

바울형 미분기 베인휠에서의 유속 불균일 개선에 관한 연구

박 덕 배, 허 진 혁*, 문 승 재**†

한국남동발전, *한양대학교 기계기술연구소, **한양대학교 기계공학부

Improvement of Maldistributed Air Velocity in the Vane Wheel of a Bowl Type Pulverizer

Deok-Bae Park, Jin-Huek Hur*, Seung-Jae Moon**†

Korea South-East Power Co.,Ltd. Seoul 135-791, Korea

*Mechanical Engineering and Technical Research Institute, Seoul 133-791, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received February 19, 2010 ; accepted May 20, 2010)

ABSTRACT : The stability of coal pulverizer in the 800 MW coal-fired plants is vital to maintain their performance. Thus, this study analyzed the uneven abrasion of the deflector and coal spillage due to the air velocity maldistribution in the vane wheel of a bowl-type pulverizer as it is a possible cause for problems of facility using pulverized coal. In addition, air flow in the underbowl of a bowl-type pulverizer was studied to check air velocity maldistribution in the vane wheel using numerical method. In an attempt to correct the maldistribution of air velocity, air flow of the modified duct vane was studied as enlarging the length of the duct vanes installed at the air inlet duct of the pulverizer and increasing the angle of inclination. It was found that modified duct vane make the velocity distribution at the vane wheel uniform. formed by the duct vanes installed at the air inlet duct of the pulverizer and swirling flow is the major factor in making the velocity distribution of vane wheel exit uniform. This can prevent the uneven abrasion of the deflector, which is one of the components inside the pulverizer and coal spillage.

Key words : 미분기(pulverizer), 언더바울(underbowl), 베인휠(vane wheel), 덕트베인(duct vane), 디플렉터(deflector), 석탄넘침(coal spillage), 선회류(swirling flow)

1. 서론

국제에너지기구(International Energy Agency)에 의하면 2006 ~ 2015년 동안 세계 전력수요 증가율은 연평균 3.2%로 예측되고 2015 ~ 2030년 기간에 대해서는 연평균 2%로 낮아질 것으로 전망된다. 이것은 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, 이하 OECD) 국가와 신흥국가의 포화효과뿐만 아니라

Non-OECD 국가의 산업구조가 에너지 집약적 중공업에서 경공업 및 서비스 분야로 전환되는 것을 반영한 결과이다. 기존 발전소 대체와 확장을 포함한 발전용량의 증가는 전망기간 중 4,530 GW에 이를 전망이다. 이 가운데 약 1,690 GW 정도가 매년 평균적으로 추가되는 것으로 나타났다. 대부분의 전력 수요증가는 Non-OECD 국가에서 발생하며 OECD 국가의 전력수요는 전망기간 동안 연평균 1.1%의 낮은 증가세가 예상되어 2030년 수요는 2006년 대비 30% 정도 늘어나나 Non-OECD 국가의 전력수요는 동 기간 중 146%가 증가하여 연평균 3.8% 증가할 것으로 예상된다.^[1]

본 연구에서는 800MW 발전소의 석탄 분쇄설비인

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2220-0450

E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

미분기의 성능향상과 수명연장을 목표로 하였다. 또한 석탄분쇄 설비의 잠재적 문제점인 미분기 내부부품인 디플렉터의 편마모와 석탄 넘침 현상의 원인을 분석하였으며 미분기 언더바울 내부의 유동해석을 통하여 출구속도의 불균일성을 해결하기 위한 공기 유입덕트의 덕트베인 형상 및 경사각을 변경하여 선회류를 증가하는 방법으로 해결책을 제시하였다.

2. 미분기

2.1 전체구조

석탄화력 발전소는 크게 보일러, 터빈, 보조기기 및 부속설비들로 구성된다. 보일러는 평형 통풍식, 관류형, 초입계압, 석탄 전소이며 증기조건은 과열기 출구에서 압력 255 kgf/cm², 주증기온도 569℃이고 재열기 출구에서 압력 41.6 kgf/cm², 주증기온도 569℃, 최대연속 증발량은 과열기 2,415 ton/h, 재열기 2,002 ton/h로서 터빈발전기의 최대출력 이상으로 증기를 발생한다.^[2, 4] 따라서 석탄화력 발전소의 보일러에서 연소상태를 최적상태로 유지하기 위하여 석탄의 분쇄장치인 미분기에서 균일한 성능을 유지하는 것이 필수적인 과제이다.

현재 사용되고 있는 석탄발전용 미분기는 바울형 미분기가 주로 사용되고 있으며 저 열량 석탄의 사용량 증가로 미분기의 부하가 증가되는 추세이므로 보일러에서 연소되는 석탄입자가 75 μm의 미분도와 15 ~ 25 m/sec의 연소속도를 결정하는 주요 인자는 미분기에서의 분쇄과정이므로 최적의 분쇄된 석탄을 생산하기 위해서는 구성설비 및 운전변수 상호간의 기본 설비요소들이 최상의 상태로 운전되어야 한다. 즉 미분기 단위설비의 정상상태, 석탄 이송공기 조건, 미분도, 미분기 입·출구 온도조정상태, 석탄 넘침의 최소화등 최적의 운전조건을 만족시켜야 한다.

Fig. 1은 석탄화력에서 사용하는 바울형 미분기의 형상을 나타내고 있다. 미분기는 석탄을 분쇄하는 어퍼바울(upperbowl)과 석탄 이송용 공기를 공급하는 언더바울(underbowl)로 구분될 수 있다. 어퍼바울에는 석탄을 분쇄하는 롤러와 바울, 연소에 적합한 석탄의 입자를 분류하는 석탄 분류기(dynamic classifier), 분쇄된 석탄을 보일러로 공급하는 석탄 배출관으로 구성되어 있고 언더바울에는 공기를 공급하는 공기유입덕트, 효과적인 석탄이송을 위하여 공기의 유출속도를 증가시키는 베인휠로 구성되어 있다.

미분기의 공기유입 덕트를 통하여 유입된 공기는 시계방향으로 회전하면서 바울의 원주방향으로 설치되어 있는 베인휠을 통하여 어퍼바울로 공급되며, 석탄은 미분기 상부 중앙에 설치되어 있는 공급관으로 공급되어 시계방향으로 회전하는 바울과 분쇄롤러에 의해 분쇄되어 석탄분류기에서 연소에 적합한 입자크기의 석탄을 선별하여 보일러로 공급되며 주요 구성은 다음과 같다.

2.2 어퍼바울

미분기 어퍼바울은 미분기내에서 바울을 기준으로 상부측을 말하며 석탄의 분쇄 작용과 연소에 적합한 석탄을 선별한다. 석탄을 분쇄하는 그라인딩 롤러의 분쇄력은 롤러의 자중과 유압실린더에 의해 공급되고 미분기에 투입된 석탄은 압축, 전단 그리고 충격력에 의해 분쇄되며 가장 크게 작용하는 요소는 압축과 전단력이다. 어퍼바울의 중앙 상부에서 공급된 석탄은 바울의 회전에 의한 원심력에 의해 롤러와 바울사이를 통과하면서 석탄베드를 형성하여 롤러의 자중에 의한 압축력과 바울과 분쇄롤러의 회전중심이 불일치에 의한 전단력에 의해 분쇄되고 있다. 바울은 시계방향으로 정속회전하고 있으며 분쇄롤러는 석탄의 양에 따라 롤러를 지지하는 유압력을 조정하여 분쇄효율이 극대화하고 있다. 롤러를 통과한 석탄은 미분기 하부 언더바울에서 베인휠을 통과한 이송용 공기에 의해 작은 입자의 석탄은 보일러 노내로 이송되고 큰 입자의 석탄은 재분쇄과정을 거

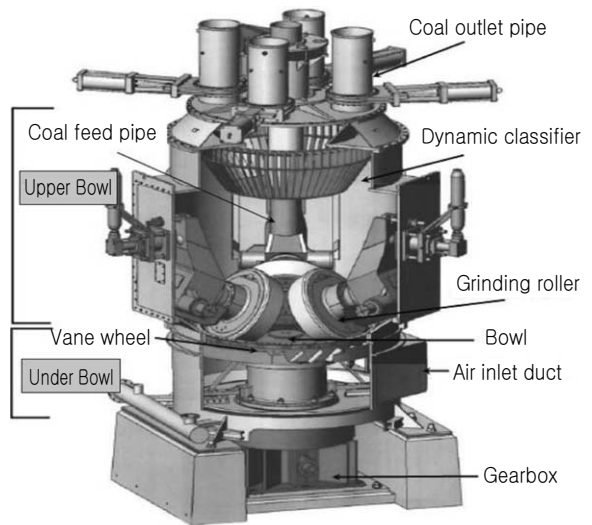


Fig. 1 View of Bowl type pulverizer

치게 된다.

석탄분류기는 입자의 운동방향이 일정한 가운데 로터의 회전에 의하여 발생하는 입자의 원심력과 이송력을 조절하여 석탄을 분류하는 방식이다. 석탄분류기 베인은 반시계방향으로 회전하며 석탄입자에 발생된 원심력이 이송용 공기에 의해 발생하는 이송력보다 크면 석탄입자는 바울위로 떨어져 재분쇄되며 반대의 경우에는 보일러 내부로 이송하게 된다. 회전형 석탄 분류기의 선별과정을 보면, 1단계는 바울 바로 윗부분인 디플렉터이며 이곳에서 약간 크게 분쇄된 석탄은 디플렉터와 충돌하여 다시 바울위로 떨어져서 재차 분쇄되도록 되어 있다. 2단계는 석탄 투입량에 따라 변동되어 회전하는 분류기 베인에 의하여 분류된다.

2.3 언더바울

미분기 하부에서 공기유입 덕트를 통하여 유입된 공기를 시계방향으로 회전하면서 베인휠을 통과하여 석탄이송용 공기를 공급하는 부분을 언더바울이라고 한다. 석탄 이송용 공기의 유속분포에 따라 미분기의 분쇄성능이 결정되므로 미분기의 성능유지의 주요인자로서 베인휠 출구에서의 균일한 공기속도 분포가 미분기 성능유지의 주요인자이다.

Fig. 2는 미분기 언더바울의 구조이다. 분쇄된 석탄 이송용 공기는 공기유입 덕트에 설치되어 있는 덕트베인에 의해 시계방향으로 회전하면서 바울의 원주방향으로 설치되어 있는 베인휠을 통하여 바울

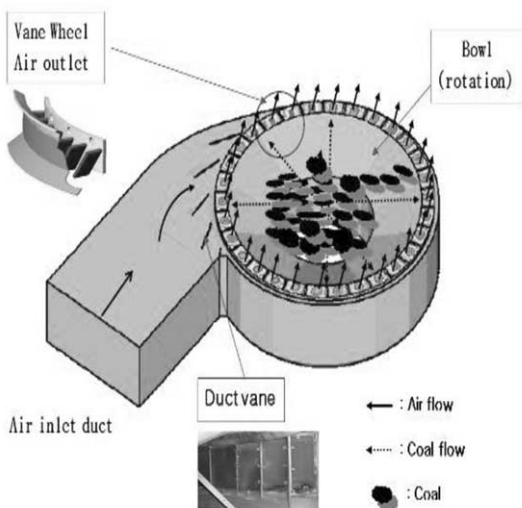


Fig. 2-2 Schematic diagram of pulverizer underbowl.

상부로 공급되며, 회전하는 바울과 분쇄롤러의 압축력과 전단력에 의해 분쇄된 석탄을 이송하게 된다.

미분기 바울의 원주방향으로 설치된 베인휠은 공기유입 덕트로부터 유입된 공기의 속도를 증가시켜 어퍼바울로 공급하여 석탄을 보일러 내부로 이송하는 역할을 하며 베인휠은 60°의 경사각을 가지고 설치되어 있어 효율적인 석탄입자에 따른 분류작업이 가능하며 출구에서의 공기속도는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{v}_a = m_a \times \left(\frac{1}{\rho \times A} \right) \quad (1)$$

여기서 m_a 는 공기의 질량유량, A 는 베인휠 출구면적, ρ 는 밀도를 나타낸다.

미분기로 공기를 공급하는 공기유입덕트는 사각형상으로 미분기 언더바울에서 공기의 흐름을 시계방향으로 형성하기 위하여 15도의 경사각을 가지고 언더바울에 연결되어 있으며 덕트 내부에는 시계방향의 공기흐름을 형성하기 위하여 설치된 덕트베인의 경사각과 길이는 각각 다르게 설치되어 있다.

3. 미분기 운전중 문제점

3.1 디플렉터 마모

미분기 바울의 원주방향에 부착된 베인휠은 바울 외경과 미분기 하우징 사이를 통하여 석탄 이송용 공기를 균일하게 분배하여 분쇄된 석탄을 보일러 내부로 이송하게 된다.^[3] Fig. 3은 베인휠과 디플렉터의 구조이다. 미분기 공기유입덕트에서 공급되는 공기는 회전하는 베인휠에 의해 수직방향으로 상승하게 되며 바울의 가장자리에서 작고 가벼운 석탄입자들은 공기의 흐름속으로 빨려 들어가서 위로 올라가게 되며 분쇄하기 어려운 이물질은 아래로 떨어져 배출하게 된다. 베인휠을 통과한 석탄과 공기의 혼합물은 베인휠 출구에 설치되어 있는 디플렉터와 충돌하면서 입자가 무거운 석탄은 바울위로 낙하하여 재분쇄되고 가벼운 입자는 위로 상승하게 된다.

Fig. 4는 미분기 내부점검시 베인휠 출구에 설치되어 있는 디플렉터의 모습이다. 공기와 석탄의 혼합물이 디플렉터에 충돌하면서 석탄을 입자에 따라 분류하는데 이 과정에서 베인휠 출구 공기의 불균일 유동에 의한 디플렉터의 국부적인 마모현상이 발생하였으며 이는 베인휠 출구에서 석탄 이송용 공기의 유속이 빠른 부위에서 디플렉터의 마모가 균일하지 않고 국부적으로 손상되고 있음을 보여주고 있다.

3.2 석탄 넘침

미분기 베인휠 출구의 국부적인 공기속도 저하, 불균일한 속도분포 조건에서 국부적으로 석탄이 이송되기 위하여 필요한 공기속도보다 낮은 부분에서는 석탄의 넘침현상이 발생할 수 있으며 디플렉터에 의한 석탄 분류시, 미분기 내부 디플렉터에 충돌한 무거운 석탄입자가 하부방향의 속도를 가지고 베인휠 쪽으로 낙하한다면 석탄 넘침 현상이 발생할 가능성이 높아진다.

Fig. 5는 베인휠을 통과하는 공기의 속도가 40 m/s이고 석탄입자가 5 m/s의 초기속도를 가지고 낙하할 때 석탄입자의 크기에 따른 반응시간을 나타내고 있다. 여기서 반응시간(response time)은 석탄입자가 공기의 흐름과 반대방향으로 이동하다 정지시까지의 시간을 말한다. 예를 들어 10 mm 크기의 입자가 베인휠 출구 공기속도 40 m/s에 노출

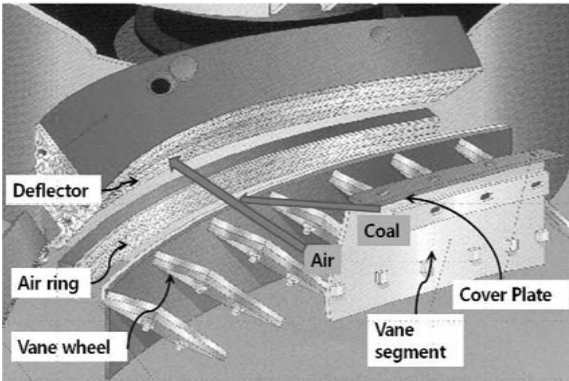


Fig. 3 Geometry of vane wheel and deflector for pulverizer.

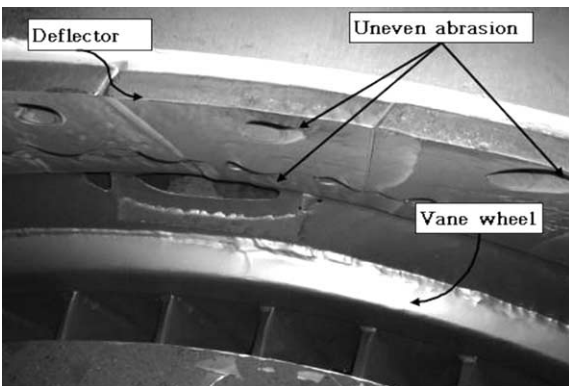


Fig. 4 frictional wear for deflector of a bowl-type pulverizer.

된다면 반응시간은 0.1초이다. 이 시간동안 입자가 이동하는 거리는 0.5 m 이므로 베인휠의 높이가 0.15 m임을 감안하면 석탄입자는 바울 하부로 빠져나가 석탄넘침 현상이 발생할 수 있다.^[6] 이는 베인휠 출구에서 공기의 유속이 국부적으로 저하되면 석탄의 넘침현상이 발생할 수 있으며 석탄의 분쇄성이 어려운 석탄의 경우 미분기 정지에 따른 발전소 출력조정 및 언더바울에서의 화재발생 등 치명적인 문제가 발생 될 수 있다.

3.3 원인분석

베인휠을 통과하는 공기의 유속 불균형이 발생하면 유속이 빠른 부분에서는 미분기 내부 디플렉터에서 국부적인 내마모현상이 상대적으로 많이 발생되며, 일부 속도가 저하된 구역에서는 석탄 넘침현상이 발생하여 미분기 외부로 배출된다. 석탄이송용 공기는 미분기 언더바울에서 시계방향으로 선회류를 형성하므로 불충분한 선회류는 베인휠 출구에서 공기 유속의 불균형을 발생시키는 원인으로 볼 수 있다. 따라서 미분기 언더바울에서 석탄이송용 공기의 선회류를 형성하기 위하여 공기유입덕트에 설치된 덕트베인의 형상과 경사각은 미분기 언더바울에서 공기가 충분한 선회류를 형성하여 베인휠 출구 유속을 균일화하는데 중요한 인자라고 판단된다.

4. 덕트베인 형상개선

4.1 기존형상

덕트 내부에는 시계방향의 공기흐름을 형성하기 위하여 설치된 6개의 덕트베인은 좌우에 설치되어 있는 베인으로 길이가 길고 중앙에 설치되어 있는 베인은 상대적으로 짧게 설치되어 있다. Fig. 6은 입구 덕트베인의 설치도면과 형상을 나타냈다. 좌측에

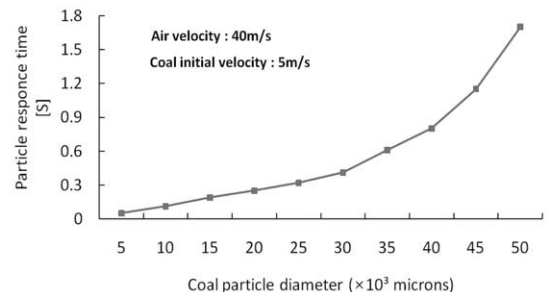


Fig. 5 Coal particle response time variance with respect to particle diameter.

설치되어 있는 ①번 베인의 길이는 710 mm로 가장 길고 중앙에 설치되어 있는 ④번 베인은 170 mm로 가장 짧으며 경사각은 53°에서 18°까지 각각 다르게 설치되었다.

4.2 개선형상

Fig. 7은 개선된 형상을 나타냈다. 현재 미분기 공기유입 덕트에 설치되어 있는 6개의 덕트베인 경사각을 10° 증가시키고 우측의 첫 번째 베인 ①번에서 ④번 베인을 770 mm의 높이로 일정하게 유지하고 길이는 500 mm, 400 mm, 300 mm, 200 mm를 각각 연장하였으며 연장된 부분의 덕트베인은 추가적으로 경사각을 15° 증가시켜 언더바울에서의 공기의 선회력을 증가시키는 방안을 제시하였다.

Table 1은 기존의 덕트베인과 비교하여 개선된 6개의 덕트베인에 대하여 개선전후의 길이연장과 경사각 조정내역을 정리하였다. 좌측의 덕트베인 ①번부터 순서대로 ④번까지는 베인의 길이를 연장하였으며 ⑤와 ⑥번 베인의 길이는 변동이 없었다. 경사

각 조정의 경우, 기존의 베인은 일괄적으로 10° 증가시키고 베인의 길이가 연장된 ①번부터 ④번까지는 연장된 부분에 한하여 추가적으로 15° 증가시켜 미분기 언더바울내에서 선회력을 증가시키는 방안을 검토하였다.

5. 개선효과

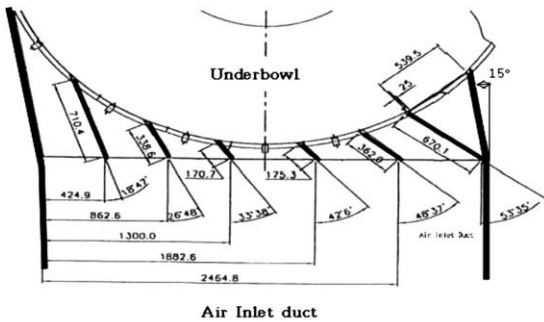
5.1 유동해석

5.1.1 해석영역

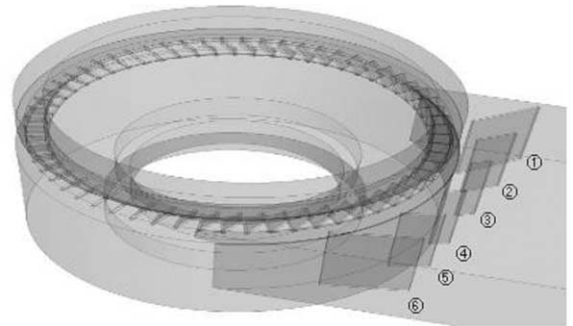
본 연구에서는 미분기 베인휠 출구에서 공기의 속도분포를 예측하기 위하여 미분기 공기유입덕트에서 미분기 베인휠 출구까지 해석영역을 설정하였다. Fig. 8은 미분기 언더바울의 해석영역을 나타내었다.

5.1.2 지배방정식

본 논문에서 사용된 해석영역내의 유동을 3차원 정상 비압축성 난류유동으로 가정하였으며 연속방



(a) Specification of original duct vane



(b) Shape of original duct vane

Fig. 6 Original duct vanes of pulverizer inlet duct.

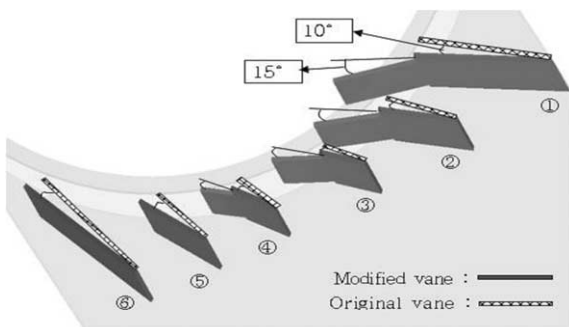


Fig. 7 Modified duct vanes of pulverizer inlet duct.

Table 1 Comparison of modified and original duct vane for pulverizer air inlet.

Vane Number	Original duct vane		Modified duct vane	
	length (mm)	Inclination Angle(°)	length (mm)	Inclination Angle(°)
Vane ①	670.1	53	1170.1	63, 78
Vane ②	362.8	48	762.8	58, 73
Vane ③	175.3	43	475.3	53, 68
Vane ④	170.7	33	370.7	43, 58
Vane ⑤	338.6	26	338.6	36, 51
Vane ⑥	710.4	18	710.4	28, 43

* Inclination angle of modified duct vane has two value. The former is modified angle of original vane, the latter is extended section of vane.

정식, 운동량 방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지 소산율방정식, 에너지방정식은 다음과 같다.^[5,7] 이때 난류 모델로는 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하였으며 각 식들에서의 기호 선정은 일반적인 교과서에서의 예를 따랐다.

(a) 연속방정식 : (2)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

(b) 운동량 방정식 : (3)

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_j \beta (T - T_m)$$

(c) 난류운동에너지 방정식 : (4)

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

(d) 난류운동에너지 소산율 방정식 : (5)

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) \right] + C_{1\epsilon} G_k \frac{\epsilon}{k} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

(e) 에너지 방정식 : (6)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \left(\frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \right]$$

여기서 $u, p, \rho, \mu, \beta, k$ 및 ϵ 은 각각 공기의속도, 압력, 밀도, 층류점성 계수, 공기의 체적팽창계수, 난류운동에너지 및 난류운동에너지소산율을 나타낸다. 난류점성계수 μ_t , 유동에 의한 난류생성항 G_k , 부력에 의한 난류생성항 G_b 및 난류상수값 $C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{3\epsilon}, \sigma_k, \sigma_\epsilon, \sigma_i, \sigma_t$ 은 각각 다음과 같다

$$\mu_t = C_\mu \frac{\rho k^2}{\epsilon} \tag{7}$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \tag{8}$$

$$G_b = \frac{\mu_t g_i \beta}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \tag{9}$$

여기서 $C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_{3\epsilon}, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, \sigma_i = 1.0, \sigma_t = 1.0$ 이다.

5.1.3 경계조건

전체 해석영역에 대하여 유한체적법 (finite volume method)과 속도등의 백터량과 압력, 온도등의 스칼라량의 존재 위치가 서로 같은 비엇갈림 격자망 (non-staggered grid)으로 이산화 하였다. 또한 운동량 방정식의 압력장을 처리하기 위하여 압력장을 정확히 예측하는 것으로 알려져 있는 SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) 알고리즘이 사용되었다.

미분기 언더바울 내부의 공기유동을 해석하기 위하여 베인휠은 35.1 rpm으로 회전하는 MRF (moving reference frame) 모델을 적용하였으며 경계조건은 공기유입 덕트 입구와 베인휠 출구에 부여하였고 이를 Table 2에 나타내었다. 공기의 입구경계조건은 현재 영흥화력에서 운전중인 실제자료를 반영하여 온도 230℃, 유량은 127 ton/h, 밀도는 일정하게 유지되는 것으로 가정하였으며 출구의 경계조건은 대기압을 적용하였다. 또한 미분기 베인휠 전후단 압력 차이를 검증한 결과, 실제값은 130

Table 2 Boundary conditions of the model in the present study.

Location	Value
Inlet Face	127 ton/h, 230℃ (constant density)
Outlet Face	101,319 Pa
Walls	$u = v = w = 0, \frac{\partial T}{\partial x, n} = 0$

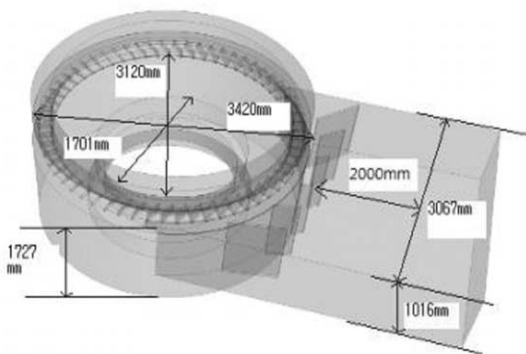


Fig. 8 Schematic of solution domain in the present study

mm H₂O 대비 수치해석결과는 123 mm H₂O로 5.3%의 오차를 가지는 것으로 나타나 비교적 유사하므로 본 연구에서 수행한 수치해석은 타당하다고 판단되었다.

5.2 유동특성 분석

5.2.1 기존 덕트베인에서의 유동특성

현재 설치되어 운전되고 있는 미분기 언더바울 내부의 유동해석을 통해 베인휠 출구의 속도분포를 구하였다. Fig. 9는 미분기 베인휠 출구에서의 속도분포이다. 미분기 언더바울의 공기는 시계방향으로 회전하면서 베인휠을 통하여 미분기 내부로 균일하게 공급하도록 되어 있으나 공기 속도분포가 공기 인입 덕트 중심선을 기준으로 시계방향으로 180°까지 공기의 속도가 높게 유지되었으며 180°에서 310°까지는 상대적으로 속도가 낮게 유지되었다. 속도가

높게 유지된 영역에서는 미분기 내부 디플렉터의 마모가 심할 것으로 판단되며 이는 내부점검을 통해 확인되었다. 또한 속도가 낮게 유지된 영역에서는 석탄넘침 현상이 발생할 가능성이 높아진다.

Fig. 10은 미분기 언더바울 단면의 공기 패스라인을 나타냈다. 공기유입덕트에서 덕트베인에 의해 형성된 시계방향의 선회력이 부족하여 일부 공기는 반시계방향으로 유동하는 특성을 나타냈다. 또한 공기유입덕트 중심선을 기준으로 시계방향으로 180°부근에서 반시계방향으로 유출된 공기와 간섭되어 속도분포의 불균일이 발생하는 것으로 판단된다. 미분기 언더바울 내부의 속도는 공기유입 덕트를 기준으로 시계방향으로 90° 부근에서 최대 35 m/s까지 상승하였으며 170°에서 330°까지는 속도의 변동이 심할 것으로 예상된다.

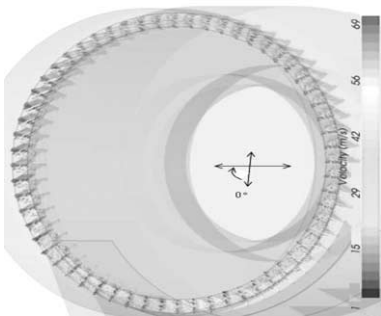


Fig. 9 Velocity distribution of air at vane wheel in original model.

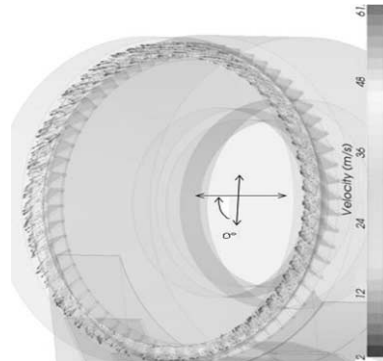


Fig. 11 Velocity distribution of air at vane wheel in modified model.

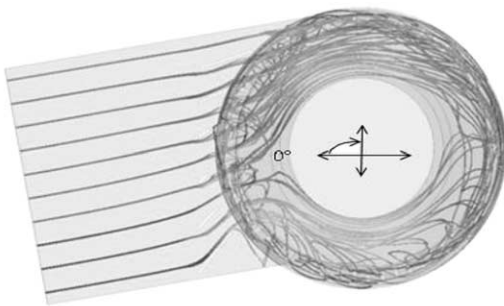


Fig. 10 Isobars of air at the underbowl in original model.

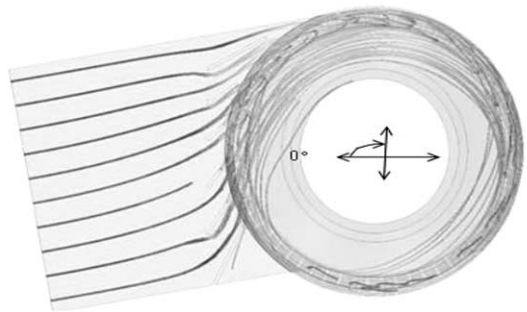


Fig. 12 Isobars of air at the underbowl in modified model.

5.2.2 개선 덕트베인에서의 유동특성

Fig. 11는 개선된 덕트베인의 베인휠 출구 속도분포를 나타내었다. 미분기 언더바울에서 이송용 공기의 선회력을 증가시키기 위하여 개선된 덕트베인은 미분기 언더바울 내부에서 덕트베인에 의해서 발생하는 강한 선회류가 360° 전 구간에서 유지되어 전반적으로 베인휠 출구에서의 공기 속도분포가 균일한 상태를 나타냈다. 이러한 베인휠 출구에서의 균일한 속도분포는 미분기 내부부품인 디플렉터의 편마모를 방지하고 국부적으로 속도가 저하된 구역에서 발생하는 석탄넘침 현상을 감소시킬 수 있다.

Fig. 12는 개선된 덕트베인의 미분기 언더바울 단면의 공기 패스라인을 나타내었다. 공기유입덕트에서 덕트베인에 의해 시계방향의 강한 선회류가 형성되어 대부분의 공기가 시계방향으로 선회하는 특성을 나타냈으며 미분기 언더바울 내부에서 균일하면서 충분한 선회류가 360° 전구간에서 균일한 모습을 유지하고 있다. 또한 미분기 언더바울 내부의 속도는 공기유입 덕트를 기준하여 시계방향으로 90° 부근에서 최대 61m/s까지 상승하였으며 전반적으로 균일한 형태를 나타내었다. 따라서 미분기 내부부품인 디플렉터의 국부적인 마모를 방지하고 석탄의 넘침현상을 감소시키기 위하여 기존 덕트베인의 개선이 필요하며 베인휠 출구에서 속도가 균일화된 석탄 이송용 공기는 석탄의 분쇄를 촉진하고 석탄입자의 선별을 양호하게 하여 전체적인 미분기의 성능을 향상시킬 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 미분기 베인휠 출구에서 석탄 이송용 공기의 불균일한 유속으로 발생하는 미분기 내부 디플렉터의 국부적 마모, 석탄넘침현상의 원인을 분석하였고 미분기 언더바울 공기의 유동해석을 통해 베인휠 출구의 공기유속이 불균일함을 확인하였으

며 이를 개선하기 위하여 입구 덕트베인의 형상과 경사각을 변경하여 베인휠 출구에서의 공기유속을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

미분기 언더바울 내부 석탄 이송용공기의 유동해석을 통하여 베인휠 출구의 속도분포가 불균일함을 확인하였고 이에 대한 개선방안으로 입구 덕트베인의 경사각 10° 증가 및 길이를 500 mm ~ 200 mm 추가 연장하고 베인 연장부의 경사각은 추가로 15° 조정하는 방안이 언더바울 내에서 충분한 선회류를 발생시켜 360° 전구간의 베인휠 출구속도가 균일화되었으며 덕트베인에 의해서 형성되는 선회류는 베인휠의 출구속도 분포 균일화에 주요 인자이며 미분기 내부부품인 디플렉터의 편마모를 방지하고 석탄의 넘침현상을 감소시킬 수 있다.

참고문헌

1. World energy outlook 2009, International energy agency, 2009, pp. 19~21.
2. 800 MW Coal-Fired Power Plant Operation Manual, KOSEP, 2004, pp.10~15.
3. HP1103 Pulverizer Maintenance Manual, 2004, Doosan Heavy Industries and Construction, pp.144~153.
4. Power Plant Commissioning, 2006, Doosan Heavy Industries and Construction, pp 72~75.
5. Sun-Ae Moon, 2006, Prediction of Reentering Ratio and Cooling Capacity of Individual Cooling Towers Scattered on a Building Roof, Hanyang University pp. 25~37.
6. R. Brown, 2001, Pulverizer Interest Group Interim Report, EPRI.
7. Suhas V. Patankar, 2002, Numerical Heat Transfer and fluid, McGraw-Hill, pp. 25~37.