

외기의 풍속 및 풍향에 따른 옥내저탄장 내부 유동 해석

김태권¹, 조목량^{2*}, 배영완², 김지원¹

¹계명대학교 기계자동차공학과, ²계명대학교 대학원 기계공학과

Flow Analysis indoor Coal Storage Shed due to Wind Velocity and Wind Direction of Ambient Air

Tae-Kwon Kim¹, Mok-Lyang Cho^{2*}, Young-Wan Bae², Ji-Won Kim¹

¹Department of Mechanical Automotive Keimyung University

²Graduate school of Mechanical Engineering Keimyung University

요약 화력발전소의 옥외 저탄장은 주변 지역의 환경오염 문제로 인하여 국내외적으로 옥내 저탄장으로 전환되고 있는 추세이다. 하지만 옥내 저탄장의 경우 실내의 석탄 비산과 유해가스의 발생이 문제가 되고 있다. 본 연구는 옥내 저탄장 내부를 외기의 풍속 및 풍향에 따른 내부 유동장 특성과 환기량을 분석하여 환기 방안을 제시하고자 한다. 옥내 저탄장 내부에서의 실제 유동 측정 정보를 기반으로 하여 CFD 해석을 수행하였다. 외기 풍향이 동풍일 때 풍속이 6 m/s인 경우와 2 m/s인 경우를 비교해본 결과는 6 m/s일 때 Monitor louver로 배출되는 유속이 2 m/s일 때보다 빠르게 재순환 영역이 뚜렷하게 나타났다. 또한 외기 풍향이 서풍일 경우에도 동풍과 경향이 비슷함을 확인하였다. 풍속에 따른 환기량을 확인한 결과는 풍속이 6 m/s인 경우에는 환기 횟수는 13.1회, 2 m/s인 경우에는 4.4회의 환기가 가능하다. 풍속이 2 m/s인 경우에 일반 공장의 시간당 필요 환기 횟수에 미치지 못하여 다소 개선이 필요한 실정이다.

Abstract The outdoor coal storage sheds of thermal power plants are being converted to indoor coal storage sheds worldwide because of the environmental pollution problems in the surrounding areas. On the other hand, indoor coal storage sheds are causing problems, such as indoor coal scattering and harmful gas generation. In this study, the ventilation method of indoor coal storage sheds was analyzed in terms of the internal flow characteristics and ventilation according to the outside wind velocity and direction. CFD analysis was performed based on the actual flow measurement information inside the indoor coal storage sheds. A comparison of the wind speed of 6 m/s and 2 m/s when the outside wind direction was easterly showed that the stream velocity to the monitor louver was faster and the recirculation area was clearer at 6 m/s than at 2 m/s. In addition, the trend of a westerly wind was similar to that of the easterly wind. The ventilation rate according to the wind speed was 13.1 times and 4.4 times for a wind speed of 6 m/s and 2 m/s, respectively. If the wind speed is 2 m/s, the situation does not meet the required number of ventilations per hour in a general plant, and needs to be improved.

Keywords : Ventilation, Velocity, CFD, Indoor Coal Storage Shed, Wind Direction.

*Corresponding Author : Mok-Lyang Cho(Keimyung Univ.)

email: jml9550@naver.com

Received September 3, 2019

Accepted January 3, 2020

Revised October 17, 2019

Published January 31, 2020

1. 서론

대부분의 석탄화력발전소의 연료인 석탄은 대규모 옥외 저탄장에 적재한다. 석탄을 옥외 저탄장에 저장하고 운반하는 과정에서 비산먼지, 자연발화 등 다양한 문제가 발생하게 된다[1]. 특히 주변지역으로의 환경오염으로 인하여 인근주민들과의 민원이 자주 발생한다[2][3]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 현재 국내외적으로 옥외에 야적하는 방식의 저탄장에서 옥내 저탄장으로 전환하고 있는 추세이다. 옥내 저탄장의 경우는 주위공기의 흐름으로 인한 석탄의 비산 등에 대한 문제는 해결할 수 있었지만 석탄을 실내 공간에 보관함에 따른 새로운 문제가 야기되고 있다. 석탄을 저탄장에 공급하는 과정에서 발생하는 실내의 석탄비산과 자연발화에서 발생하는 유해가스가 그것이다. 그러나 현재 국내 대다수의 옥내 저탄장에서는 몇 가지 이유로 인해 외풍과 건물 안 밖의 온도차에 의한 자연환기법을 사용한 제4종 환기 방법을 사용하고 있다. 제4종 환기방법의 특성상 일정한 환기량을 유지하는 것이 어렵기 때문에 옥내 저탄장의 석탄 적재 과정에서 발생하는 분진과 저탄된 석탄의 자연발화에 의해 발생된 유해가스의 배출이 어려운 실정이다[4]. 또한 유해가스는 작업자들의 작업환경 악화로 작업 능력을 저하시키고, 안전사고를 유발하는 등의 문제가 대두되고 있다[5]. 작업자들에게 악영향을 주는 유해가스는 일산화탄소, 이산화탄소, 황산 가스 등이 있다. 그 중 일산화탄소는 무색, 무취의 기체로서 적체된 석탄의 경우 산소가 부족한 상태에서 자연발화 연소가 일어나게 되어 불완전연소의 결과로 발생하게 된다. 이 가스는 인체로 들어가면 혈액 중의 헤모글로빈과 결합하여 산소보급을 가로막아 심한 경우 사망에까지 이르게 하는 유독성의 가스로 잘 알려져 있다.

이러한 측면에서 옥내 저탄장 내의 작업자들의 작업능률을 향상시키고 안전사고 발생을 최소화하기 위하여 옥내 저탄장 내부유동특성 분석을 통하여 현재의 문제 상황을 이해함으로써 새로운 환기 방안을 제시하기 위해 BRANIMIR PAVKOVIC의 2명이 연구한 옥내저탄장에 관한 논문을 참고하였다[6].

따라서 본 연구는 국내 W발전소의 옥내 저탄장 내부에서의 실제 유동의 측정 정보를 기반으로 하여 저탄장 외부공기의 풍속과 풍향에 따른 대표적인 경우에 대하여, 옥내 저탄장 내부의 공기 유동장 특성과 환기량을 CFD 해석을 통하여 분석함으로써 환기방안의 초기자료를 제시하고자 한다.

2. 해석방법 및 조건

2.1 수치해석 방법

본 연구에서는 옥내저탄장 내부의 유동해석은 'Workbench'의 Design modeler & Meshing으로 옥내저탄장 실제 형상을 바탕으로 3D모델링과 격자구성을 하였다. 또한 전산 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 해석 소프트웨어인 'Fluent'를 사용하여 수치해석을 진행하였다.

본 연구에서 사용한 지배 방정식은 총 8가지로 3차원 정상상태 연속방정식, 3가지 차원의 운동량 방정식 k-εpsilon 모델이다. Eq. (1)은 연속방정식으로 질량 보전 법칙을 미분방정식의 형태로 수식으로 나타내었다. Eqs. (2), (3), (4)는 각각 x, y, z방향의 운동량 방정식으로 뉴턴의 제 2법칙을 유체 요소에 작용 하는 힘과 운동의 관계를 수식으로 나타내었다[7].

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial z}) + \rho g_x \quad (2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial z}) + \rho g_y \quad (3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial z}) + \rho g_z \quad (4)$$

Eqs. (5), (6), (7)은 난류점성계수(μ_t)를 구하기 위한 난류운동에너지(k)와 난류소산에너지(ϵ)를 구하기 위한 식이다. 모델의 상수는 $C_{1\epsilon}=1.44$, $C_{2\epsilon}=1.92$, $C_{\mu}=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.3$ 이다. Eq. (8)은 난류 점성계수와 점성계수를 합하여 유효점성계수(μ_{eff})를 계산하였다[8].

$$\rho \frac{\partial (ku_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial(\epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (6)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (7)$$

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (8)$$

2.2 옥내 저탄장 형상

본 연구에서 모델링한 W옥내저탄장은 약 70만톤 가량의 유연탄을 적재 가능하다. 옥내 저탄장 내부는 공간의 크기에 비해 장치들이 상대적으로 작아서 유동의 영향에 미미한 장치 및 설비들은 간략화하여 Fig. 1과 같이 형상을 구현하였다. 옥내 저탄장 내부의 체적은 1,703,903 m³이고, 저탄장은 크게 Shed, Coal, Wall, Shutter, Louver, Window로 총 6개로 구성되어 있다. 저탄장은 북쪽부터 남쪽까지 총길이는 447 m이고, 서쪽부터 동쪽까지의 총길이는 125 m이다. 그리고 저탄장의 바닥에서 Monitor louver까지의 높이는 66 m이다. Door, Window, Louver에 대한 형상은 Fig. 2에 나타내었다. 북쪽과 남쪽에 위치해 있는 Shutter의 면적은 6 m × 7 m이고, Louver의 면적은 1.5 m × 1.5 m으로 Window의 두 배이며 모두 열려 있으며 Window의 면적은 0.75 m × 1.5 m으로 설정하였다. 본 연구의 경우 옥내 저탄장 내부 유동해석이므로 격자 생성 시 옥내 저탄장 내부의 Shed와 저탄된 석탄에는 격자를 생성하지 않고 공기영역만 격자를 생성하였다. 그 중 유·출입구인 Louver, Window, Shutter부분을 조밀하게 격자를 구성하였다. 격자의 형상은 Tetrahedron이며 격자의 개수는 약 800만개이다. 격자의 형상은 Fig. 3에 나타내었다.

2.3 유동해석조건

본 연구에서 전산유체해석 소프트웨어인 ‘Fluent’를 활용하여 옥내 저탄장 3차원 유동해석을 진행하였고, 난류 유동 해석을 위하여 k-epsilon standard 모델을 사용하였다. 내부에서 외부로 유동이 유출되는 Monitor louver는 Pressure-outlet 조건을 주었고, Window, Louver, Door, Shutter는 측정값을 바탕으로 Velocity inlet을 설정하였다.

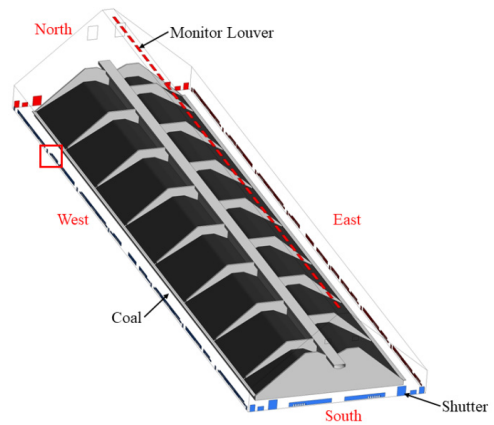


Fig. 1. Shape of coal storage shed

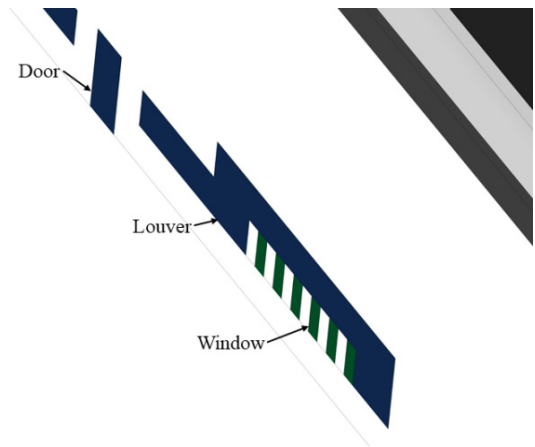


Fig. 2. Detailed shape of door, window, and louver

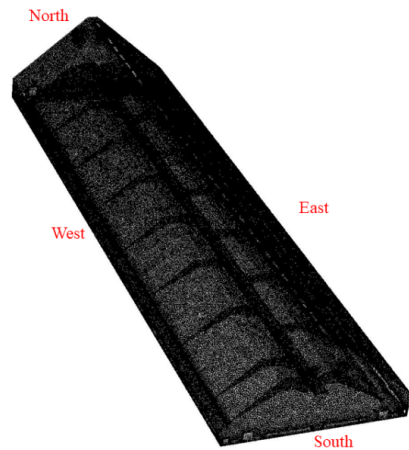


Fig. 3. Mesh of coal storage shed

실제 옥내 저탄장 외부에서 직접 측정된 데이터를 아래 Table 1을 표기하였다. 아래 표 Table 1은 외부에서 내부로 유입되는 유동은 +로 표기하였고 내부에서 외부로 유출되는 유동은 -로 표기하였다. Case는 동풍, 서풍을 기준으로 하여 속도의 상대적 크기가 큰 경우(max case)와 상대적으로 작은 경우(min case)로 구분하여 총 4가지로 구분하였다. 네 가지의 Case는 실제 측정 데이터를 활용하여 선정하였다. Max case는 외부에서 내부로 유입되는 주유동의 유속이 가장 빠른 6.0 m/s이고 Min case의 유속은 가장 느린 2.0 m/s이다.

Table. 1 Analysis condition

Main wind		Velocity inlet (m/s)			
		East	West	South	North
East	max	6.0	-2.0	1.3	-2.7
	min	2.0	-0.7	0.4	-0.9
West	max	-2.0	6.0	1.3	-2.7
	min	-0.7	2.0	0.4	-0.9

3. 옥내 저탄장 유동해석 결과분석

실측 데이터를 바탕으로 풍향 및 풍속에 따른 4가지 Case를 선정하여 옥내 저탄장 내부유동해석을 진행 하였다. 해석결과 값은 저탄장의 동서절단면을 본 Front view, 남북절단면을 본 West view로 결과를 정리하였다. Front view는 북쪽부터 남쪽까지 길이의 중간 지점인 223.5 m의 동서절단면을 보인 것이고, West view는 동쪽부터 서쪽까지 길이의 중간 지점인 62.5 m의 남북 절단면을 보인 것이다.

3.1 풍속에 따른 해석결과

앞 절에서의 해석조건으로 옥내 저탄장 유입외기의 속도 변화에 따른 해석결과를 나타내었다. 주 외부유동이 동풍인 경우에 대해 먼저 검토해 보면, Fig. 4(a), (b)는 속도벡터의 모습을 보이고 있다. (a)는 동풍이 약하게 부는 경우로서, 풍속이 2.0 m/s일 때의 옥내 저탄장을 Front view에서 확인한 결과이다. 저탄장 동쪽에서 약한 바람이 Louver를 통해 유입되고 2개의 유·출입구인 서쪽 Louver와 상부의 Monitor louver로 유출되는 것을

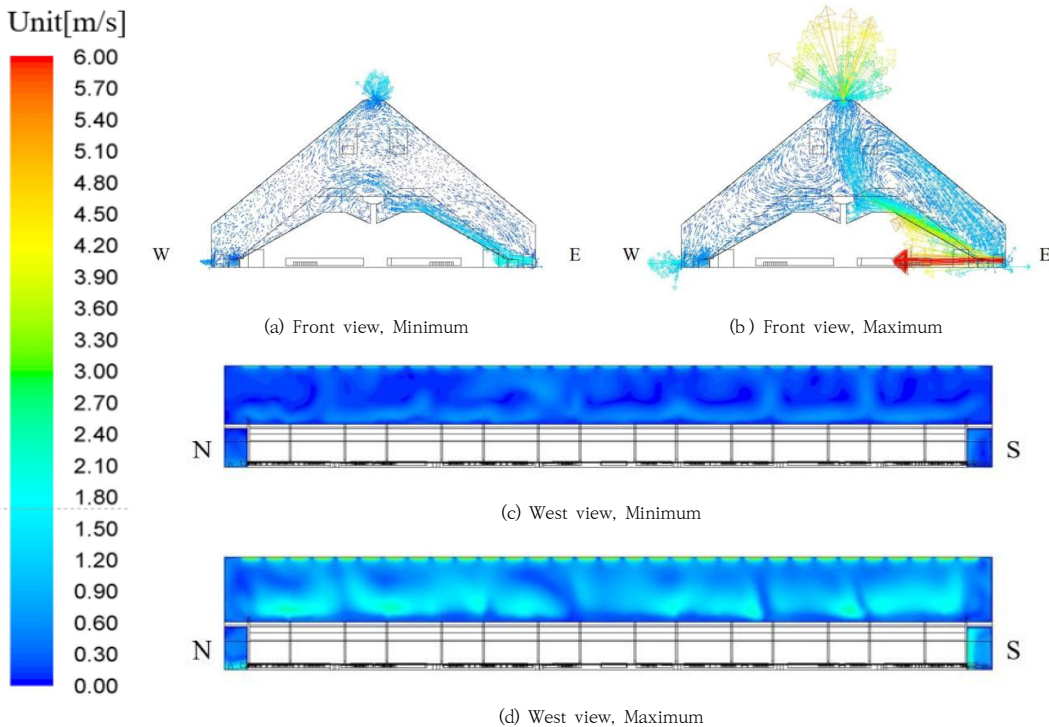


Fig. 4. Result of flow induced by the east wind

볼 수 있다. 또한 저탄장 우측하단에서 중앙 Shed를 타고 올라오는 유동이 순환하면서 벽면을 따라 서쪽 Louver로 유출되는 것을 확인할 수 있고, 동쪽 하단 부분에서 소규모의 재순환 영역을 볼 수 있다. 또한 중앙 쪽에서 비교적 큰 재순환 영역을 보이면서 상부쪽의 유동은 Monitor louver로 빠져나간다. 이 때 Monitor louver로 나가는 속도는 약 1.7 m/s이다.

풍속이 약한 경우와 비교하기 위해 풍속이 강한 경우를 살펴보았다. Fig. 4(b)는 동풍이 3배정도로 강한 경우로서, 풍속이 6.0 m/s일 때의 옥내 저탄장을 Front view에서 확인한 결과이다. 동쪽 Louver로 들어온 외기가 저탄장 우측부분에서 크게 재순환하며 (a)의 경우와 정성적으로 유사하게 Monitor louver, 서쪽 Louver로 나가는 것을 볼 수 있으며, Monitor louver로 나가는 속도는 평균 약 5.3 m/s로 느린 동풍에 비해 비교적 빠르게 나타나고 있다. 또한 Fig. 4(b)는 풍속이 느린 경우인 Fig. 4(a) 보다 저탄장내의 중앙 Shed를 타고 다시 동쪽 Louver로 재순환하는 영역이 강한 것을 볼 수 있다.

Fig. 4(c), (d)는 옥내 저탄장의 서쪽에서 확인한 남북 절단면의 속도크기의 contour이다. (c)는 서풍이 느린

경우, (d)는 서풍이 빠른 경우이다. 모든 Monitor louver에서 (c)는 약 1.7 m/s, (d)는 약 5.3 m/s로 서풍이 빠른 경우가 약 3배 정도로 Monitor louver로 빠르게 배출되고 있음을 알 수 있다. Fig. 4(c), (d)를 통하여 특정한 Monitor louver에 속도가 집중적으로 치우치지 않고 균일하게 분포되어있는 것을 확인하였다. 주유동이 서풍인 Fig. 5의 경우도 Fig. 4의 경우와 마찬가지로 속도가 다른 두 가지 조건에서 유·출입구로 나가는 비슷한 경향을 보이고 있고, 중앙 Shed부근의 유동이 거의 대칭적 거동을 하는 것을 확인할 수 있다. 또한 Louver로 들어온 바람이 가장 빠른 속도로 Monitor louver로 나가는 것으로 판단된다.

3.2 풍향에 따른 해석결과

옥내 저탄장 외기 풍향의 영향을 확인하기 위해 위의 3.1절의 해석 결과와 반대 풍향인 저탄장 서쪽 Louver로 외기가 유입되는 경우에 대한 해석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a), (b)는 풍속이 느린 경우, 빠른 경우의 옥내 저탄장을 Front view에서 확인한 결과이다. 풍향이 반대인 Fig. 4의 조건과 흡사한 결과를 확인할

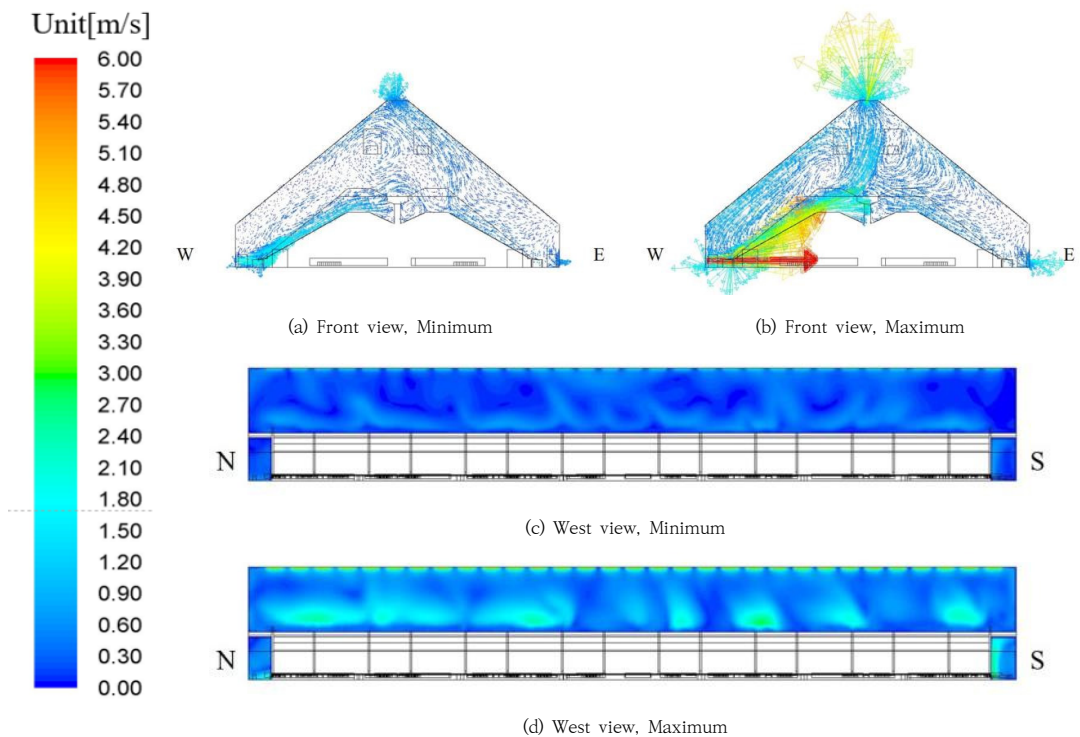


Fig. 5. Result of flow induced by the west wind

수 있다. 서쪽 Louver에서 들어온 외기가 Shed를 타고 올라가 좌측 상단에서 크게 순환하며 벽면을 타고 다시 동쪽 Louver로 유출되거나 중앙 Shed를 지나 Monitor louver로 유출된다.

Fig. 5(c), (d)는 West view에서 확인한 결과이다. Fig. 4(c), (d) 결과와 비슷하게 각 Louver에서 들어온 외기가 (c)는 약 1.0 m/s, (d)는 약 3.1 m/s의 속도로 Monitor louver로 나가는 형상을 확인할 수 있다. 위 결과를 보았을 때 동·서 풍일 때 옥내 저탄장의 구조가 거의 대칭이어서 나타나는 유동특징도 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

3.3 옥내 저탄장 환기량 분석결과

동풍일 때의 옥내 저탄장의 모든 유·출입구에서의 환기량을 확인한 결과를 Table 2에 나타내었다. 그리고 동쪽에서 유속이 가장 약하게 유입될 때의 유량 비율을 Fig. 6에 예시하였다. Table 2는 동풍일 때를 나타내었고, 유속이 약할 경우와 빠를 경우에 대하여 체적유량으로 나타내었다. 유속이 약할 경우에 옥내 저탄장으로 유·출입되는 총 유량은 2063.4 m³/s로 동일하다. 유·출입 유량 중 가장 많이 유입되는 곳은 1634.1 m³/s인 Louver이며 반대로 가장 많이 유출되는 곳은 1084.4 m³/s인 Monitor louver 이다. 유속이 강할 때 유·출입되는 총 유량은 6226.6 m³/s로 동일하고, Louver는 4919.8 m³/s, Monitor louver는 3383.7 m³/s로 속도에 관계없이 가장 많은 비중을 차지한다. 위의 결과를 바탕으로 동풍일 때 옥내 저탄장으로 유동이 들어오는 입구 중 Louver가 가장 비율이 큰 것을 확인하였고, 출구는 Monitor louver라는 것을 확인하였다. 시간당 환기량은 풍속이 강할 경우 13.1회, 풍속이 약할 경우 4.4회이다. 여기서 시간당 환기량의 의미는 Eq. 6에 나타 내었으며 옥내 저탄장의 내부 공간에 있는 전체공기가 단위 시간에 환기되었을 때를 1회로 산정하였다.

Fig. 6. 은 동쪽 Louver에서 가장 낮은 유속이 유입될 경우이고, 붉은색은 유출의 비율을, 푸른색은 유입의 비율을 나타내었다. 유입량의 비율은 Louver는 79.2 %, Window는 12.3 %, 그 외 8.5 % 나왔으며, 이와 반대로 유출량의 비율은 Monitor louver는 52.5 %, Louver 33.3 %, Window 4.9 %, 그 외 8.3 % 가 나왔다.

$$\text{시간당 환기량} = \frac{\text{내부 공간에 있는 전체 공기}}{\text{시간당 체적 유량 (m}^3\text{/h)}} \quad (9)$$

Table 2. Result of volumetric flow rate by the east wind

	East wind (m ³ /s)			
	Min case		Max case	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Louver	1634.1	687.7	4919.8	1986.7
Window	253.3	100.8	761.5	290.0
Hanger door	107.1	37.5	321.4	107.1
Shutter	56.2	126.5	182.8	379.6
Door	12.6	26.4	41.1	79.4
Monitor louver	0.0	1084.4	0.0	3383.7
Total	2063.4	2063.4	6226.6	6226.6

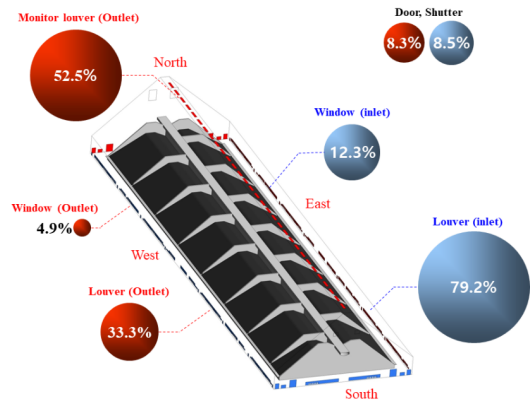


Fig. 6. Percentage of volumetric flow rate in the case of east minimum wind

4. 결론

본 연구에서는 유동해석을 통하여 옥내 저탄장 외부에서 유입되는 공기의 유동의 영향이 저탄장 내부의 유동에 미치는 특성을 해석하여 저탄장 내부의 유동 특성과 환기량을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 외기가 옥내 저탄장 Louver를 통해 들어와 유·출입구인 Monitor louver, Louver로 빠져나가는 경향을 확인하였다. 주 외부공기의 방향과 무관하게 상부의 Monitor louver를 통해 가장 빠른 속도로 실내공기

가 빠져나가는 것을 확인하였다. 또한 풍속이 증가함에 따라 중앙 Shed 부근에서 공기가 순환하는 특징을 보였다.

- 2) 옥내 저탄장 내부의 체적은 1,703,903 m³이다. 동풍일 때 풍속이 최대인 경우 시간당 13.1회의 환기가 가능하고, 최소인 경우 시간당 4.4회의 환기가 가능하다. 하지만 옥내 저탄장과 비슷한 석탄 화력발전소의 보일러 빌딩의 경우 시간당 환기 횟수의 설계 기준은 7회이다. 풍속이 최소인 경우 설계 기준에 미달하는 것을 확인하였다.
- 3) 현재 옥내 저탄장은 동·서풍이 유입될 경우 재 순환 영역이 생겨 옥내 저탄장에서 발생한 유해가스, 분진 등의 유출이 어렵고 큰 체적을 가진 옥내저탄장에서 유·출입의 통로인 Monitor louver, Window, Louver, Door, Shutter의 면적이 상대적으로 매우 작아 시간당 환기량이 상대적으로 적다. 옥내저탄장은 내부 저탄된 석탄의 자연발화 혹은 저탄 시 발생하는 7석탄분진으로 인한 유해가스, 석탄분진이 많이 발생하는 설비이다. 옥내저탄장 환기량 개선을 위한 추가적인 연구가 수행될 필요성이 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구를 통해 외부공기의 풍향 및 풍속에 따른 옥내 저탄장의 유동패턴에 대해 이해하고 보다 효율적인 유동시스템 및 환기 시스템을 구축함으로써 점차 단계적으로 전환될 옥내저탄장 건설에 기초자료로 활용될 것이다. 또한 차기 연구에서는 외기온도 변화에 따른 저탄장 내부 공기 유동장의 변화에 대한 연구가 추가로 필요하다.

References

- [1] D. H. Kim, J. S. K. Kwon, Environmental impact of coal-fired thermal power plant Review and Suggestions, Seohaean Research Institute, Korea, p2-3, DOI : [http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X\(03\)00183-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X(03)00183-8)
- [2] B. H. Choi, Directions for Analyzing and Systematizing Conflict Management Issues in Regions,around Thermoelectric Power plants in Chungcheongnam-do Province, 20, 3, pp.351-376, 2013.
- [3] B. H. Choi, "Research on the Type of Conflict and Conflict Response Recognized by Actors - Focusing on the Area around Fired Power Plants of Dangjin", *Korean Society for the Conflict Management*, 1, 1, p3-32, 2014.
- [4] K. W. Kim, D. H. Choi, "The Principle and Method of Ventilation", *ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA*,

Review of Architecture and Building Science, 51, 10, pp.29-34(6), 2007.

- [5] G. S. Oh, "Impact of Indoor CO₂ Concentration on Work Performance", *ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA*, 30, 1, p.386, 2010.
- [6] B. Pavkovic, "Numerical Analyses of Heat Transfer and Fluid Flow in Coal Depot and Mill", *World Scientific and Engineering Academ and Society*, 2007.
- [7] B. R. Munson, T. H. Okiishi, W. W. Huebsch, A. P. Rothmayer, *Fluid Mechanics*, 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [8] ANSYS, Inc, ANSYS Fluent 6.3 Theory Guide, Sep. 2006.

김 태 권(Tae-Kwon Kim)

[정회원]

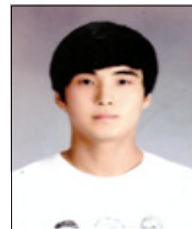


- 1992년 8월 : 한국과학기술원 기계공학(연소공학) 전공 (박사)
- 1981년 3월 ~ 1995년 8월 : 한국기계연구원 동력기계연구실장
- 1995년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>
연소공학

조 목 량(Mok-Lyang Cho)

[정회원]



- 2018년 2월 : 계명대학교 기계공학과 (석사졸업)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (박사재학)

<관심분야>
연소공학

배 영 완(Young Wan Bea)

[준(학생)회원]



- 2020년 2월 : 계명대학교 기계공학
학과 (석사재학)

<관심분야>
에너지공학

김 지 원(Ji Won Kim)

[준(학생)회원]



- 2020년 2월 : 계명대학교 기계자
동차공학과 (학사재학)

<관심분야>
에너지공학