

Fig. 2 Louver

정식을 3차원 직각 좌표계에 대해 나타내면 다음과 같은 시스템을 이룬다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$\rho \frac{du}{dt} = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \tag{2}$$

$$\rho \frac{dw}{dt} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

여기에서 p 는 유동장의 압력, ρ 는 유체의 밀도, μ 는 유체의 점성계수를 나타낸다.

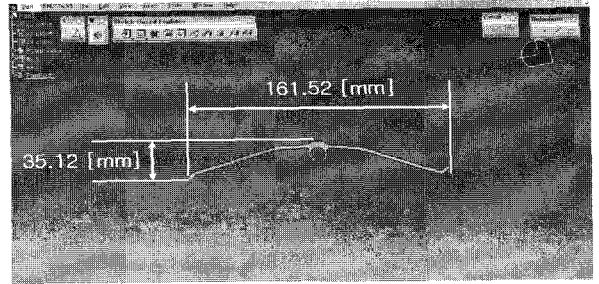
난류 유동을 해석하기 위하여 CFX에서 권장하는 SST(shear stress transport) 모델을 사용하였다. SST 모델은 계산 시간이 $k-\epsilon$ 모델과 비슷하지만 유동 박리(separation), 자연 대류(natural convection), 열전달(heat transfer) 등의 예측에서 표준 $k-\epsilon$ 모델 보다 뛰어난 안정성과 정확도를 제공하는 것으로 알려져 있다[3].

2.2 수치해석

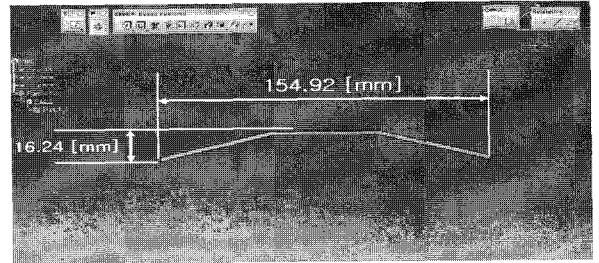
2.2.1 해석 모델 및 형상의 단순화

Fig. 2 는 냉각시스템에 설치되는 루버의 전체 형상으로, Fig. 3의 단면 형상이 연속적으로 나열 된다. 따라서 본 연구에서는 전체 냉각시스템 중 단위 면적에 대한 해석으로 전체 유동 특성을 예측해 보고자 한다 (Fig. 4 참조).

해석을 수행하기 전 격자 질과 격자 생성의 용이함을 위하여 유동에 영향을 루버에 대하여 단순화 과정을 거쳤으며 Fig. 3(b)는 단순화 된 루버의 단면 보여주는 그림이다.



(a) Real shape of louver blade



(b) Simplification

Fig. 3 Simplification of shape

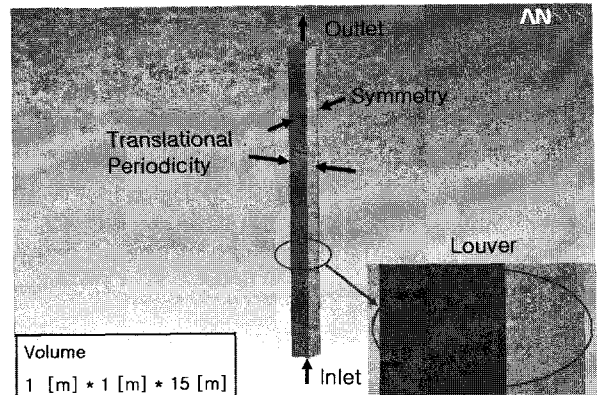


Fig. 4 Schematic diagram

2.1.2 격자 생성

유동 해석을 위한 격자 생성은 ANSYS Workbench CFX-Mesh 프로그램을 사용하였다. CFX-Mesh 는 사면체(tetrahedral) 형상을 기본으로 하고 있으며, 벽면 근처에서와 같이 급격하게 변하는 속도와 난류 예측의 정확도를 높이기 위해 격자계 표면에서 생성되는 삼각형(triangle) 격자를 유동 영역으로 연장하여 삼각기둥(prism) 격자를 생성 하였다. 또한 루버 주변의 격자 크기를 조절하여, 루버 표면에서의 격자 밀집도를 향상 시켰다.

Fig. 5의 전체 계산 영역에서 생성된 절점(node) 수는 약 27만개이며, Fig. 5는 루버 주변의 격자를 보여 주고 있다.

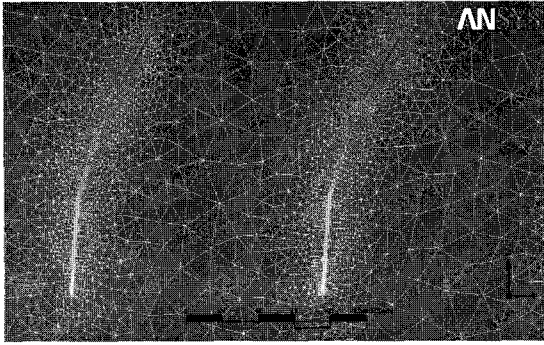


Fig. 5 Grid around louver

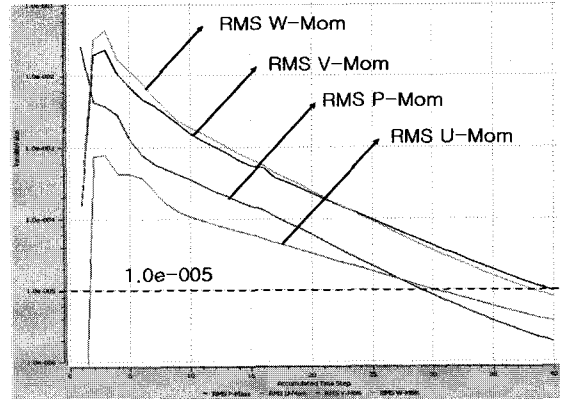


Fig. 6 Convergence diagram

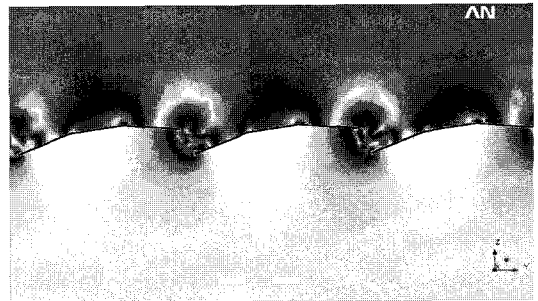
2.1.3 경계 조건

지상에 설치된 정유 시설의 냉각 시스템은 공랭식 방법을 취하며, 이에 따라 25℃의 일정 온도를 갖는 공기를 작동유체로 하였다. 입구조건은 팬에 의한 일정속도로 설정하고, 대기에 노출된 출구는 평균 정압(average static pressure)으로 하여 대기압과 같도록 설정하였다. 점성의 영향을 받는 루버의 표면에서는 점착 조건(no-slip condition)으로 처리하였다. 단위 면적에 대한 가상 벽면은 루버의 세로방향으로 대칭(symmetry) 조건, 가로방향으로 평행 주기(translational periodicity) 조건을 적용하였다. 평행 주기 조건이란 면에 수직인 방향으로 들어오는 유량과 나가는 유량을 일치시켜, 이 방향으로 주기적 경계조건(periodic boundary condition)을 구현하는 방법으로, 주로 유체 기계 등의 반복적인 캐스케이드 열 등에 많이 이용된다.

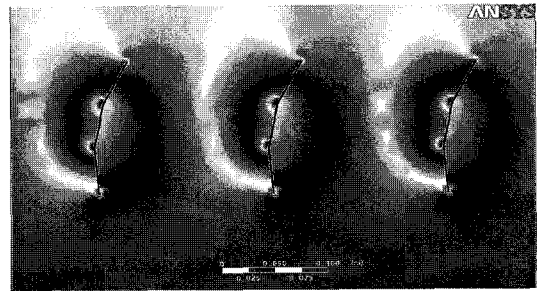
이 상의 경계 조건을 정리하여 Table 1로 나타내었다.

2.1.4 대수방정식의 풀이

이산화 과정을 거친 대수방정식을 계산하기 위한 조건으로 오차 수렴 범위를 1.0×10^{-5} 로 설정하였으며, Fig. 6은 레이



(a) Angle : 10°



(b) Angle : 80°

Fig. 7 Pressure profile

Table 1 Operation and boundary condition

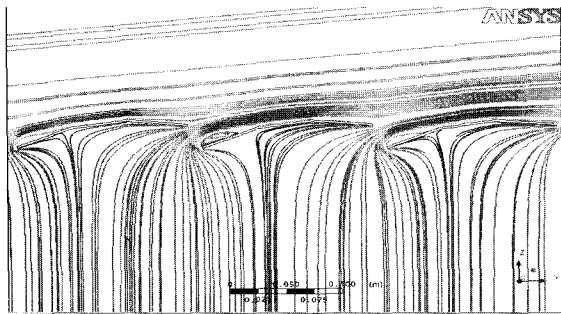
Operating conditions	Fluid	Air (steady)
	Pressure	1 atm
	Temperature	25 °C
	Gravity	9.81 m/s ²
Boundary conditions	Inlet	Velocity Const.
	Outlet	Average static pressure (P _{gauge} =0[Pa])
	Virtual surface 1	Symmetry (length)
	Virtual surface 2	Translational periodicity (width)

놀즈 수 4.03×10^4 , 루버 각이 30° 일 때 각 각의 물성치에 대하여 수렴 곡선을 보여주고 있다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 수렴 횟수는 40회 정도로 비교적 빠르고 안정되게 수렴하는 것을 확인 할 수 있다.

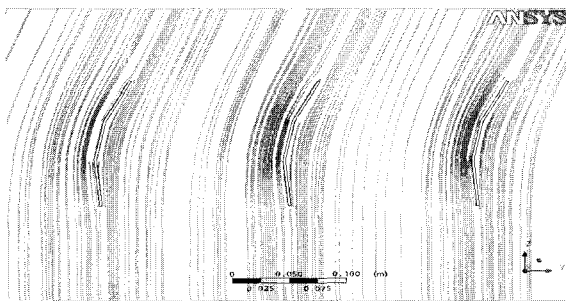
3. 결과 및 고찰

3.1 루버 주위에서의 유동 특성

루버의 개폐각이 유동 입구와 출구에서의 압력구배에 미치는 영향을 분석하기 전 후처리 프로그램을 이용하여 해석된



(a) Angle : 10°



(b) Angle : 80°

Fig. 8 Streamlines

결과를 토대로 유동과 특성 값을 가시화하였다. 가시화방법을 이용하면 루버 주위의 유동 특성을 정성적으로 알 수 있기 때문에 해석의 정확도 판단 시 유용한 자료로 사용된다.

Fig. 7 은 특정 레이놀즈수(4.03×10^4)에서 개폐각이 10°일 때와 80° 일 때의 루버 주위 압력 분포를 보여주는 그림이다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 루버주변에서는 압력 손실이 발생하는 것을 확인 할 수 있고 특히 개폐각이 10°일 경우 루버의 앞뒤 면에서 압력구배가 크다는 것을 예측 할 수 있다.

Fig. 8 은 개폐각이 10°일 때와 80° 일 때의 유선(streamline)을 보여주는 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 루버를 지나고 나면 유동은 루버 형상의 끝부분에서 접선 방향으로 휘게 되는 것을 확인 할 수 있고, 10° 일 경우 루버는 유동의 흐름을 방해하는 장애물 역할을 하고 있다.

Table 2 Pressure difference

Louverangle [deg]	Delta Pressure [Pa]		
	Re	Re	Re
	1.09×10^4	4.03×10^4	5.44×10^4
10	48.9598	676.656	1237.28
30	4.4503	60.9347	111.303
50	0.9844	13.4158	24.4957
70	0.2421	3.213	5.8284
90	0.0616	0.746	1.3361

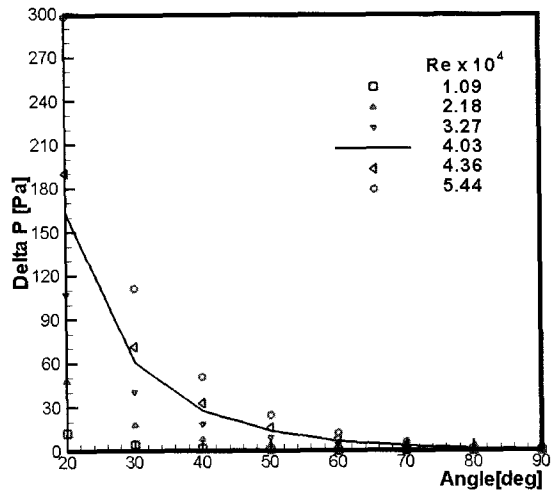


Fig. 9 Pressure difference vs. opening angle

3.2 압력 차(Δp)

일정한 유속(또는 유량)을 가지는 유체에 대하여 루버 개폐각에 따른 압력 차를 구해 보았다. 정유 시설의 냉각 시스템에서 압력 차를 결정하는 요인은 루버의 개폐각이며, 해석 결과를 토대로 Table 2 에 그 결과를 정리하였다. 또한 다양한 레이놀즈수에 대한 해석을 동시에 수행하여 레이놀즈수(유량과 비례)와의 상관 관계를 Table 2에 정리하였다.

본 연구에 적용되는 레이놀즈수는 다음과 같이 정의된다.

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (3)$$

여기에서 ρ 는 표준 유체의 밀도, V 는 입구에서 유체의 속도, L 은 루버 한 개의 가로 길이이다.

Fig. 9는 Table 2을 그래프로 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 루버의 개폐각이 커질수록 입구와 출구의 압력 차는 작아지며, 레이놀즈수가 커질수록 이 압력 차가 커지는 것이 확인할 수 있다.

루버의 개폐각이 커질수록 루버 사이에 흐르는 유체면적이 넓어지고 최종적으로 압력손실이 줄어들게 만든다. 레이놀즈수가 커지는 것이 속도의 증가를 나타내며 이는 입구에서 압력의 상승요인이 된다. 따라서 레이놀즈수가 증가할수록 압력 차가 커지는 효과를 가져온다.

3.3 압력 계수(C_p)

무차원화 변수들은 유체역학적 특성을 파악하는데 기준이 되는 값들로 추후 해석 결과와 비교·분석 시 기준이 된다. 본 연구에서는 입구와 출구의 압력 차를 무차원화 시켜 압력계

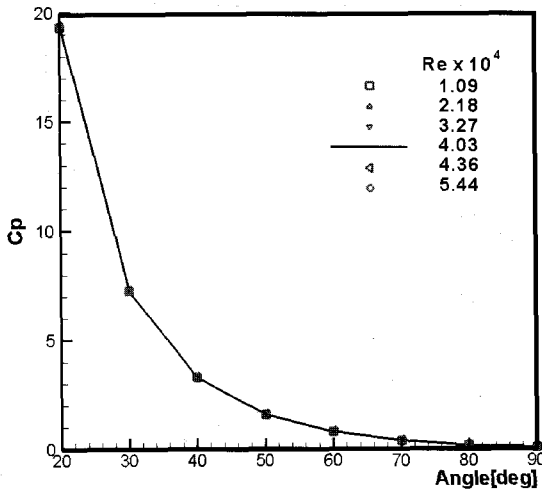


Fig. 10 Pressure coefficient vs. opening angle

수로 설정하였다.

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho V^2} = \frac{P_{in} - P_{out}}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (4)$$

여기에서 ρ 는 유체의 밀도, v 는 유체의 속도, p 는 입구와 출구에서의 평균압력을 나타낸다.

앞서 구한 압력 구배를 가지고 루버의 개폐각과 레이놀즈수에 대한 압력 계수를 구한 것이 Table 3이며, 각 결과를 Fig. 10에 표시하였다. Fig. 9 와 Fig. 10을 서로 비교하면, 압력차가 서로 다르더라도 압력 계수는 레이놀즈수에 관계없이 거의 일정한 것을 확인 할 수 있다. 이 결과로 보아 압력 계수는 같은 조건의 유동장에서 속도에 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

Table. 3 Pressure coefficient

Louverangle [deg]	Delta Pressure [Pa]		
	Re	Re	Re
	1.09×10^4	4.03×10^4	5.44×10^4
10	79.9343	80.6972	80.8017
30	7.2658	7.26699	7.2687
50	1.6072	1.59996	1.5997
70	0.3952	0.383182	0.3806
90	0.1006	0.08897	0.0872

4. 결 론

본 연구에서는 CFD 해석을 통해, 특정 레이놀즈수를 갖는 유동에 대하여 루버 개폐각과 유동 입출구 압력 차의 상관관계를 예측하였다. 팬과 유동 출구 사이에 설치된 루버는 일정한 속도로 흐르는 유동에 대하여 장애물 역할을 하므로 압력 손실의 주된 요인으로 작용하고, 이로 인한 압력 손실의 크기에 루버의 개폐각은 큰 영향을 미친다. 반대로 압력 차를 일정하게 유지한다면, 루버를 지나는 유량은 루버 개폐각이 커질수록 증가하게 된다. 따라서 유량의 증가는 강제 대류에 의한 공랭식 냉각법을 사용하는 냉각 장치에서 냉각 능력을 향상 시키는 결과를 가져온다.

이렇게 해석 된 결과는 추후 다른 형상을 가진 루버의 해석 결과와 비교분석 과정을 거칠 예정이며, 해석 과정을 통해 구축된 방법론을 루버의 최적 설계에 적용시켜 전체 냉각 시스템에 적합한 최적 형상을 구할 수 있을 것이다. 또한 본 선행 연구 결과는 이를 통해 루버가 적용 되는 시스템의 설계 시 기본 파라미터를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 2007년도 교육인적자원부와 군산대학교 기계자동차 사업팀에서 지원하는 산학공동기술개발과제 “복동식 피스톤-실린더로 작동하는 정유 설비의 루버용 액츄에이터 개발” 연구의 일부 결과로 작성되었습니다. 정부의 학술 및 산학협동 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 2003, Frank M White, Fluid Mechanics, 5e, McGraw-Hill.
- [2] 2001, Anderson, J.D., Fundamentals of Aerodynamics, 3e, McGraw-Hill.
- [3] D.H. Kim, Turbulence model of ANSYS CFX.
- [4] 1993, C.S. Kang and T.M. Choi, "A Basic Study on Air Flow Characteristics in Louvered Fins," K.S.M.E., pp.1276-1293.
- [5] 2004, 이용갑 외 2인, “CFX의 Pressure-Based Coupled과 다양한 난류모델을 이용한 유체기계의 유동해석,” Vol.7-5, pp.82-90.