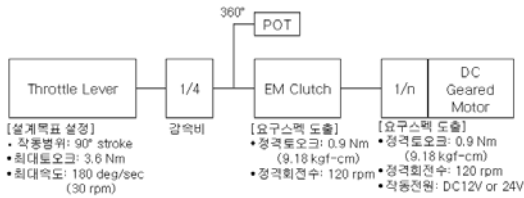


Fig. 5 Requirement Flow-down from Lay-out

스로틀 레버의 설계변수들을 결정한 뒤, 이를 토대로 Fig. 5와 같이 전자클러치와 모터의 필요한 제원을 산출하였다. 클러치는 미끄럼클러치(slip clutch)형태를 사용하여 수동/자동 전환을 부드럽게 수행하는 동시에 허용치 이상의 힘으로 스로틀 레버를 움직여 자동작동을 수동으로 일시적으로 오버라이드할 수 있는 기능까지 고려하였다. 또한, 클러치의 크기를 줄이고 포텐서미터의 측정범위를 최대한으로 이용하기 위해서 중간에 기어를 장착하였다.

3.2 효율을 고려한 요구전력 산출

모터 드라이버의 경우 Fig. 6과 같이 동력 전달 단계마다 효율을 가정하고 전달동력을 계산하여 요구전력을 산출하였다. 산출결과 12V 전원에서 작동하여도 제 성능을 발휘하려면 모터 드라이버의 허용 전류가 17A 이상 필요함을 확인하였고 이를 근거로 모터 드라이버를 선정하였다.

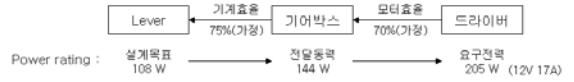


Fig. 6 Required Power Estimation

3.3 주요 구성품 1차 선정

예비설계 결과에서 도출된 주요 구성품들의 제원을 만족시키는 제품들을 조사하여 1차적으로 선정한 결과는 Table 2.와 같다.

4. 설계변경 및 상세설계

4.1 설계변경

상세설계 과정에서 제작의 용이성을 고려하여 축경을 통일하고, 베어링, 스냅링, 나사 등의 기계 부품류를 단일 규격으로 통일하기 위해서 예비설계 결과가 일부 변경되었다.

Table 3. Design Modification

	변경 전	변경 후
최종 감속비	1/4	1/6
스로틀레버 작동범위	90°	60°
전달 토크	0.9 Nm	0.6 Nm
전달 회전수	120 rpm	180 rpm

Table 2. Trade-off Result of Major Components

구성품명	모델명	제원	가선정 사유
전자클러치	AMC 10	·Static Torque: 1 Nm ·전원: 24 VDC	·정격 토크 만족
DC기어드모터	IG-42GM 1/49	·기어비: 49 ·정격토크: 1.8 Nm ·정격회전수: 120 RPM ·전원: 12 VDC	·정격 토크 만족 ·정격 회전수 만족
모터드라이버	NT-DMDSC-20A	·채널수: 2 ·최대전류: 20A ·제어신호: RS-232C, PWM	·전류 용량 만족 ·통신방법 만족
포텐서미터	J40S	·저항공차: ±5% ·외경: 40mm ·수명: 100만 cycle	·정밀도 높음 ·신뢰성 높음

이 과정에서 전자클러치, 모터 등 주요 구성품이 재 선정 되었다. 설계가 변경된 내용을 Table 3.에 요약하였다. 설계 변경된 사항을 적용하여 오토스스로틀 시스템의 구조를 Fig. 7 과 같이 확정하고, 최종 선정된 주요 부품 목록을 Table 4.에 정리하였다.

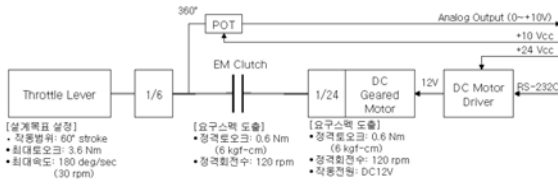




Fig. 7 Final System Configuration

Table 4. Final Component (COTS)

번호	부품명	규격	수량
1	EM 클러치 	토크: 0.5Nm 외경: 40mm 축경: 6mm	1
2	DC geared motor	전원: 12V 감속비: 24 정격토크: 10kgf-cm	1
3	DC모터 드라이버 	구동모터수: 2 최대전류: 20A 제어신호: RS-232C PWM Analog	1
4	포텐서미터 	저항공차: $\pm 5\%$ 수명: 10,000,000 cycle 외경: 40mm 축경: 6mm	1
5	푸시버튼 	2P ON/OFF (w/o lock)	2
6	커넥터 	MIL-5015 Box Mounting Receptacle Shell Size: 20 핀수: 8	1

4.2 상세설계

Fig. 7의 시스템 구조를 바탕으로 모든 부품들의 배치를 확정하고 형상을 결정하였으며 이를 토대로 각 부품들의 상세설계를 수행하였다.

상세설계 수행결과 총 62품목에 267개의 부품으로 설계를 확정하였다. 부품수가 많은 이유는 판재들을 조립하는 데에 필요한 나사류의 수가 많기 때문이다. 모든 부품들의 상호간섭, 정비용이성, 배선용이성, 조립방법 및 순서를 고려하여 상세 설계한 결과 Fig. 8과 같이 최종 설계를 확정하였다.

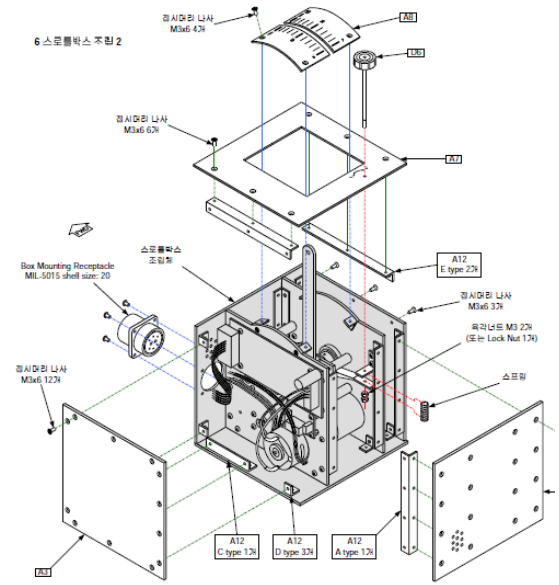


Fig. 8 Final Design

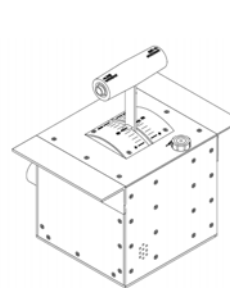


Fig. 9 Design Configuration



Fig. 10 Complete Configuration

오토스로틀 제작 결과 Fig. 9의 설계형상과 동일한 Fig. 10과 같이 제작품이 제작되었다. Fig. 10은 완성된 제작형상이며 Fig. 11는 이를 소형항공기 목업에 장착한 모습이다.



Fig. 11 Installation in Cockpit Mockup

5. 제어기 설계

5.1. 제어기 구조

시뮬링크를 이용하여 오토스로틀 제어기를 Fig. 12와 같이 설계하였다. 오토스로틀 제어기는 기본적으로 포텐서미터로부터 스로틀 레버의 위치신호를 외부루프로 피드백 받는 위치제어기이며 내부의 속도제어루프는 하위 제어기인 모터 드라이버에 전적으로 위임한다. 따라서 본 제어기에서 속도제어는 하지 않으며, 위치오차의 부호에 따라 모터의 회전방향만 바꾸어 주도록 설계하였다. 스로틀 값은 일반화된 인덱스 0~1로 정의하였다.

- 0: min
- 1: max

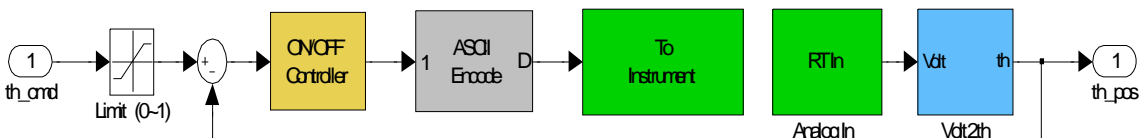


Fig. 12 Control Architecture

5.2. 포텐서미터 신호처리

포텐서미터의 신호는 0~1 사이의 스로틀 값이 출력되도록 스케일링을 했으며, 스로틀 레버의 작동범위가 기계적으로 제한되는 위치에서 모터가 과회전하지 않도록 스로틀 값을 의도적으로 제한하였다.

5.3. ON/OFF Controller

모터의 속도명령은 Fig. 13의 Constant Speed 상수 값을 모터 드라이버로 출력하여 항상 일정한 속도로 회전시키며, 모터 드라이버가 이 명령 값을 받아서 모터의 속도제어를 수행한다. 이 속도명령 값은 실시간으로 변경은 불가능하며 코드 수정을 통해서만 다른 속도로 변경할 수 있도록 설계하였다. 본 ON/OFF 제어기의 주된 역할은 위치 오차의 부호에 따라 모터의 정/역회전 신호만 바꾸어 주도록 설계하였다. 또한 포텐서미터 신호의 잡음 영향을 줄이기 위해서 스로틀 레버의 위치오차가 $\pm 2\%$ 미만일 때에는 모터를 의도적으로 정지하도록 설계하였다.

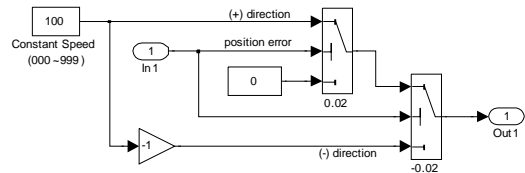


Fig. 13 ON/OFF Controller

5.4. ASCII Encode

다음의 모터 드라이버 명령어 포맷[4]을 아스키 코드로 전송하기 위해서 Fig. 18의 ASCII Encode 블록을 설계하였다.

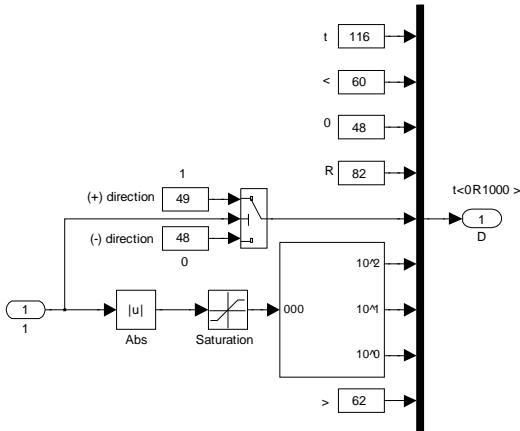
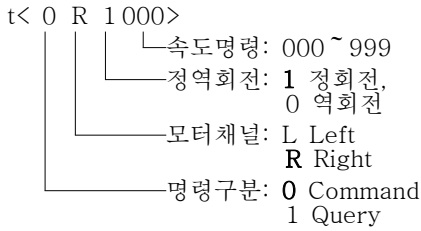


Fig. 14 ASCII Encode

각 Character에 해당하는 아스키 코드값을 1차원 배열로 나열하였으며, 모터 속도 명령 값은 세 자리 수를 각각의 아스키 값으로 변환하기 위해 한 자리 수의 문자로 분리하였다. 이는 제어기 설계 플랫폼으로 사용된 시뮬링크에서 문자를 아스키로 출력하기 위한 방법이다.

5.5. 오토스로틀 작동 결과

Fig. 15는 설계된 오토스로틀 제어기에 의한 오토스로틀의 응답을 보여준다.

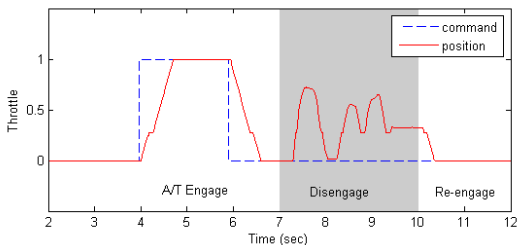


Fig. 15 Response to Auto/Manual Input

초기에는 제어기에 의해 명령값을 추종하다가 7초에서 오토스로틀을 끄고 수동으로 조작, 10초에서 다시 오토스로틀을 작동시킨 결과이다. 수동 작동 중에도 오토스로틀을 재연결하면 명령값을 잘 추종함을 볼 수 있다.

6. 결론 및 고찰

본 논문에서는 실제 항공기에의 장착이나 인증을 고려하지 않고, 지상 조종석 목업에 장착하여 소형항공기 FBW 시스템과 연동하여 HILS 시험을 수행하기 위한 목적으로 오토스로틀을 개발한 과정을 기술하였다.

오토스로틀 설계 과정은 구조해석은 고려하지 않고 단지 기능적인 역할에만 초점을 맞추어 진행되었다. 상용부품들을 최대한 이용하여 설계 부담을 경감시켰으며, 시험결과 만족스런 기능과 성능을 구현함을 확인하였다. 본 연구 결과는 추후 소형항공기용 오토스로틀이 본격적으로 개발되는 시기에 활용될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 공공기술연구회의 지원으로 시행한 다중화 FBW 비행제어시스템 핵심기술 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Noel Duerksen, "Advanced Flight Controls and Pilot Displays for General Aviation", AIAA 2003-2647, AIAA/ICAS International Air and Space Symposium and Exposition, July 2003.
- [2] 김응태, 김성필, 이장호, 성기정, 이대성, "소형항공기용 전자식비행제어 시스템 개발", 한국항공우주학회 추계학술대회, 2008년 11월.
- [3] Matthys J. Olieman, Sr. "Product Review of Motorized Throttle", MyCockpit.org, Aug.16, 2008.
- [4] NT-DMDSC-20A User's Manual, Ver1.02 firmware, (주)엔티렉스, 2008.