

# 중형아음속 풍동 유속 제어기 설계

## Design of wind speed controller for subsonic wind tunnel

최인호\* (한국항공우주연구원)

### 1. 서론

KARI LSWT 풍동시험 자동화 시스템(Wind Tunnel Automation System)은 2004년, 2005년의 2단계에 걸쳐 설치가 되었다. 본 논문은 풍동시험 자동화 시스템의 유속제어기 구현에 관한 내용이다.[2]

2000년도에 시험부 1-m 소형 풍동에서 PD제어기를 통한 유속제어기의 가능성을 검증하였고[1] 본 논문에서는 유속제어기의 GUI 패널 구성 및 알고리즘 구현상의 관점에서 기술하였다.

풍동시험 자동화 시스템은 PC Windows XP, Talent V. 4 분산처리 시스템을 기반으로 Visual Basic으로 구축되어 있고 유속제어 시스템은 제어 패널과 제어모듈로 구분되어 분산처리구조로 구축되어 있다.

### 2. 유속제어기 프로세스

유속제어기를 위한 프로세스는 그림 1과 같이 자동화 시스템, NEFF 471, GE PLC, 송풍기, MKS 압력측정 장비, Mensor 압력측정 장비로 구성되어 있다.

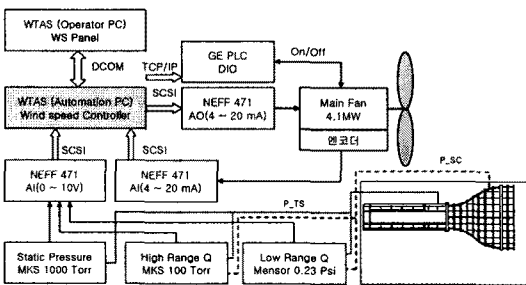


그림 1 유속제어기 프로세스

송풍기는 4.1 MW 모터, 하모니 드라이브와 팬으로 구성되고 4 ~ 20mA 전류 신호에 따라 회전수 가변방식의 유속 조절기로서 400rpm에

서 대략 120m/s, 8.82kpa의 유속을 발생한다.

하모니 드라이브는 0.1rpm의 제어성을 가지고 있고 모터의 엔코더에 의해 케환루프를 가진다.

유속을 측정하기 위해서 시험부의 정압은 MKS 1000Torr, 동압은 측정의 정밀도를 높이기 위해 고속은 MKS 100Torr, 저속은 Mensor 0.23psi 모듈을 사용하였다.

동정압 측정은 시험부와 정체실의 상하좌우에 4점의 측정포트가 있고 GE PLC의 로직에 의해 슬레노이드 밸브를 조절이 가능하게 하였다.

측정 및 제어장비는 기존의 GE PLC방식에서 피드백제어의 효율성을 위하여 디지털 입출력을 제외한 피드백루프를 이루는 채널은 NEFF 471로 변경하였다.[2]

### 3. 속도 제어기 기능

유속제어기는 피드백의 유무에 따라 RPM 제어 기능과 유속제어 기능을 갖고 유속제어기능은 목적 파라미터에 따라 유속모드 제어기와 Q 모드 제어 기능을 갖는다.

유속제어를 위한 제어기의 기능에 따른 명령어는 다음과 같이 구성하였다.

- StartMainFan : 송풍기를 가동 요청 명령
- StopMainFan : 송풍기 중단 요청 명령
- SelectPorts : 압력측정포트 선택 명령
- SetQ : Q 모드 유속제어
- SetWindSpeed : Wind speed 모드 유속제어
- SetFanSpeed : RPM 모드 유속제어
- SetWSMode : 피드백 모드 설정
- ShowWSStatus : 제어기 상태 표시

### 4. 속도 제어기 설계

#### 4.1 컨트롤 패널(Control Panel)

유속을 제어하기 위한 컨트롤 패널은 3장의

기능을 구현하기 위한 GUI로써 그림 2의 Wind speed Control, 그림 3의 Main Fan Control 2개의 패널로 구현하였다. 속도 제어기 패널의 설계는 사용자의 편의성을 최대한 고려한 단순 구조를 사용하였다.

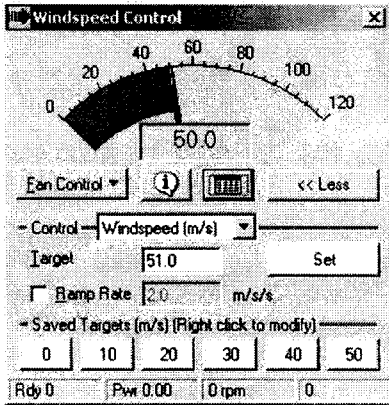


그림 2 Wind Speed Control Panel

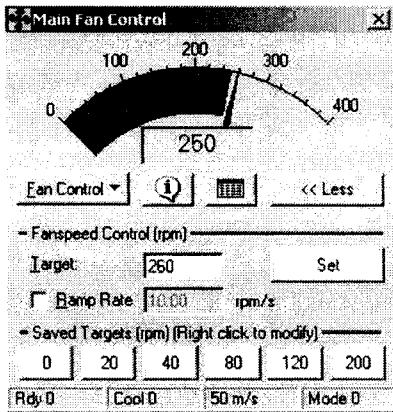


그림 3 RPM Control Panel

Wind speed Control Panel은 Q 모드와 Wind Speed 모드가 있고 제어모드 선택에 따라 표시계의 스케일이 자동 조정된다. 목표 값(Target Value)이 0이면 송풍기를 정지하고 목표 값이 0아닌 값일 경우 송풍기를 운전하도록 프로그래밍하여 별도의 On/Off 버튼을 삽입하지 않았고 버튼명령으로 Wind speed control에 필요한 파라미터를 표시하도록 설계하였다. 목표값(Target)과 증가율(Ramp Rate)을 조절 가능하도록 하였고 버튼에 의해 미리 설정된 값으로 제어 할 수 있는 기능을 갖도록 하였다.

Main Fan Control 패널은 Wind Speed

Control 패널과 유사하고 두 패널은 동시에 사용가능하다.

#### 4.2 유속 보정

유속제어기를 설계하기 위하여 유속제어기에 사용될 보정 상수를 구하기 위하여 보정을 수행하였다. 유속제어기의 보정식은 참고 문헌 [1]과 동일한 식을 사용하였고 보정시험 결과는 그림 4, 5 와 같고 보정상수는 표 1 과 같다.

$$\frac{P_{t\ probe}}{P_{S_{ts}}} = G_0 + G_1\left(\frac{\Delta P}{P_{S_{ts}}}\right) + G_2\left(\frac{\Delta P}{P_{S_{ts}}}\right)^2$$

$$\frac{\Delta P_{probe}}{P_{S_{ts}}} = H_0 + H_1\left(\frac{\Delta P}{P_{S_{ts}}}\right) + H_2\left(\frac{\Delta P}{P_{S_{ts}}}\right)^2$$

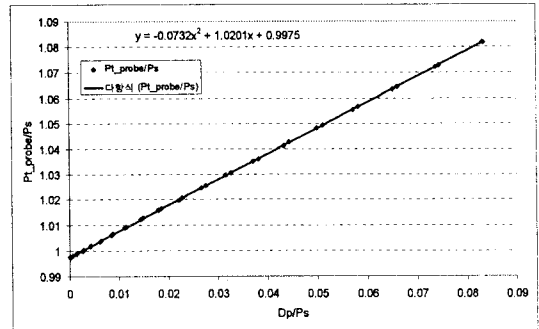


그림 4 Total Pressure 보정결과

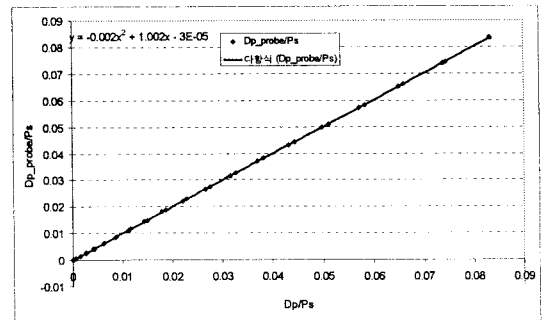


그림 5 Delta Pressure 보정결과

표 1 . 속도 보정상수

H0	-0.00003	G0	0.9975
H1	1.002	G1	1.0201
H2	-0.002	G2	-0.0732

4.3 유속 제어기

유속제어 알고리즘은 다음 그림과 같다.

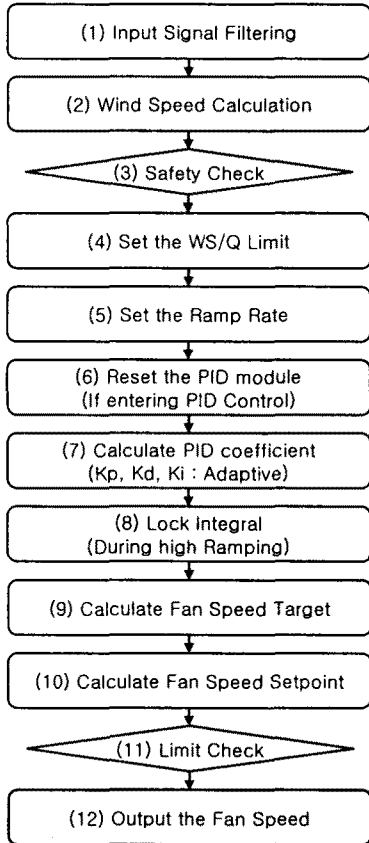


그림 6. 유속제어 알고리즘

(1) Input Signal Filtering

유속제어기의 동압을 측정하기 위해 MKS 100Torr와 Mensor 0.23Psid를 사용하여 Q(동압)을 계산하기 위한 알고리즘은 이기중 장비간의 보정차이에 의한 히스테리시스를 제거하기 위해 Weighted average algorithm을 사용하였다. 동압, 정압 측정 신호는 1'st order Low pass Filter, TC = 0.1 sec를 사용한다.

(2) Wind Speed Calculation

4.2의 유속보정 상수를 통해 계산한다. 풍동이 시험부를 교체할 수 있도록 설계되어 있어 시험부에 따라 보정상수를 선택할 수 있는 기능을 갖는다. 측정된 동압신호에서 변환된 Wind speed와 Q 파라미터는 1차 필터를 사용하여, 가감속시에는 시정수(TC) = 0.1 sec를 사

용하여 빠르게 제어하고, 목표부근에서는 TC = 2 sec를 사용하여 안정적으로 제어하였다.

(3) Safety Check

Safety Check 모듈에서는 Heat Exchanger사이의 압력, 주 송풍기 베어링 온도 와 주 송풍기 베어링의 진동을 측정하여 알람을 발생하도록 하였다.

(4) Set the WS/Q Limit

유속제어기에서는 RPM, Wind speed, Q 리미트를 사용하고 Limit가 모드 전환시 같은 값이 적용될 수 있도록 Limit를 설정하였다.

(5) Set the Ramp Rate

목표 값까지 도달시간을 계산하여 목표값 근처에서 Ramp Rate를 줄여 목표치에서의 진동을 줄인다.

(6) Reset the PID module

RPM 모드에서 Wind Speed모드로 전환시 RPM 출력을 Bumpless Transfer하기 위해 PID 모듈의 상태를 초기화 한다.

(7) Calculate PID coefficient

유속 목표 값에 따라 PID계수를 조절할 수 있는 기능을 추가하였다. 실제 파라미터 튜닝시 목표 값에 대한 PID 계수조정이 없이 잘 조절되어 PID 계수는 변화시키지 않았다.

(8) Lock Integral

유속을 증가하는 영역에서 적분기에 의해 제어기의 출력이 증대함에 따라 제어기가 정상작동을 하지 않기 때문에 적분기를 고정하여 제어하였다.

(9) Calculate Fan Speed Target

PID 제어기에 따라 계산된 피드백 값과 Setpoint된 피드포워드 값에 따라 Fan Speed Target을 계산한다.

(10) Calculate Fan Speed Setpoint

(5)에서 계산된 Ramp Rate에 따른 Fan Speed Setpoint를 계산한다.

(11) Limit Check

Fan Speed Setpoint의 Limit를 점검한다.

(12) Output the Fan Speed

Fan Speed 명령을 NEFF 471의 AO채널을 통해 출력한다.

5. 설계 결과 및 결론

4장에서 구현된 유속제어기의 빈 풍동에서의 유속명령에 대한 유속과 동압제어에 대한 시험 결과는 그림 7, 8과 같이 목표 값을 잘 따라간다. PID 계수의 튜닝은 PID 제어기의 각 성분의 효과를 나타내는 파라미터를 설정하여 반복적인 방법에 의해 수행하였다.

시험부에 풍동시험모델을 장착하고 육분력 측정시험에서 자동적으로 같은 유속을 유지한 상태로 피치 자세각을 변화시키면서 유속제어기에 의한 동압조절결과는 그림 9와 같이 모델 자세에 따른 봉쇄율(Blockage rate)에 대해 같은 유속을 유지함을 알 수 있다.

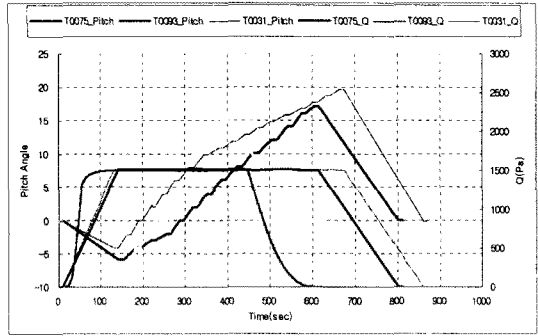


그림 9 모델 장착 시험(피치 변화)

본 논문을 통하여 풍동시험시 사용되는 유속 제어기의 GUI판넬과 구현 알고리즘에 대해 살펴보고 설계결과에 대한 풍동시험 사례결과를 살펴보았다.

현재 운영중인 KARI LSWT의 자동화 시스템에 유속제어기와 온도제어기, 모션제어기를 통합 구현하여 풍동시험 자동화를 수행하고 있으며 생산성 향상에 기여하였다.[3]

참고문헌

- [1] PD 제어기를 이용한 풍동 유속제어기 설계, 항공우주학회 추계 학술대회, p. 567-570, 2000.
- [2] KARI LSWT 풍동시험 자동화·시스템 설계, 항공우주학회 추계 학술대회, p.802-806, 2004.
- [3] KARI LSWT Wind Tunnel Automation System Engineering Report, 2004.

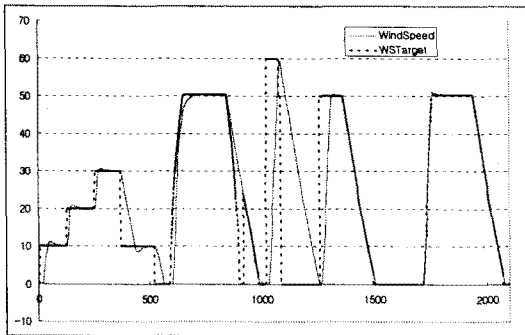


그림 7 시험 결과(Wind Speed)

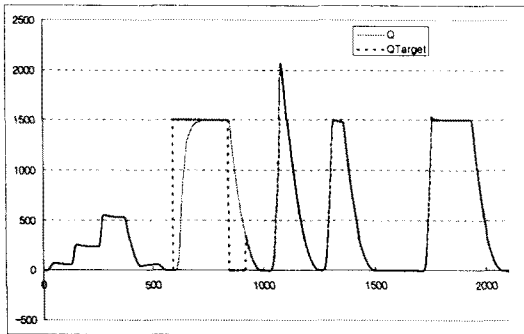


그림 8 시험결과(Dynamic Pressure)