

한가지 러파제진기에서 기체흐름의 수치모의에 대한 연구

리명, 장학철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 현실발전의 요구에 맞게 나라의 과학기술을 빨리 발전시켜야 하겠습니다.》

(《김정일선집》 중보판 제11권 134페이지)

러파제진기는 동력공업, 건재공업, 식료공업 등 인민경제 여러 부문에서 널리 리용되고있으며 그것의 성능에측을 과학화하는것은 러파제진기의 설계와 운영을 합리적으로 진행하기 위한 중요한 요구로 제기된다.

선행연구[1, 2]에서는 러파제진기에서 러파통의 형태와 입출구위치가 러파성능에 주는 영향에 관한 수치모의방법에 대하여 취급하였다.

본문에서는 한가지 러파제진기에서 각이한 류량에 따른 압력손실특성을 CFD수치모의와 실험을 통하여 평가하였다.

1. 기본방정식과 계산모형설정

본문에서 취급하는 러파식제진기는 입구가 밑에 있고 출구가 위에 있는 수직형러파제진기이며 러파통 4개로 구성되어있다. 러파통의 직경은 75mm, 높이는 500mm이며 입구와 출구의 직경은 다같이 55mm이다.

러파식제진기의 구조는 다음과 같다.(그림 1)

수치모의에서 리용되는 기본방정식들은 다음과 같다.[3]

연속방정식

$$\text{div}(\rho u) = 0$$

운동방정식

$$\text{div}(\rho uu) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{gradu})$$

표준 $k-\varepsilon$ 모형의 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon + Y_m + S_k$$

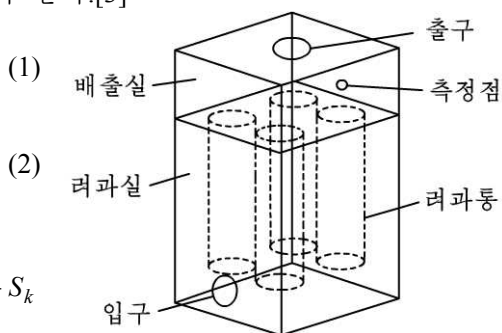


그림 1. 러파식제진기의 구조

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} S_\varepsilon \quad (4)$$

RNG $k-\varepsilon$ 모형의 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (6)$$

SST $k-\omega$ 모형의 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega + D_\omega \quad (8)$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, u 는 유체의 평균속도, μ 는 매질의 점성계수이다.

또한 G_k 는 속도그라디언트에 의한 난류운동에너지생성, G_b 는 부력에 의하여 생성된 난류운동에너지생성, $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$, $C_{3\epsilon}$ 은 상수, σ_k , σ_ϵ 은 난류프란틀수, S_k , S_ϵ 은 사용자정의원천항이다.

려파식제진기에서 려파통은 일정한 공극도를 가진 다공매질로 되며 다공매질을 통과할 때 압력손실은 다르씨법칙에 따라 다음의 식으로 표시된다.

$$\Delta P = -\mu \frac{Q}{A} \frac{L}{K} \quad (9)$$

여기서 ΔP 는 다공매질의 앞과 뒤에서의 압력차, Q 는 다공매질을 통과하는 유체의 류량, A 는 다공면적, L 은 다공두께이다.

식 (9)에서 매질의 다공도와 관련된 계수 K 는 1개의 려파통에 일정한 류량을 통과시키면서 려파통의 우와 아래의 압력값을 측정하여 다르씨법칙에 대입하는 거꿀대입방법으로 구할수 있다. 주어진 대상에 대한 3차원흐름을 해석하기 위하여 먼저 그물작성프로그램 Gambit를 리용하여 그물을 작성하였다. 그물은 총 3개의 구역 즉 려파통구역과 려파실구역, 정화기체배출실구역으로 설정하였으며 그물개수를 20만개, 40만개, 60만개, 80만개로 변화시키면서 그물의존성을 검사하여 60만개부터는 계산결과에 큰 영향을 주지 않는다는 결론을 얻고 논문의 계산그물개수를 78만개로 설정하였다.

수치해석단계에서 재료를 공기로 설정하였으며 압력-속도사이의 결합을 위하여 SIMPLE알고리즘을 리용하였다. 또한 련속상에 대한 공간리산화로서 밀도, 운동량에 대하여 1차풍상도식을 리용하였다.

경계조건으로 입구는 속도경계조건을, 출구는 압력경계조건으로 설정하였으며 려파통의 다공부분은 Porous jump로 설정하고 다공두께를 1mm로, 다공도를 실험적으로 결정하여 10^{-7} 로 설정하였다.

2. 계산결과 및 분석

계산결과 입구로 들어온 유체가 려파통을 거쳐 출구로 나가면서 저항을 받아 압력이 감소되며 따라서 려파실의 압력이 항상 정화기체배출실의 압력보다 높다는 결론을 얻을 수 있다.

또한 입구의 맞은쪽의 벽과 려파실과 정화기체배출실사이의 가름판에서 압력집중이 일어난다.

계산결과의 정확성을 검증하기 위하여 계산모형과 같은 실험장치를 제작하고 류량을 300, 350, 400, 450, 500m³/h로 변화시키면서 입구와 측정점사이의 압력차를 측정한다음 계산결과와 비교하였다.

류량변화에 따르는 압력손실의 실험결과 및 계산결과를 그림 2에 보여주었다.

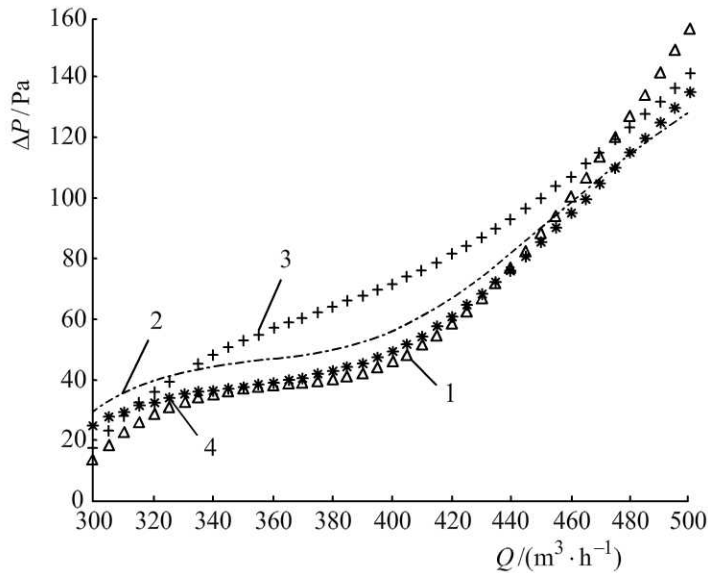


그림 2. 류량변화에 따르는 압력손실의 실험결과 및 계산결과
1-실험값, 2-표준 $k-\epsilon$ 모형, 3-RNG $k-\epsilon$ 모형, 4-SST $k-\omega$ 모형

이로부터 논문에서 리용한 세가지 난류모형들중에서 SST $k-\omega$ 모형을 리용한 계산 결과가 실험값에 가장 근사하다는것을 알수 있다.

러파통겉면에서 류량에 따른 속도분포변화특성을 정확히 밝히는것은 러파제진기의 수명과 러파효률의 제고에서 나서는 중요한 문제이다.

러파통설계의 한가지 요구는 모든 러파통들에 류량이 골고루 분포되고 겉면에서 속도분포가 될수록 고르롭도록 하는것이다. 만일 고르롭지 못하면 러파기의 수명에 불리한 작용을 하게 된다.

계산결과로부터 러파통에서 속도불균일성이 가장 강한 부분은 러파통의 윗부분이며 류량이 달라져도 이러한 경향성은 달라지지 않는다. 이것은 속도분포가 류량에는 관계되지 않고 제진기의 구조에만 관계된다는것을 보여준다.

속도불균일성이 심하여 일정한 부분의 속도가 특별히 빠르면 운영에서 부분적으로 러파기의 마모가 촉진되어 파괴될수 있다.

맺 는 말

한가지 러파식제진기에서 수치모의와 측정에 의하여 류량변화에 따르는 압력변화손실특성을 평가하였다.

러파통제진기에서 수치모의를 진행한 결과 SST $k-\omega$ 난류모형을 리용한 계산결과가 실험값에 가장 근사하다. 또한 수치모의에 의하여 속도불균일이 심한 구역이 예측되었다.

여기서 취급한 수치모의방법은 러파식제진기의 압력손실을 평가하고 성능을 개선하기 위한 설계에서 유용하게 리용될수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Shaowen Chen et al.; Aerosol and Air Quality Research, **16**, 27, 2019.
- [2] Li Jiu; Optimization on Internal Flow Filed Of Cartridge Filter, **78**, 470, 2015.
- [3] Shaowen Chen et al.; Int. J. of Process Mechanical Engineering, **225**, 371, 2019.

주체109(2020)년 6월 5일 원고접수

Numerical Study of Gas Flow in a Cartridge Filter

Ri Myong, Jang Hak Chol

In this paper, we estimated the influence of the various turbulence models on correctness of calculation result and velocity unevenness on the surface of cartridge in cartridge filter by using CFD method.

Keywords: cartridge filter, turbulent model