

분산제어 설비를 이용한 Fan Stall Warning System 설계(I)

노용기* 조현섭** 장성환*
*원광대학교 전기공학과
**청운대학교 디지털방송공학과
e-mail : ygroh@korcham.net

Fan Stall Warning System Design Using the DCS Logic(I)

Yong-Gi Roh* Hyeon-Seob Cho** Sung-Whan Jang*
*Dept of Electrical Engineering Wonkwang University
**Dept of Digital Broadcast Engineering Chungwoon University

요 약

500MW급 대용량 보일러 통풍계통의 Fan Stall 감시 장치는 Fan 이상 발생시 Fan을 보호하기 위하여 정지시키는 기능을 한다. 그러나 Fan Stall 감시 장치의 빈번한 고장으로 신뢰성이 저하되고 운전에 영향을 미치므로 이것을 DCS Logic으로 구성하여 신뢰성을 향상시켰다.

1. 서 론

최근 건설되는 표준석탄화력(500MW) 발전소의 보일러 통풍계통에는 연소용 공기공급과 연소가스 배출용 송풍기로 축류형이 채용되고 있다. 축류형 송풍기(Axial Fan)는 저압(약 400mmAq), 대유량(약 20,000m³/min) 송풍기로 고속운전이 가능하며 기체는 축방향으로 유입되어 축방향으로 유출한다. 최근 항공산업의 발달로 효율(약 90%)은 원심형보다 좋으며 날개사이를 흐르는 유체에 무리한 만곡이 없기 때문에 고속운전, 대유량에 적합하다[1]. 특히 풍량 조절은 유압식으로 동익의 각도를 제어하므로 부분 부하에서도 효율의 저하가 적은 특성을 보이나, 원심형 송풍기에 비하여 설계점 이외의 풍량에서는 효율이 갑자기 떨어지는 결점이 있다[2].

2. 축류형 송풍기 운전특성

2.1 축류형 송풍기

축류형 송풍기의 작용은 Impeller의 양력 작용에

의한 것으로 그 날개 형상이나 작용이 Propeller와 비슷하다. 특징으로는 다른 송풍기에 비해 고속운전이 가능하며 크기를 작게 할 수 있고 또 원심형과 같은 와류실이 없어도 축방향으로 송풍할 수 있으므로 관로 도중에도 간단히 설치할 수 있다. 축류형 송풍기가 원심형과 같은 풍압을 얻으려면 약 2배의 원주 속도가 필요하다[3]. 따라서 회전에 따르는 소음도 그만큼 증가되므로 주로 저압, 대유량에 사용된다.

<그림 1>은 보일러용 축류형 송풍기의 외형이다. 축류형 송풍기는 일찍이 유럽에서 채용되었는데 현재에도 대형 송풍기가 제작되고 있다. 보일러가 대용량화됨에 따라 압입송풍기의 구동동력이 비약적으로 증가하므로 크기가 작아 설치면적이 적게 들고 동력의 소비가 적어 500MW이상의 대용량 보일러에 채용된다. 축류형 송풍기의 풍압특성곡선에는 변곡부가 있어 운전상 불안정한 영역이 있으므로 운전에 유의해야 한다.

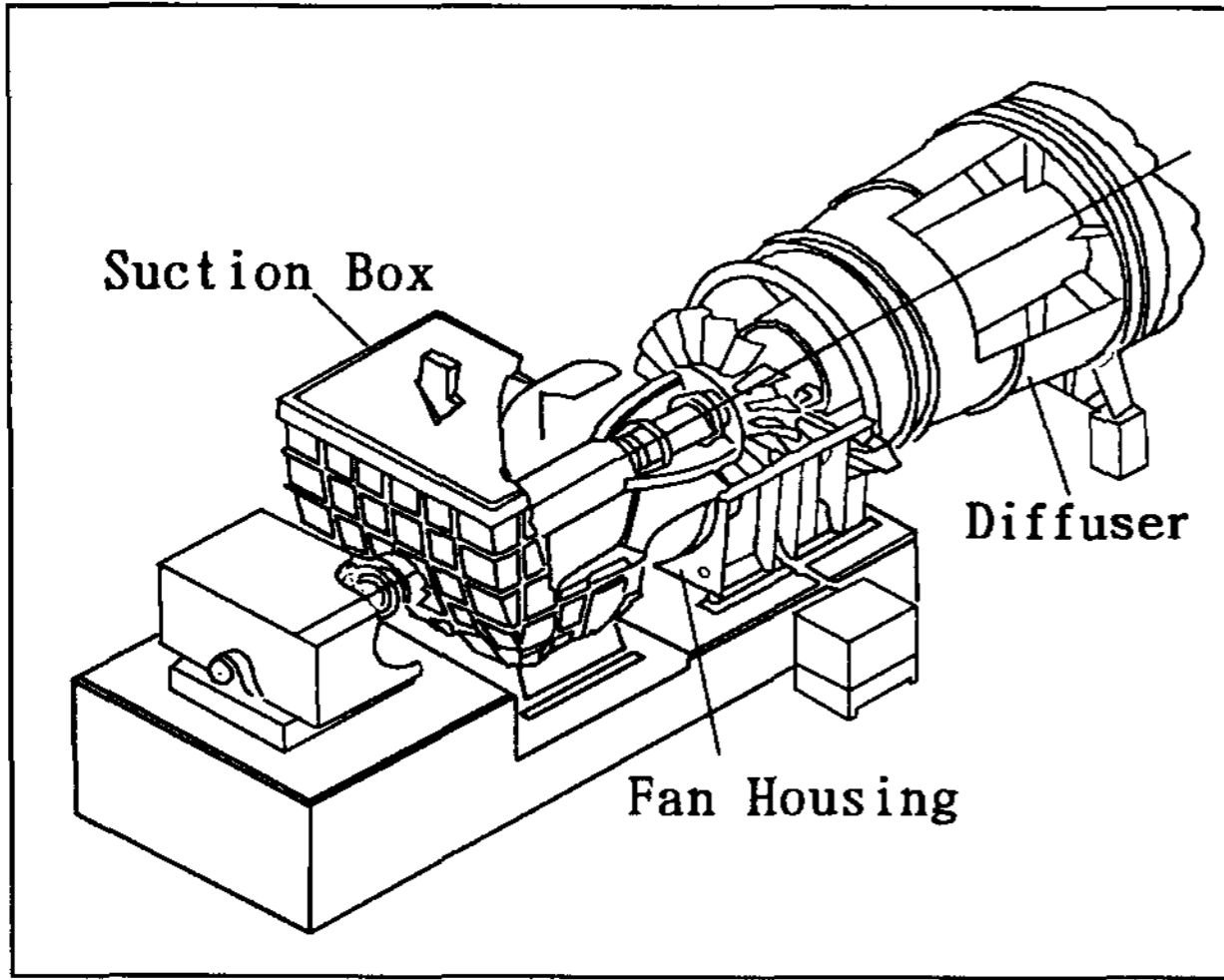


그림 1. 보일러용 축류형 송풍기

2.2 Stall의 정의

일반적으로 유선형 날개에 있어서 유체의 유동방향과 날개의 각(영각, 迎角)이 증가하면 날개 주위에 회전유동이 일어나므로 양력이 증가하게 되나, 영각이 더욱 증가하면 날개 뒷면에 난동기류가 형성되어 날개 표면에서 공기유동이 박리되고 영각이 더욱 증가하면 박리 위치는 점점 날개 표면 전체로 확산되는데 이러한 현상을 Stall이라 한다.

Stall은 항공기에서 사용하는 용어로서 항공기 운항시 비행속도에 맞는 적절한 영각을 유지해야 양력을 얻어 앞으로 추진하는데 속도에 따른 날개각도가 과도하게 많거나 적으면 날개 이면 또는 배면에 공기흐름이 박리되어 비행기가 갑자기 속도를 잃게 되며 이러한 현상 일컬어 실속(失速)이라 한다.

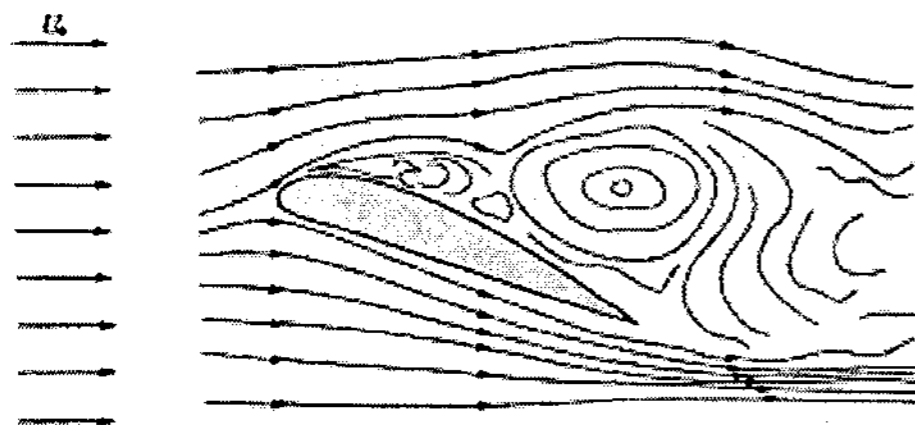


그림 2. 翼型의 공기 유동

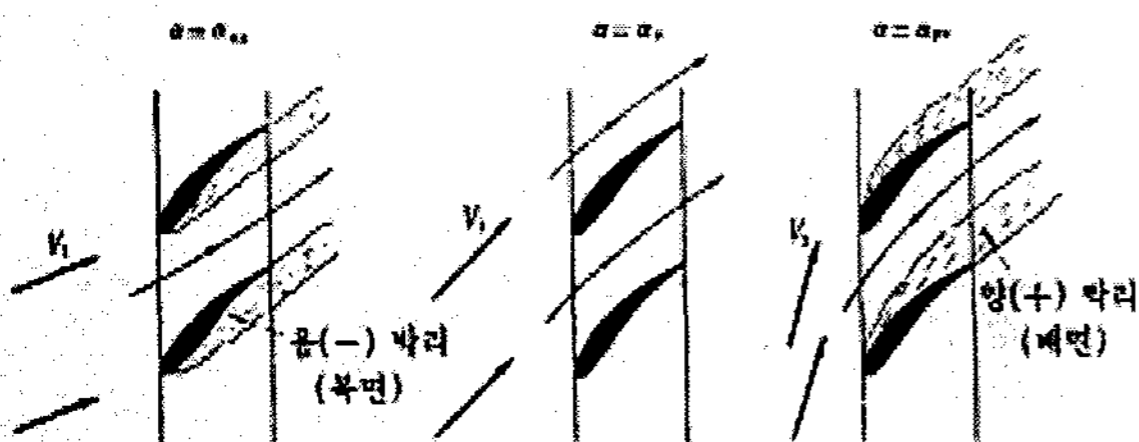


그림 3. 유체각도에 따른 박리현상

발전소의 축류형 송풍기에서 Stall 현상은 송풍기 운전중 입출구의 통로 장애로 공기 흐름이 원활하지 못하면 체적 유량의 감소와 함께 비(比)에너지가 증가하며 공기 흐름에 맥동이 발생하여 송풍기가 진동하거나, 송풍기의 날개에 손상을 일으킨다. 따라서 축류형 송풍기의 Stall 현상은 송풍기의 “공기 맥동현상”이라 해야 한다.

2.3 Stall 원인

축류형 송풍기의 Stall 원인은 송풍기의 입구 또는 출구가 댐퍼나 Ash의 누적등으로 막혀 송풍기 동익의 개도와 비교하여 유량의 흐름이 지나치게 적고 비에너지가 커지는 경우에 발생하며 가장 큰 원인은 다음과 같다.

- ① 통풍 덕트 내부 단면적 감소
 - Fan 입구 또는 출구 측 댐퍼 단힘(변화가 급격하고 심각한 현상초래)
 - 탈황설비 승압 송풍기의 급격한 난조발생
- ② 공기에열기 소자에 Ash 누적등으로 Element 막힘
- ③ 배기가스 통로에 습한 Ash 누적으로 막힘
- ④ 전기집지기 내부 통로 막힘
- ⑤ 제어카드 불량으로 Fan Pitch Blade가 과도하게 열림

2.4 Stall 발생시 현상

첫째, 송풍기 내부가 공기흐름의 맥동에 의하여 부하가 크게 변동하므로 Stall 발생시 Motor 전류가 크게 변동한다.

둘째, Fan Housing 진동이 발생하나 Brg 진동 감시 설비에는 큰 변화가 나타나지 않으며 Fan Stall 발생 여부를 확인하기 위하여 현장에서 직접적으로 확인하거나 Fan Housing에 별도로 진동 감시설비의 신설이 필요하다.

셋째, Fan Stall 발생시 Motor Current와 함께 풍량 및 풍압이 매우 불안정한 모습을 보이므로 Fan Stall을 확인하기 위하여 Fan 입출구에 풍압 및 풍량 감시설비 신설이 필요하다. 기존의 Stall 감시 장치는 Fan 입출구 압력을 측정하여 Unit 자체에서 계산용으로만 사용하고 압력은 알 수 없으나, 이번 현장기술 개발 과제에서 Stall을 계산하기 위하여 Fan 입출구에 압력 전송기를 신설하여 압력을 측정하므로 압력 감시뿐만 아니라 계산용으로 사용하므로 감시의 2중 효과가 있다.

넷째, Stall이 발생한 Fan의 부하 감소로 정상적인

Fan의 역할을 수행하지 못하므로 공기량 또는 노내압력 유지하기 위하여 상대 Fan의 Pitch Blade 개도가 증가하고, 풍량 증가에 따라 전기집진기가 부분정지되는 현상이 발생한다.

다섯째, Stall 발생에 의해 풍량 및 유속이 감소하여 공기에열기에서 열교환이 충분히 이루어지므로 공기에열기 출구 온도가 강하하는 반면 상대편 Fan의 풍량 및 유속은 증가하여 공기에열기에서 열교환 시간이 짧으므로 공기에열기 출구 온도는 증가한다.

여섯째, Stall 발생측 Fan 풍량이 적은 상태에서 흔들리므로 노내압이 변동한다.

① Stall 발생시 공통현상

- Fan Motor Current 변동
- ID Fan A Pitch Blade 개도 100% Open 및 Rundown Active로 출력감소
- 노내 압력 변동
- GAH Outlet Temp 변동
- 기스유속 증가로 전기집진기 부분정지

② Stall 발생시 상황

표 1. Stall 발생시 상황

구 분	내 용	정 격
GEN OUTPUT	500MW → 520MW	500MW
Furnace Pressure	-5mmH ₂ O → +40mmH ₂ O	-12mmH ₂ O
IDF A,B Pitch Blade Position	69% → 100%	65%
FDF A,B Pitch Blade Position	60% → 74%	62%
IDF A Motor Current	210→260→140→240A	143A
IDF B Motor Current	180A → 295A	143A
AH A Gas Outlet Temp	150℃ → 169℃	120℃
AH A Gas Outlet Temp	130℃ → 95℃	120℃

③ 원인분석

- Stall 발생으로 풍량이 감소하여(Stall Warning Unit의 고장으로 Stall 발생당시 풍량은 알 수 없었으며 풍량이 감소한 상태에서 Hunting 함) 공기에열기에서 열교환이 충분히 이루어져 공기에열기 출구 온도가 강하한 반면 상대편(B) Fan의 풍량은 증가하여 공기에열기 출구온도증가

- Stall 발생으로 풍량이 흔들리므로 노내압 변동
- ID Fan B(상대 Fan) Pitch Blade 개도증가 (개도가 100%까지 증가하여 Position Rundown되면서 Air Flow 감소, 연료량감소와 함께 출력강하)
- FD Fan A, B Stall Warning Alarm 반복취명
- Stall 발생 원인을 보면 전기집진기 #B 두 개의 입구중 한쪽이 Ash에 의하여 막힌 상태로 운전중 출력을 500MW에서 525MW로 증가시켰을 경우 Stall이 발생하여 ID Fan B Motor 전류 흔들림, 상대 ID Fan A 개도 증가, 노내압 증가 등의 현상이 나타난다.

3. 시스템 개발개요

3.1 시스템 개발의 필요성

신규 석탄 화력에서 운용되고 있는 보일러의 축류형 Fan은 정상운전중 공기 예열기의 막힘이나 통풍계통의 댐퍼 닫힘등에 의하여 통풍 단면적이 감소할 경우 Fan이 비정상적으로 운전되면서 Blade가 파손될 위험에 이르게 된다. 축류형 Fan에는 이러한 비정상운전을 방지하기 위하여 Stall 감시 장치가 설치되어 있으나 계측기의 빈번한 고장으로 인하여 정상운전중 Fan의 불시정지를 초래하므로, 발전소 현장에서는 오동작을 방지하기 위하여 Fan Stall 보호기능을 제거하여 운전하고 있는 실정이다.

3.2 현황 및 문제점

Fan Stall 감시 장치는 삼천포3~6호기를 비롯하여 보일러 본체에 총 72대가 설치되어 있으며, 탈황설비의 송압 송풍기에 28대등 총 100대가 설치되어 있다. Fan Stall 감시 장치는 블랙박스 형태로써 국내 정비기술로는 유지정비가 곤란하다. 빈번한 고장에 따른 제작사(외국) 반출 수리로 비용이 증가하고 소요기간의 장기화로 고장발생 기간동안 Fan을 보호할 수 없다. 고장발생을 대비하여 예비품을 확보해야하며 이에 따른 재고증가와 고가의 외자재 도입이 불가피하다.

3.3 현장기술개발 내용 및 범위

기존의 블랙박스형 Unit를 분석하여 분산제어 설비의 프로그램으로 개발하였으며, 현장 압력측정용 전송기를 신설하여 Fan의 운전상태를 감시할 수 있도록 하였고, 현장시험을 통하여 Stall 발생시 경보발령 및 유량 자동조절기능을 확인하였다.

4. Stall Warning System 개발내용

4.1 System 구성

Volume Flow 및 Specific Energy를 산출하기 위해 기존의 Unit를 제거하고 현장의 압력과 온도를 측정하여 DCS로 전송하고 DCS Logic에 의하여 감시, 제어되도록 개발되었다.

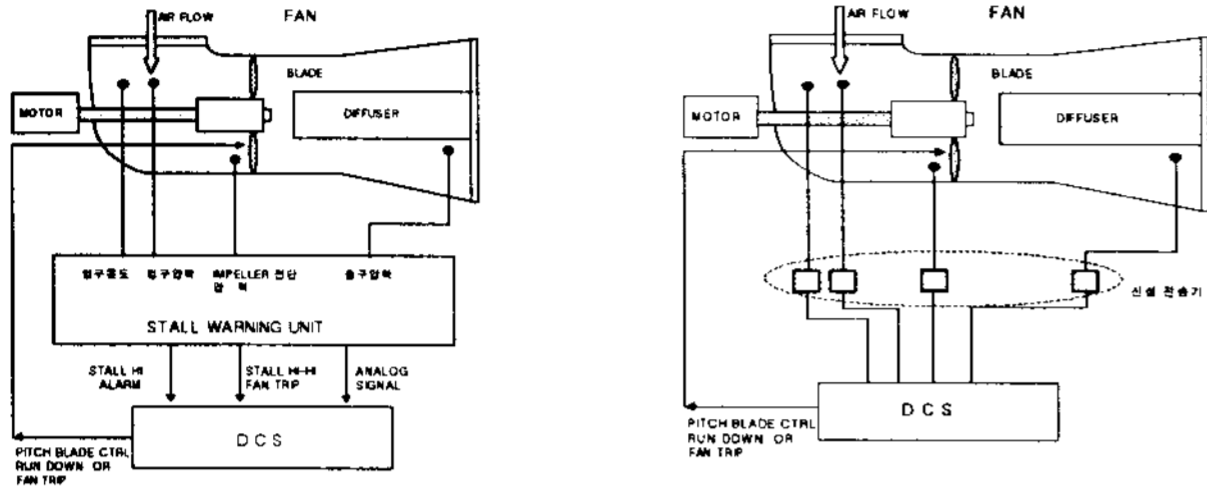


그림 4. 기존 Unit 구성도 및 개발 시스템 구성도

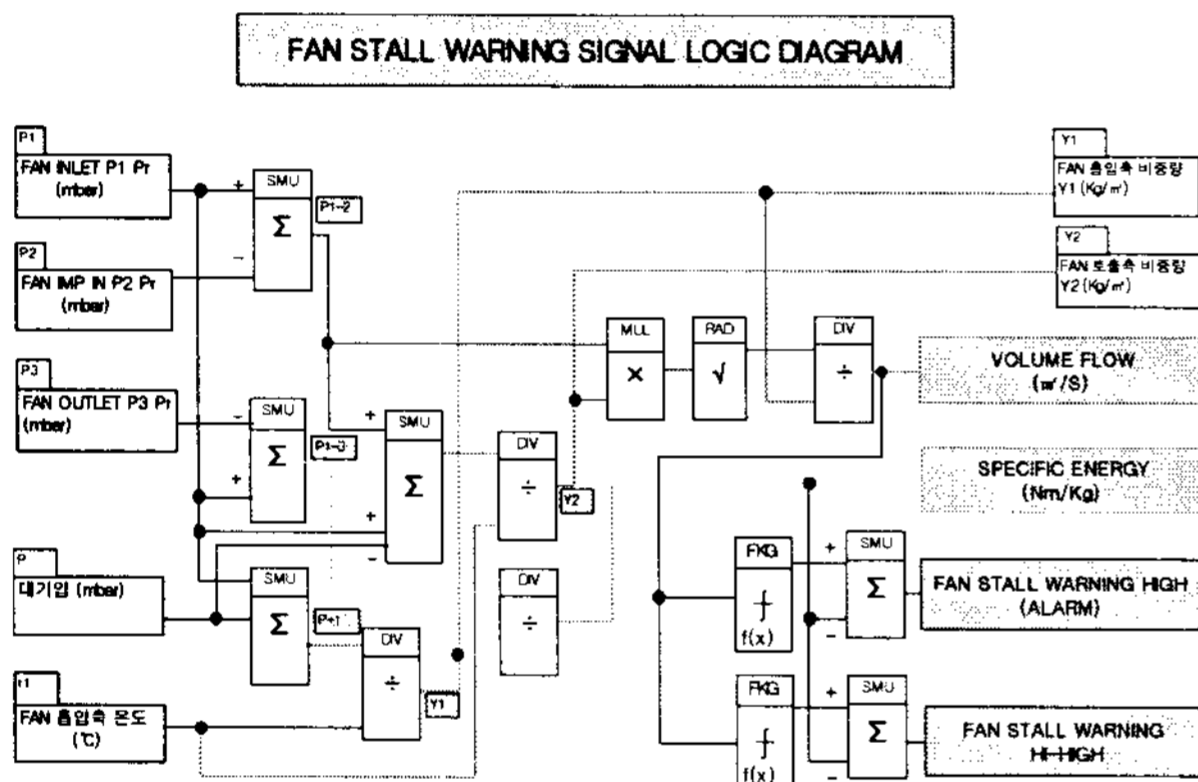


그림 5. Fan Stall Warning Signal Logic Diagram

4.2 Stall 산출공식

Stall 산출은 Fan 특성에 따른 풍량 대비 비에너지 지량의 불균형 상태를 검출하여 Stall 발생 여부를 감시하기 위한 것으로 풍량과 비에너지 산출 공식이다.

① 입력

500MW IDF 운전 Data를 기준으로 계산하면 다음과 같다.

- P : 대기압 = 1015.6 mbar
- P₁ : Fan 입구측 압력 = -32.04 mbar
절대압 환산 : -32.04mbar + 1015.6 mbar = 983.56mbar
- P₂ : Fan 흡입측 압력 = -47.81 mbar
절대압 환산 : -47.81mbar + 1015.6 mbar = 967.79mbar

- P₃ : Fan 토출측 압력 = 1.28 mbar
절대압 환산 : 1.28 mbar + 1015.6 mbar = 1016.88mbar
- t₁ : Fan 입구측 온도 = 117°C
- ΔP₁₋₂ : 입구측과 흡입측 차압 = 15.77 mbar
983.56mbar - 967.79mbar = 15.77 mbar
- ΔP₁₋₃ : 입구측과 토출측 차압 = 33.32 mbar
- ID Fan 면적

- A₁ : Fan 입구측 단면적 = 12.0 m²
- A₂ : Fan 흡입측 단면적 = 5.32 m²
- A₃ : Fan 토출측 단면적 = 10.98 m²

- FD Fan 단면적

- A₁ : Fan 입구측 단면적 = 7.645 m²
- A₂ : Fan 흡입측 단면적 = 3.270 m²
- A₃ : Fan 토출측 단면적 = 6.867 m²

- R : 가스정수 = 282 Nm/kg.K

- αβ : 유량계수 = 1.10447

$$\alpha \beta = 0.99 * \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} = 0.99 * \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{5.32}{12}\right)^2}} = 1.10447$$

② 비중량 계산

- r₁ : Fan 입구측 비중량 = 0.89 kg/m³

$$\frac{P_1 * 100}{R(t_1 + 273.15)} = \frac{983.56 * 100}{282(117 + 273.15)} = 0.89 \text{ kg/m}^3$$

- r₂ : Fan 흡입측 비중량 = 0.89 kg/m³

$$r_2 = \frac{(P_1 - P_{1-2}) * 100}{R(t_1 + 273.15)} = \frac{(983.56 - 15.77) * 100}{282(117 + 273.15)} = 0.92 \text{ kg/m}^3$$

③ 풍량(Volume Flow)

- q : 유량 = 317.28kg/s

$$q = \alpha \beta * A_2 * \sqrt{200 * P_{1-2} * r_2} = 1.10447 * 5.32 * \sqrt{200 * 15.77 * 0.89} = 317.28 \text{ kg/s}$$

- V : 풍량 = 354.91 m³/s

$$V : \frac{q}{r_1} = \frac{317.28}{0.89} = 354.91 \text{ m}^3/\text{s}$$

④ 비에너지(Specific Energy)

- Y : 비에너지 = 3729.55 Nm/kg

$$Y = P_{1-3} * 10.2 * \left(\frac{9.81}{r_1}\right) = 33.32 * 10.2 * \left(\frac{9.81}{0.89}\right) = 3729.55 \text{ Nm/kg}$$