

2. 각 Unit Operation 에 대한 고찰

Dynamic simulation에 필요한 아래 열거한 각Unit operation에 대한 관련자료가 input이 되어야 한다.

2.1 Main stream

물질 및 열이동의 simulation boundary에서 인입과 출구를 나타내며,unit operation 사이를 연결하는 역할을 한다.

Dynamic simulation에서는 boundary condition의 pressure specification과 flow specification을 고정하여야 한다.

2.2 Heat transfer equipment

Air cooler, cooler/heater, heat exchanger, fired heater 및 LNG multi flow heat exchanger가 있다.

2.3 Piping equipment

Mixer, tee, pipe, gas pipe, valve, 및 relief valve로 이루어진다.

2.4 Rotating equipment

Centrifugal compressor or expander, reciprocating compressor 및 pump등으로 이루어져 있고,dynamic simulation에서는 정확한 자료를 input 하는 것이 중요하다.

Rotating equipment 의 vendor data에 대한 자료의 input작업은 중요하다.

특히 Centrifugal compressor의 기본적인 지식 및 경험이 필요하다.

Centrifugal compressor의 flow control은

Speed control

Inlet guide vane throttling

Suction valve throttling에 의해 이루어지고

Minimum flow때 surge 발생을 방지하기 위하여

Anti-surge controller가 있으며

공정 system의 구성은

Parallel operation

Series operation이 있으며

각 compressor간

Capacity control

Load sharing control

Discharge pressure control에 대한 system구성이 중요하다.

Centrifugal compressor에 대한 용어 및 필요 사항을 요약하면 아래와 같다.

2.4.1 Compression ratio

한 stage 별로 suction pressure 로 discharge pressure로 나눈 값으로 compressor 의 압력을 결정하는 key factor이다. 이때 pressure는 absolute pressure를 사용한다. 예를들어 suction이 0.5 kg/cm2g 이고 discharge가 3.5 kg/cm2g일 경우 compression ratio는 $F = 4.5 / 1.5 = 3$ 이다.

처음 compressor를 대하는 engineer의 경우 pump 의 differential pressure의 개념과 혼동하기 쉬운대 이는 분명히 구분 되는 것으로 pump의 differential pressure가 3인 경우 suction pressure가 3kg/cm2g이면 discharge pressure는 $3+3 = 6$ 이 된다.

하지만 compressor의 compression ratio가 3 인경우 suction pressure가 3kg/cm2g이면 discharge pressure는 $4 \text{ kg/cm}^2 \times 3 = 12 \text{ kg/cm}^2$ 가 되어 11 kg/cm2g가 된다. 따라서 mult-stage compressing 의 경우 중간단의 pressure 를 결정할 경우 다음과 같이 결정된다.

Suction pressure가 0.5 kg/cm2G 이고 final discharge pressure 가 10 kg/cm2G 인 경우 2 stage compressor의 경우 compression ratio 는 $F = (11 / 1.5)^{(1/2)} = 2.708$ 이 된다. 이에 inter stage cooler에 의한 pressure margin을 조금 주어 2.85 정도 결정 되면 무난하다. 이때 중간 1'st stage discharge pressure는 $P1 = 1.5 \times 2.85 = 4.28$ 즉 3.28 kg/cm2G가 된다.

2.4.2 Adiabatic efficiency

모든 기체는 이상 기체가 아니므로 Isentropic efficiency는 compressor 효율을 따지는데 별의미가 없다. 따라서 adiabatic efficiency와 mechanical efficiency로 효율을 나타내는데 adiabatic efficiency는 단열 압축시 이론상 필요한 에너지를 실제 compressor가 사용하는 에너지로 나눈값.

2.4.3 Performance map

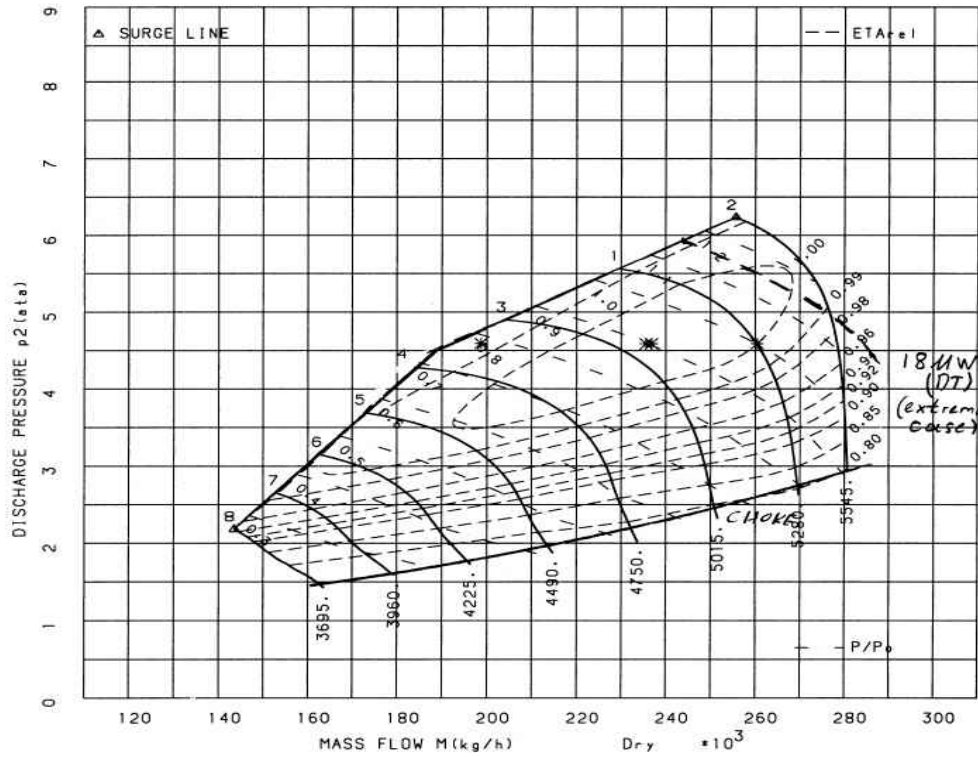
보통 process compressor 의 경우 pump의 performance curve와는 달리 performance area, performance map이 있는데 즉 하나의 운전 곡선을 따라 움직이는 것이 아니고 어느 일정한 운전 영역이 있다.

이러한 운전 영역은 turbine driven compressor의 경우 turbine 의 속도에 따라 계속하여 performance curve가 변하므로 운전 영역이 생기는 것이고 motor driven의 경우 variable motor를 사용할 경우 turbine driven가 같이 speed의 변화에 의하여 운전 영역이 발생한다. 하지만 variable motor를 사용할 경우 전기의 frequency를 바꾸어 줄 수 있는 frequency converter가 있어야 한다.

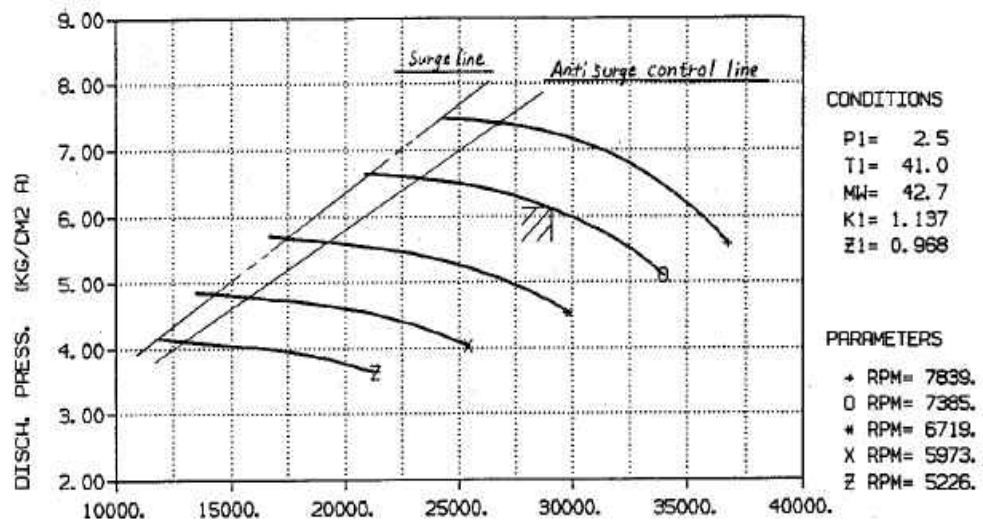
Fixed speed motor의 경우는 이와는 달리 guide vane이라 하여 compressor의 suction side에 blade와 흡사한 형태의 vane을 달아서 compressor 에 유입되는 gas를 제어하여 결국 guide vane의 각도에 따라 performance curve가 생기므로 운전 영역을 형성하게 된다.

Performance map은 compressor의 운전상태를 규정 짓고 또 확인 할 수 있는 매우 중요한 data로 반드시 보는 법을 알고 있어야 한다.

먼저 왼쪽은 discharge pressure혹은 inlet pressure (Absolute pressure를 많이 사용함)이고 아래쪽은 mass flow 혹은 volume flow을 나타낸다. 대표적인 speed curve혹은 guide vane 각도에 대한 curve가 있고 위의 연결 선은 surge limit line 아래의 연결 선은 choking line이 된다.



Axial compressor performance map



Centrifugal compressor performance map

2.4.4 Surge와 choking의 개요

Surge

- Surging 현상은 compressible fluid (Gas or vapor) 를 압축하는 compressor 에서 많이 일어나는 현상으로 incompressible fluid를 압축하는 pump의 경우 discharge line이 매우 길거나 discharge line의 높낮이 차가 큰 경우를 제외하고 일반적인 process에서는 크게 고민할 필요가 없다. 일상생활 중에 많이 일어나는 현상중 병에 물을 채운후 갑자기 꺼꾸로 들 경우 물은 쿨렁 쿨렁하면서 물의 흐름이 일정하지 않고 병에 약간에 힘을 가하며 흔들림이 있다. 하지만 병을 천천히 기우리면 물은 조금씩 일정하게 조용히 쏟아진다.

이와 같이 compressor에서도 compressor 의 특성에 의하여 operation 될 수 있는 performance curve area가 있는데 이 area의 upper limited를 초과한 경우 surging 현상이 나게 된다.

Surge의 원인

- Surging 현상이 일어나는 이유는 여러가지가 있는데 대부분이 process operation 상의 문제에 의하여 발생 된다.

1. Suction side의 flow가 모자라는 경우
2. Suction side 의 pressure 가 올라가는 경우
3. Discharge flow가 valve 등에 의해 restriction 되는 경우
4. Control system의 mal-function에 의해 speed가 갑자기 올라 가는 경우

Surge 의 현상

- 실제로 compressor에서 surge가 생기면 compressor 에 기계적으로 damage 를 입게 된다. 일반적으로 Vibration 이 증가하고 rotor나 blade bearing pad등에 무리를 주어 기계적인 damage가 있다. 이때 compressor는 surge count가 있는 경우 surge count에 의해 shut-down 되거나 Vibration high로 shut-down 된다.

Choking

- Choking은 axial compressor에서만 있는 현상으로 기계적으로 centrifugal과는 다른 형태로 기체를 compressing 하므로 생긴다. 다음의 그림에서 보듯이 centrifugal의 경우 discharge pressure가 낮은 경우 casing 안에서 pressure가 많이 built-up 되지 않고 pressure의 profile이 smooth한 반면

axial compressor는 축 방향으로 기체를 compressing하므로 각 stage 별로 계속하여 compressing 하므로 마지막 stage에서 압축된 기체가 한꺼번에 압력이 낮아지면서 모든 운동 에너지가 마지막 blade에 힘을 가하여 일어나는 현상으로 마지막 blade의 온도가 급격히 높아지며 mechanical damage를 입는다. axial compressor의 start-up시는 항상 choking현상에 걸리게 되어있다. 이때 빨리 anti-surge valve(혹은 blow-off valve)를 정상 service하여 주어 choking zone에서 벗어 나게 해야 한다.

Choking 현상이 일어 나면 가장 먼저 vibration 이 증가하고 청음봉을 사용하여 compressor의 소리를 들어 보면 쓰르르 쓰르르 하는 압축기체가 제한지역을 팽창하며 지나가는 듯한 소리가 난다. 그러나 surging과는 달리 vibration이 shut-down 될 정도로 심하지 않으므로 자칫하면 발견하지 못하고 넘기는 수가 있다.

AXIAL COMPRESSOR

CENTRIFUGAL COMPRESSOR

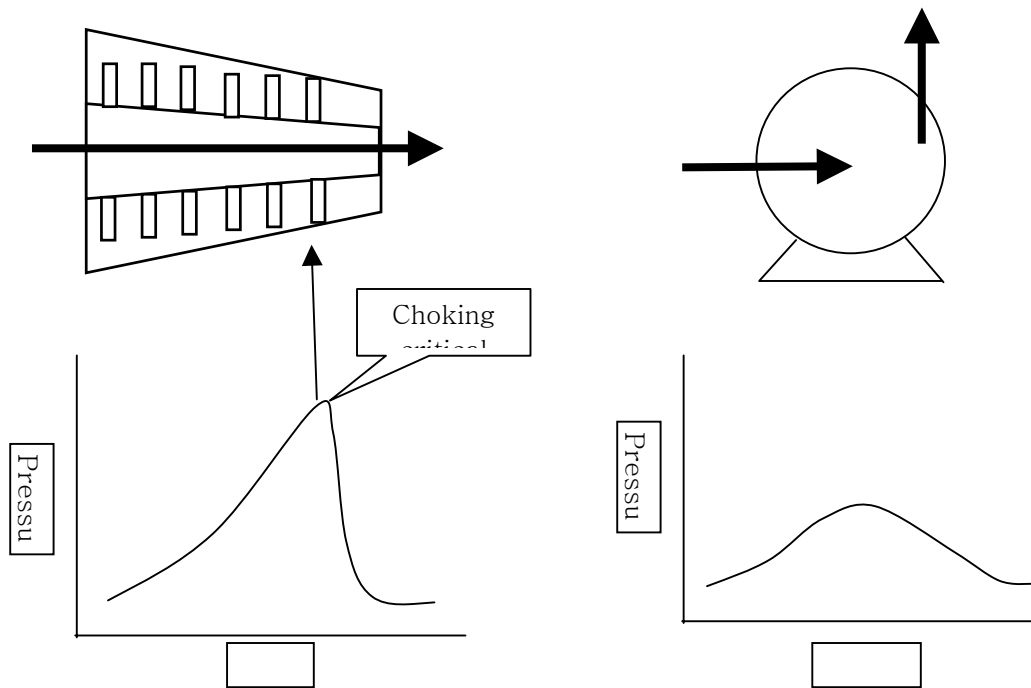
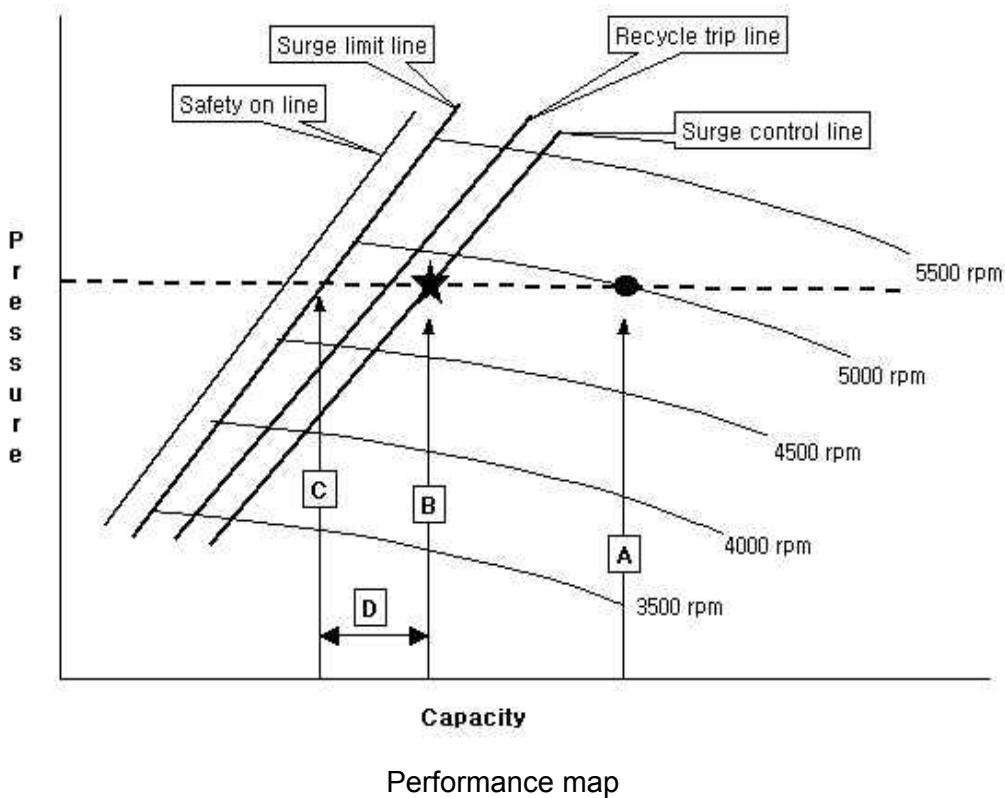


FIG. 1

2.4.5 Anti-Surge control

Anti-surge control을 이해하기 위해서는 먼저 performance map을 이해 해야하고 anti-surge control내에도 매우 복잡하고 다양한 구성을 할수 있는데 여기서는 process engineer가 design시에 알아야 할 사항과 현장에서 시운전시 필요한 사항에 대해서만 간략히 다루겠다. 좀더 자세한 내용을 보고 싶은 경우 Attached 된 CCC manual을 참고 바란다.



위의 Performance map에서 compressor가 pressure 에 의하여 control 되고 있을 경우 normal operation시 “A” point에서 운전 되다가 어떠한 이유에 의하여 suction flow가 줄어들게 되어 compressor는 일정한 discharge압을 유지하기 위하여 “B” point로 operation point가 옮겨 지게된다. 이때부터 anti-surge control 는 compressor에 일정 양 이상의 gas flow를 유지하여 주기 위해서 control이 시작된다.

더욱 suction flow가 줄어들게 되어 process에서 들어 오는 net gas 양이 point “C” 까지 줄어들면 anti-surge control valve 는 open 되어 gap “D” 만큼의 gas양을 suction side로 되돌리거나 blow-off 하여 suction gas의 양을 일정양 계속 확보하여 compressor의 operation point가 surge control line 을 넘어 가지 않게끔

control 하는 것이다.

여기에서 가장 중요한 부분은 surge limited line으로 이line을 구성하여 controller 안에 configuration 하면 특별한 요구가 없는 경우 나머지 부분들도 구성되는데 자세한 것은 현장에서 수행되어야 할 부분에서 다루고 먼저 각 line의 특성에 대하여 설명하겠다.

- Surge control line

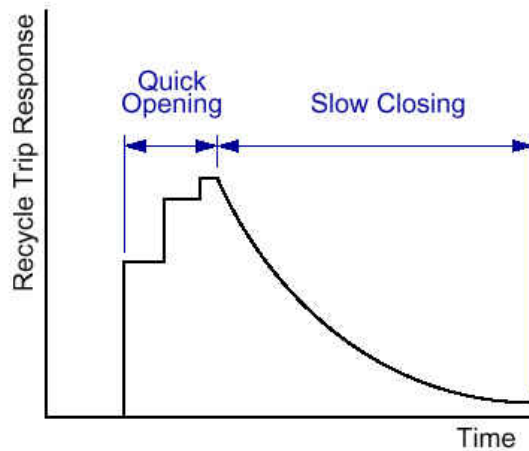
Surge control line은 compressor가 normal operation시 보통 surge control valve 는 fully close 되어 operation 되는데 점점 surge zone으로 옮겨 가기 시작 할 때 surge-control valve가 control이 시작되는 부분이다. 따라서 surge controller가 정상작동 중이고 valve에 이상이 없다면 control line 위에서 operation 되면서 control line 을 따라 움직이는 수는 있어도 이를 넘어 가지는 않는다. 물론 process 상의 gas양이 갑자기 변하는 등의 경우, gas의 양은 일정한데 speed가 performance controller에 의해 빠르게 변할 경우 등은 예외이다.

- Recycle trip line

이미 surge control line을 넘어서 운전될 때 처음 만나게 되는 현상으로 anti-surge controller는 계속하여 compressor를 정상화 시키기 위하여 valve 를 step function으로 opening한후 천천히 닫으면서 surge control line위로 operation point를 surge control line위로 옮겨 주려 한다.

Recycle trip이 발생하면 compressor의 보호를 위하여 anti-surge controller 는 surge-control line, recycle trip line, surge limited line, safety on line을 조금씩 낮춘다. 따라서 surge control line위에서operation이 가능한 point까지 gas flow가 확보가 되어도 이미 모든 line들이 조금씩 옮겨져 계속하여 recycle trip action을 일으킬 수 있다. 이경우 controller에서 recycle trip ramp를 확인하고 reset 해주어야만 모든 line을 정상 point로 되돌려 정상적인 operation이 가능하다.

Recycle trip의 전형적인 valve response는 다음과 같고 compressor에서



flow가 서서히 증가후 갑자기 줄어드는 현상이 아주 주기적으로 약 3-10 분 cycle로 일어 난다.

- Surge limited line

실제로 surge가 일어나는 point로 compressor vendor가 제공하는 surge line 이 있고 현장에서 test하여 실제 surge point가 일어 나는 point를 test한후 현 장의 여건 혹은 owner의 preference에 의하여 결정된다. 어떻게 결정하여야 하는지는 다음에서 좀더 자세히 설명하겠다.

- Safety-on line

이 point에 도달하면 이미 surge 가 발생하고 controller는 정상적으로 surge를 protection 못한것으로 anti-surge valve는 완전히 full로 열린다. 일반적으로 anti-surge controller 자체의 function 만으로는 compressor를 shut down 시키지 않지만 보통 compressor 에 surge count가 있어 이정도 상태가 되면 surge count에 의하여 compressor는 shut down 된다. Anti-surge controller에도 safety-on ramp가 들어온다.

2.4.6 Anti-surge control valve 및 system 설계시 주의 사항

- Instrument system

다음의 그림에서 보듯이 anti-surge controller는 speed signal, inlet / outlet의 pressure, temperature signal과 flow signal를 받는다. 보통 flow signal은 어느 한곳의 signal만을 사용하는 경우가 많다. 이 signal들은 sensor에 의해 값이 pick-up된후 transmitter를 거쳐 controller에 전달되는데 일반적인 transmitter의 경우 repines time이 매우 늦다. 보통 process에서 step input

이 있었을때 transmitter가 step값의 약60-70% 값을 나타낼 때 까지의 시간으로 보통 약200 msec즉 0.2초를 요구한다.

물론 speed signal의 경우 governor에서 direct로 anti-surge controller로 가므로 고려하지 않아도 된다. Process사항은 아니지만 anti-surge controller에 연결된 signal의 경우 보통 isolation barrier를 요구하므로 compressor 발주시 기계나 계장에서 확인 해보아야 한다.

또한 Anti-surge control vendor가 각 instrument item의 range를 요구하는데 이 경우 정확한 값을 주어야 하고 range가 바뀌면 즉시 통보해 주어야 한다.

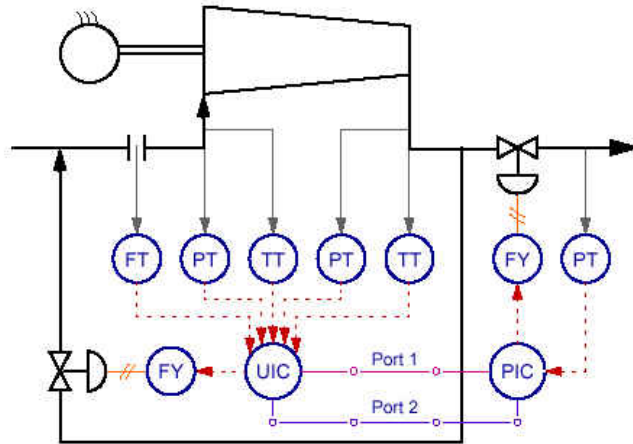
그리고 각 signal의 sensing tube 의 경우 tubing 안에서 condensate가 생기는 경우에 대하여 대비할수 있는 design 이 필요한데 먼저 sensing tube line이 transmitter로 들어 가기 전에 condensate drain pot를 설치하여야 하고 sensing line에 slope이 compressor나 line_쪽으로 주어 transmitter로 condensate가 들어가지 못하고 compressor나 line으로 빠지게끔 하여야 한다.

특히 air compressor system에서는 slope을 주지 않은 경우 operation 후 transmitter의 mal-function에 의한 shut-down이 자주 일어난다.

또한 transmitter의 경우 vibration이 심한 point에 설치 할 경우 vibration에 의한 nose가 발생하므로 plate form 상에 설치시 이를 고려하여 vibration 이 심한 지역을 피해야 한다.

현장에서 mechanical test run혹은 다른 이유에 있어 surge test 이전에 compressor를 돌릴수 있는 상황이 있을수도 있으므로 anti-surge controller vendor에게 initial로 compressor vendor가 제공한 surge line을 기준으로 configuration 할 것을 권장한다. 그러나 surge test 없이 compressor를 정상 operation하는 것은 결코 바람직하지 않다.

그리고 될수 있는한 surge control valve의 opening percent를 PLC를 거쳐 serial communication signal로 DCS에 보내주는 것이 좋다. 그렇지 않은 경우는 현장에서 확인하거나 speed와 pressure등에 의해 performance map에서 추정하게 되므로 trouble시 매우 불편하다.



- Anti-surge valve sizing

일반적인 control valve의 경우 계속하여 opening되어 process를 control 하는 것이지만 surge valve는 빨리 surge 현상을 해결하고 compressor를 정상으로 되돌려야 하므로 다른 control valve의 sizing보다 큰 valve를 요구한다.

Rated capacity에서 compressor의 differential pressure와 capacity로 control valve를 sizing 한후 CV값의 1.8~2.2배로 CV값을 결정하는 방법과 Capacity가 매우 큰 compressor의 경우 (FCC main blower등) maximum capacity에서 operation point discharge pressure와 maximum discharge pressure의 75%중 작은 값으로 sizing하는 방법이 있다.

두 가지 방법 모두 사용해본 결과 별 무리가 없었다.

- Anti-surge valve의 requirement

Control valve의 특성에는 다음의 그림에서처럼 equal-percentage, linear, quick opening type이 있는데 보통 linear 특성의 valve를 많이 요구는데 요즘은 valve의 특성에 크게 구여 받지 않고 다사용할수 있다고 한다. 하지만 대형 compressor의 경우 여전히 linear 특성을 요구하는 경우가 많으므로 반드시 vendor와 control valve characteristic에 대하여 confirm 하여야 한다. 다음은 valve의 동작특성으로 opening시 3% 이상의 변화가 있을 때 opening이 시작 되어야 한다. 즉 controller 에서 0% 에서 3% 까지 값의 변화를 주었을 때 valve가 opening을 시작하여야 한다. 이것은 valve의 특성이라고 보기 보다는 현장에서 설치시 positioner 와 tubing의 size, 길이 등에 좌우 된다.

그리고 중요한 특성중 하나는 valve opening 속도로 control signal에 의하여

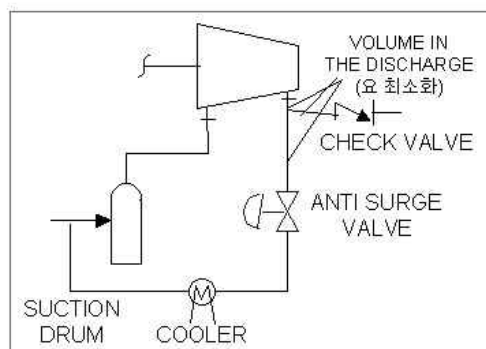
valve가 open 될때는 0%에서 100% open 까지 2 초이내에 열려야하고 logic에 의하여 solenoid valve에 의하여 open 될 경우는 1초 이내에 완전히 열려야 한다. 이러한 time limitation은 actuator size와 air tubing size, length, positioner type 등에 좌우 되므로 설계시 반영하여 valve vendor가 처음부터 반영하도록 하여야 현장에서 문제가 없다. Valve의 close 속도는 크게 문제 삼지 않는다.

보통 anti-surge valve는 compressor의 보호를 위하여 fail open position이므로 instrument air가 빠질때 valve 가 open된다. 때때로 이러한 time limitation을 극복하기 위하여 air line에 quick exhauster를 달기도 하는데 이는 바람직하지 않다. 사용하여 본 결과 step wise 하게 valve가 열리는 경향이 있어 권장하지 않는다. 이런 경우는 actuator를 바꾸거나 tube size를 키우는 것이 바람직하다.

실제로 큰 size(20"이상)의 valve의 경우 이러한 time limitation을 지키는데 instrument air를 사용하는 pneumatic system으로는 다소 무리가 있으므로 hydraulic system으로 고려하는 것이 바람직하다.

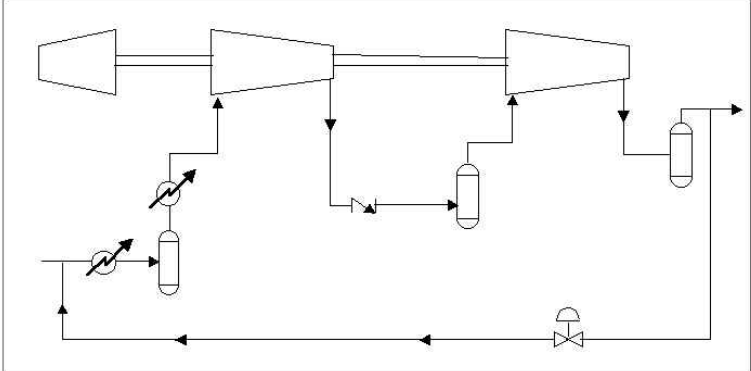
- Anti-surge valve의 설치

1. Antisurge Valve는 가능한 한 Compressor Discharge에서 가까울것.
2. Discharge 에서 Antisurge Valve까지 최단거리로 할것
3. Recycle 배관내에는 Check Valve 설치 불가
4. Check Valve가 Downstream에 있을것
5. Cooler가 필요시 분리하여 설치요 (Antisurge & 공정측 각각)

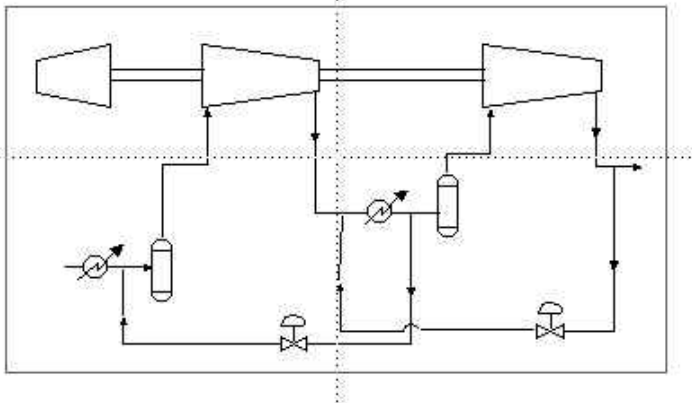


2.4.7 Anti-Surge system의 주의점

2 CASING에 RECYCLE VALVE 1개를 공유 : 응답속도 늦음

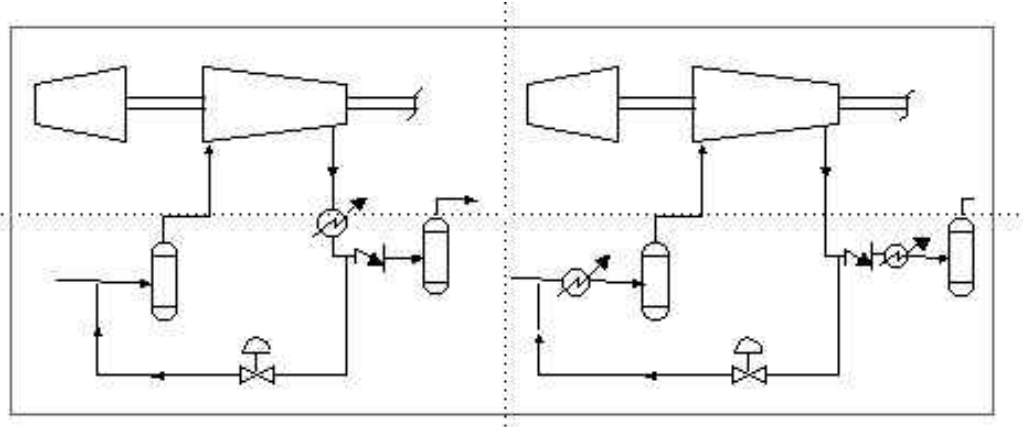


Cooler를 공유하면 Recycle동작이 늦음



Cooler 지나서 Recycle : Lag Time 발생함(피할것)
추천함

Cooler 전 에서 Recycle :



2.5 Separator operations

: Separator, 3 phase separator, tank, short column 및 column component splitter 등으로 이루어져 있다.

2.6 Column

Distillation column, reboiler 및 condenser 등으로 이루어진 reflux column을 말한다.

2.7 Reactors

CSTR/general reactor, 및 plug flow reactor 등으로 이루어져 있다.

2.8 Solid separation operations: Simple filter, cyclone, hydro-cyclone, rotary vacuum filter , 및 bag-house filter 등으로 이루어져 있다.

2.9 Electrolyte operation

Neutralizer operation, precipitator operation, crystalizer operation 등으로 이루어져 이다.

2.10 Logical operation

Adjust, balance, boolean operations, control operation, digital point, recycle, selector, block, set, spread sheet, stream cutter, transfer function, controller face 등이다.

System 전반의 process condition의 control 등에 필요하다. Event scheduler와 Logical operation 등과는 sequence control, start-up, shut-down 및 simulator에서 cover하지 못한 부분의 공정모사를 하려고 하는 의도에 맞도록 일부 보완하는데, 혹은 공정 모사를 편하게 사용되는 기구이다. Event scheduler 및 integrator