

보일러빌딩 내부 환기현상에 관한 수치적 연구

김철환[†] · 유근종 · 최훈기

창원대학교 기계설계공학과

Numerical Study on the Ventilation Effect in the Boiler Building

Chul Hwan Kim[†] · Geun Jong Yoo · Hoon Ki Choi

Dept. of Mechanical Design and Manufacturing Engineering, Changwon National University

Ventilation effect is analyzed for boiler building with multiple heat sources. Air flow inside the boiler building is characterized as turbulent mixed convection. Analysis methodology is set up with two different $k-\epsilon$ type models (standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$). Two different cases with high and low outside temperature are analyzed. In case of high outside temperature condition, mixed convection is well realized inside the boiler building. With different upper louver opening rate, air flow is also well established and proper opening rate is found to meet design limit in case of low outside temperature condition. Difference of analysis results for two different turbulence models are not

significant. Therefore, analysis methodology with simple $k-\epsilon$ turbulence model is found to be reliable for the boiler building ventilation analysis. However, more simplified geometrical model is desired to expand its application.

Key Words : ventilation, boiler building, numerical analysis, $k-\epsilon$ model

I. 서론

발전소의 보일러빌딩은 발전계통에
서의 주 열원인 화로와 고온의 공기,
증기의 이동통로인 배관계, 그리고
탈진설비와 같은 친환경 설비들 및
기타 기기들로 구성되어 있으며, 이

러한 기기들이 공간의 제약으로 인하
여 복잡하고 밀집된 구조형태를 가지
고 있다. 보일러빌딩의 구조적 특징
은 내부의 공기 소통이 원활하지 않
을 경우 빌딩내부의 온도를 상승시켜
작업여건을 악화시키므로, 이를 개선
하기 위해서 내부 환기가 요구된다.

또한 외기가 낮은 경우에는 보일러빌
딩 내부에 위치한 기기들의 작동성에
문제를 일으킬 우려가 있으므로, 내
부의 온도를 일정수준 이상으로 유지
하기 위해 환기를 제어하는 것도 필
요하다. 보일러빌딩의 내부 환기는
외부 혹은 내부에 설치된 환기장치를
이용하여 구현할 수 있으며, 특히 보
일러빌딩 외부에 위치한 환기구에 의
해 효과적인 환기조건을 찾아낼 수
있을 것이다. 따라서 보일러빌딩 내

접수일 : 2005년 9월 30일, 채택일 : 2005년 12월 24일

[†]교신저자 : 김철환 (경남 창원시 사림동 창원대학교 641-773 기계설계공학과
Tel : 055-286-7576, Fax: 055-263-5221, E-mail : churani@changwon.ac.kr)

부의 작업여건을 개선하고, 내부 기기들의 작동성 문제를 막기 위해서 보일러빌딩의 환기현상에 대한 연구가 필요하다.

보일러빌딩 내부의 환기현상은 외벽에 위치한 환기구(Louver, 루바)를 통하여 유입된 공기와 내부의 열원들과의 열전달을 통해 형성되는 자연대류와 함께, 내부의 팬에 의하여 강제적으로 외부로 배출되는 혼합대류의 특징을 보이고 있다. 그중 자연대류에 의한 환기현상은 외부공기의 온도와 루바의 위치에 따라 차이를 나타낼지도 모른다. 따라서 내부의 작업환경을 유지하는데 필요한 환기현상에 대해 체계적 연구가 필요하며, 이를 위하여 환기구의 크기 및 외기온도의 영향에 대한 고찰이 요구되고 있다. 보일러빌딩에 관한 환기현상의 실험적 연구는 내부의 복잡하고 밀집된 구조와 다양한 열적 조건으로 인해 아직까지 이루어진 바 없으나, 수치적 해석방법을 통하여 보다 효율적으로 수행할 수 있다. 수치해석 결과는 다양한 대류현상의 예측에서 이용된 난류모델을 이용함으로써 간접적으로 신뢰성을 확인할 수 있을 것이다. 대류현상의 예측에 관한 연구는 여러 연구자들에 의해서 간단한 형태의 덕트 또는 실내를 기준으로 실험과 수치해석 결과간의 비교를 통해 난류모델들의 예측성능을 비교 평가하면서 지속적으로 연구되어 왔다 (Blay et al, 1992; Chen, 1995(a); Chen, 1996(b); Costa et al, 1999). 최근에는 LES(Large Eddy Simulation) 모델이 환기현상의 예측에 가장 우수한 성능을 보이는 것으로 보고되었다 (Zhang & Chen, 2000). 이와 함께 신뢰성이 입증된 다양한 난류모델을 실제 형상에서의 환기현상 해석에 적용하는 분석방법론의 제시를 위한 연구도 진행되고 있다.

본 논문에서는 보일러빌딩 내부의 환기현상을 해석하기 위한 분석방법

론을 제시하기 위하여 검증된 난류모델을 적용한 수치적 연구를 수행하였다. 적용된 난류모델은 보일러빌딩 내부의 구조적 특징과 다수의 사례별 해석을 위하여 신뢰성이 검증되고 적용이 용이한 모델들로 선정하였다. 외부 공기의 온도가 고온과 저온의 열악한 조건에서 임의의 보일러빌딩에 대한 내부의 환기현상 해석을 수행하였다. 그리고 제시된 분석방법론을 이용하여 해석결과는 내부의 공기 유동특성과 열전달을 통한 온도조건

II. 연구방법

1. 유동특성

의 만족도를 검토하여 검증하였다.

보일러빌딩 내부는 대형 구조물과 배관계, 그리고 기타 기기들에 의해 복잡한 3차원 형상을 띄고 있어 내부의 유동장이 복잡하다. 또한 보일러빌딩의 높이를 기준으로 산출한 Reynolds 수의 크기가 대략 2×10^6 이고, 내부에 위치한 열원 표면의 평균 온도를 60°C 로 가정할 경우의 Grashof 수 크기가 7×10^{14} 임을 감안한다면, 내부의 유동장은 혼합대류에 의한 열전달을 수반하는 3차원 난류유동 특성을 보임을 예상할 수 있다. 따라서 이와 같은 유동장에 대한 수치적 해석을 수행하기 위해서 우선 부력에 의한 자연대류 열전달의 유동 특성을 고려한 지배방정식과 유동장의 난류량을 평가하기 위한 적절한 난류모델

2. 지배방정식

이 요구된다.

보일러빌딩 내부에서는 외부에서 유입된 공기가 자연대류 열전달에 의하여 형성되는 부력으로 인하여 수직으로 상승하는 유동이 강하게 나타난

다. 그러므로 유동장 내에서의 열전달에 의한 온도변화를 평가하기 위한 에너지 방정식과 함께 부력에 의한 유동장내의 물리량 변화를 계산하기 위하여 부력항을 포함하는 운동량 방정식이 필요하다. 자연대류에 의해 형성되는 부력의 크기를 나타내는 부력항은 유체의 온도변화에 따른 밀도변화를 반영하여야 한다. 공기의 밀도변화는 이상기체 상태방정식을 이용하여 반영이 가능하지만 해석시 결과를 도출하기에 상당한 시간이 소모되므로 상태방정식 대신 계산이 쉽고 유사한 결과를 얻어낼 수 있는 Boussinesq 근사식을 이용하였다. Boussinesq 근사식은 식 (1)와 같이 밀도의 변화($\rho - \rho_0$)를 온도와 체적팽창계수(β)의 함수로 나타내어지는데, 유체의 온도 변화량($T - T_0$)만큼의 밀도변화가 부력항에 반영되어 계산된다. 이때, T_0 는 기준이 되는 임의의 유체온도를 나타내며, ρ_0 는 T_0 일 때의 밀도를 나타내는 것으로, 운동량 방정식의 부력항은 식(2)와 같이 근사식으로 변형되어 적용된다.

$$(\rho - \rho_0) \approx -\rho_0 \beta (T - T_0) \quad (1)$$

$$\rho g = -\rho_0 g (1 - \beta (T - T_0)) \quad (2)$$

3. 난류모델

유동에서의 난류량을 평가하기 위해서는 지배방정식 이외에 별도의 방정식이 필요하며, 이는 여러 형태의 난류모델들로 제시되어 있어 해석대상의 유동 특징에 맞추어 적용되어야 한다. 보일러빌딩 내부는 복잡한 구조를 가지고 있으면서 한편으로는 매우 큰 길이 스케일을 나타내는 유동장을 형성하고 있다. 일반적으로 LES와 같이 예측성능이 우수한 난류모델을 선택하여 해석결과의 신뢰성을 높일 수 있으나, LES 모델은 고밀도 격자에 따른 격자수 증가와 과도상태

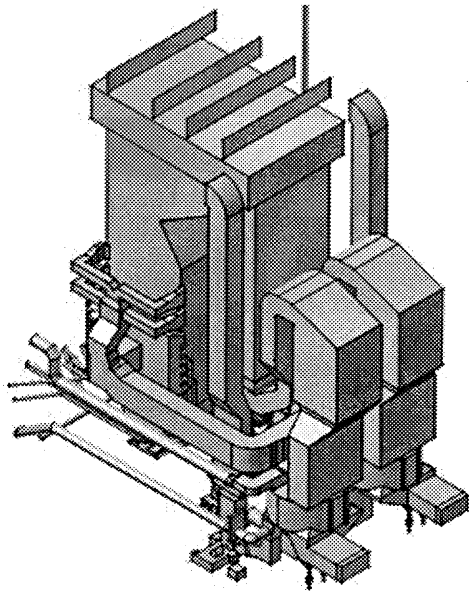


Fig. 1. Inside structure of boiler building.

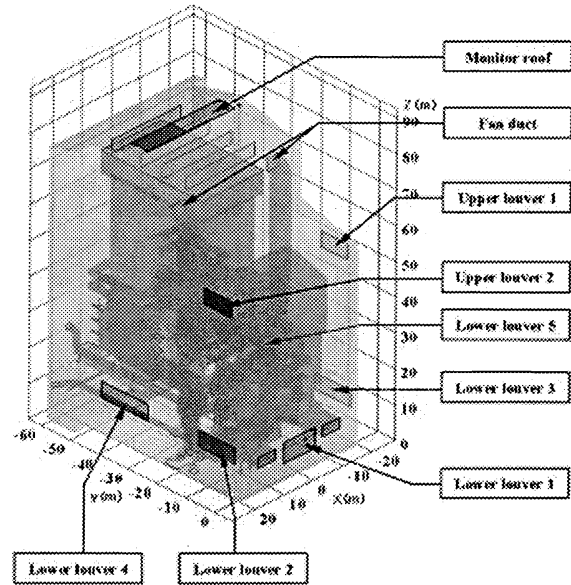


Fig. 2. Location of louvers(ventilation hole) in boiler building.

해석으로 인해 해석에 상당한 시간이 소요된다. 본 연구에서는 신뢰성을 유지하면서 분석이 용이한 분석방법론을 개발하기 위하여 보일러빌딩 내부의 형상 조건을 반영하여 성긴 격자계 및 정상상태에서도 해석이 가능한 난류모델을 선정하고자 하였다. 이를 위해 혼합대류 현상에 대한 난류모델들(표준형 $k-\epsilon$, RNG(Renormalized Group) $k-\epsilon$, Reynolds 응력 모델)의 성능을 비교하는 선행연구를 수행하고(김철환 외, 2005), 그 결과에서 Reynolds 응력 모델이 우수한 예측성능을 나타냄을 확인하였다. 그러나 Reynolds 응력모델은 난류응력을 계산하기 위한 추가된 방정식으로 인해 계산이 힘들고 장시간의 계산시간이 요구되는 것을 감안하여 용이한 분석방법론을 제시한다는 목표에 따라, 본 논문에서는 선행연구에서 Reynolds 응력 모델과 그 예측성능에서 큰 차이를 나타내지 않은 표준형 $k-\epsilon$ 모델을 선정하였다. Launder와 Spalding에 의해 제안된 표준형 $k-\epsilon$ 모델(Launder & Spalding, 1974)은 이미 여러 형태의 유동과 열전달 현상의

해석에 대중적으로 이용되어 왔으며, 광범위한 난류유동에 대해 경제적이면서 신뢰성을 가지고 있는 모델이다. 본 논문에서는 일반적으로 잘 알려진 $k-\epsilon$ 모델에 관한 자세한 설명을 생략하였다. 그리고 운동량과 스칼라량들의 전달이 활발하게 이루어지는 벽면부근의 유동을 정확히 묘사하기 위해 Launder와 Spalding이 제안한 벽함수(Launder & Spalding, 1974)를 이용

4. 수치해석기법

하였다.

Fluent v6.1에서는 유동특성에 근거한 지배방정식을 제어체적 방법을 이용하여 이산화된 대수방정식의 형태로 계산하고 있다. 여기서 이산화 과정에서 나타나는 대류항의 불안정을 막기 위하여 1차 상류화 도식을 기본으로 하는 하이브리드(Hybrid) 도식을 적용하였다. 그리고 운동량 방정식에서 나타나는 압력을 계산하기 위해 연속방정식과의 연결관계를 이용한

5. 해석대상

SIMPLE 알고리즘을 이용하였다.

해석대상인 보일러빌딩은 발전시스템의 대부분을 빌딩내부에 수용한 형태로 Fig. 1과 같이 화로와 배관계, 그리고 대형덕트 등으로 복잡하게 배치되어 있으며, 이들 대부분은 열원효과를 나타내고 있다. 보일러빌딩 내부에는 내부공기를 강제 흡입하여 보일러 연소시 필요한 공기를 공급하는 팬덕트(fan duct)가 상부에 위치해 있으며, Fig. 2와 같이 보일러빌딩 외부의 하부에 5개의 환기구(하부루바 1~5)와 상부의 환기구(상부루바 1, 2), 그리고 최상부에 환기구(모니터루프)가 위치해 있다. 해석에 사용한 형상에서 전체 유동장에 미치는 영향이 미미하다고 판단되는 구조물은 해석영역에서 배제하였으나, 반대로 유동장 형성에 큰 장애요소가 될 것으로 판단되는 부분은 최대한 반영였다. 해석용 격자계는 해석하고자 하는 보일러빌딩의 조건을 최대한 실제와 유사하게 나타내려고 하였으며, 형성된 격자계는 Fig. 3과 같다. 복잡한 내부구조로 인하여 격자작업이 수월한 삼각격자를 이용하여 총 128만 5천여

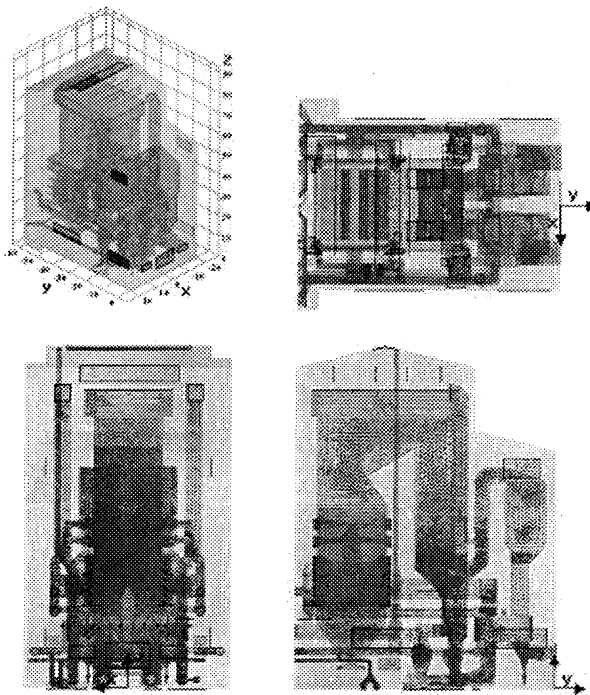


Fig. 3. Grid system for boiler building.

Table 1. Boundary conditions applied to analysis of boiler building

Sort	Boundary condition	Reference
Lower louver	Pressure outlet	Air : 32.4℃ -11.8℃
Upper louver	"	"
Monitor roof	"	"
Fan duct	Velocity inlet	Flow rate : -924.48 ton/hr
Wall of inner equipment	No-slip, Constant temperature	Surface temperature: 60℃
Outer wall of boiler building	No-slip	-

개의 격자를 형성하였다.

해석시 각각의 유출·입구와 열원에 적용한 경계조건은 Table 1과 같다. 루바(Louver)를 통해 유입될 공기의 온도는 여름철과 겨울철의 기상청 최고온도 자료를 참고하여 설정하였다. 팬덕트의 유속은 일정 유량을 흡입하는 것으로 가정하여 송풍량을 기준한 속도조건을 적용하였다. 그리고 내부에 위치한 열원의 표면온도는 화로와 같이 고온부에서 단열이 잘 이루어진 것으로 가정하여 60℃로 가정하였다. 또한 보일러빌딩 외벽부분에

III. 결과 및 고찰

서는 단열조건을 가정하였다.

보일러빌딩 환기해석의 결과는 외부공기의 온도가 32.4℃일 때를 편의상 고온조건으로, -11.8℃를 저온조건으로 명명하였다. 그리고 내부의 작업환경이 적절히 유지되는가에 대한 평가는 내부온도가 40℃미만을 유지하고 공기유동이 원활하게 이루어지는가를 기준으로 수행하였다. 이를 위해 나타난 온도분포 및 속도분포는

고온영역을 포함하고 있는 것으로 평가되는 위치를 선정하기 위하여 표기하였고, Fig. 4에는 이러한 단면의 위치를 나타내었다.

1. 외기의 온도가 고온일 때

치를 나타내었다.

전체적인 유동장 형태는 Fig. 5에 나타난 유선분포를 통해 파악할 수 있는데, 상부와 하부루바에서 유입된 외부공기는 내부기기들의 주변을 우회하여 상승하면서 팬덕트 및 모니터 루프와 연결된 모습을 보이고 있다.

Fig. 6에 나타난 속도분포에서는 하부루바를 통해 외부공기가 평균 2.1m/s의 크기로 강하게 유입되지만, 하부에 위치한 구조물들에 의해 전체적인 유동장이 복잡해지면서 유속이 감소하는 모습을 볼 수 있다. 그리고 내부기기 표면과 열전달을 수행하면서 나타나는 부력은 점차 수직으로 상승하는 유동을 형성하고 있다. 이러한 상승유동은 유동장 형성에 장애가 되는 요소가 없고 가장 표면적이 넓은 부분에서 강하게 나타났다.

Table 2에서는 각 환기구 위치에 따른 공기의 유출·입 유량을 정리하였다. 팬덕트를 통해 강제적으로 흡입되는 유량을 제외한다면 자연환기에 의해 형성되고 있는 환기량의 크기는 1,760.66 ton/hr로, 전체 환기량(2,685.14 ton/hr)의 65.6%를 차지하고 있다. 하부루바를 통해 유입되는 유량의 크기는 x-축방향을 기준으로 거의 대칭적인 모습을 보이지만, 하부루바 4와 5에서는 내부의 비대칭적인 구조물의 영향으로 다소 차이를 보이고 있다. 두 개의 상부루바에서는 내부의 공기를 외부로 유출시키는 역할을 하고 있으며, 그 크기는 전체 환기량의 6% 미만이다.

Fig. 7의 온도분포에서는 대부분의 공기가 유입되는 하부루바 부근에서는 저온을 형성하고 있으나, 점차 자연대류에 의해 형성되는 유동장의 특

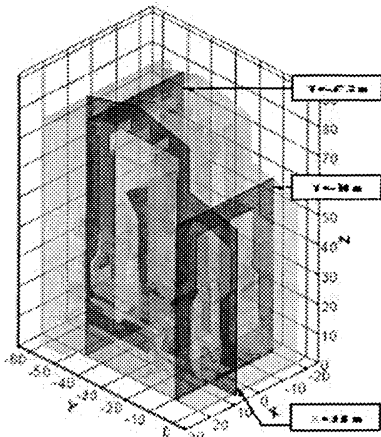


Fig. 4. Location of sliced planes

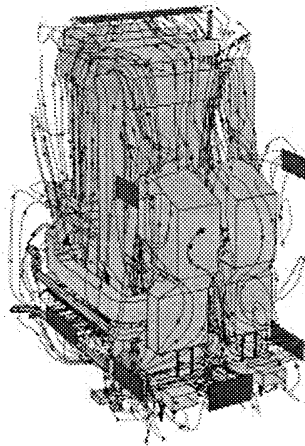


Fig. 5. Path lines in the case of high outside air temperature

Table 2. Flow rate and average velocity of louvers in the case of high outside air temperature

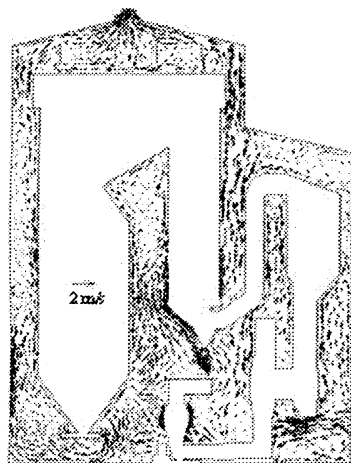
Sort	Mass flow rate (ton/hr)	Velocity (m/s)
Fan duct	924.48	-7.5
Monitor roof	-1,451.15	-1.95
Upper louver		
1	-153.74	-0.91
2	-155.78	-0.93
Lower louver		
1	482.61	1.79
2	476.90	1.96
3	476.45	1.96
4	630.06	2.02
5	619.12	1.99

* Negative velocity indicates discharge flow rates

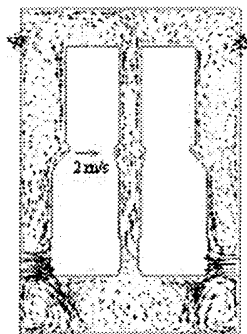
징으로 인하여 상부로 올라갈수록 고온을 형성하고 있다. 열원의 벽면부근과 대형 관 및 덕트 등으로 인해 공간이 협소한 곳을 제외한 전 영역에서는 40℃ 미만의 온도분포를 보이고 있다. 보일러빌딩 내부의 온도유지를 위한 적절한 환기량의 크기를 평가하기 위하여 열원 표면에서의 총 열전달률을 산출하고 다음의 환기량 공식에 따라 계산하였다.

$$Q = \frac{\dot{q}}{\rho c_p (T_i - T_o)}$$

여기서, \dot{q} 는 열원의 표면에서의 총열전달률(열부하량)이고 현재의 계산에서는 그 크기가 2,763,674 kcal/hr로 나타났다. 그리고 ρ 는 밀도, c_p 는 정압비열, T_i 는 유지하려고 하는 실내 온도, T_o 는 외기온도를 나타내는 변수이다. 내부의 온도를 40℃로 유지하기 위해 필요한 환기량의 크기는 대략 1,512 ton/hr으로 계산되었다. 이는 Table 2의 전체 환기량을 감안할 때, 56%에 도달하는 양으로 혼합대류에 의해 내부의 환기가 보다 원활하고 많이 이루어지므로 내부의 온도를 40℃ 이하로 유지하기에 충분할 것으로 여겨진다. 한편, 이와 같이



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Velocity distributions in the case of high outside air temperature :

(a) x=5.8m, (b) y=-10m, and (c) y=-47.3m

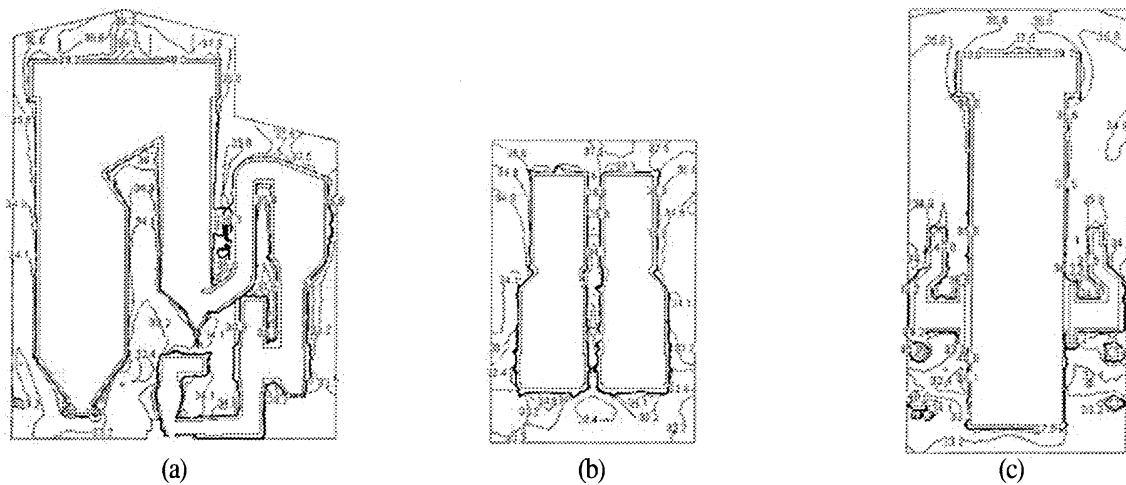


Fig. 7. Temperature distributions in the case of high outside air temperature :
(a) $x=5.8\text{m}$, (b) $y=-10\text{m}$, and (c) $y=-47.3\text{m}$

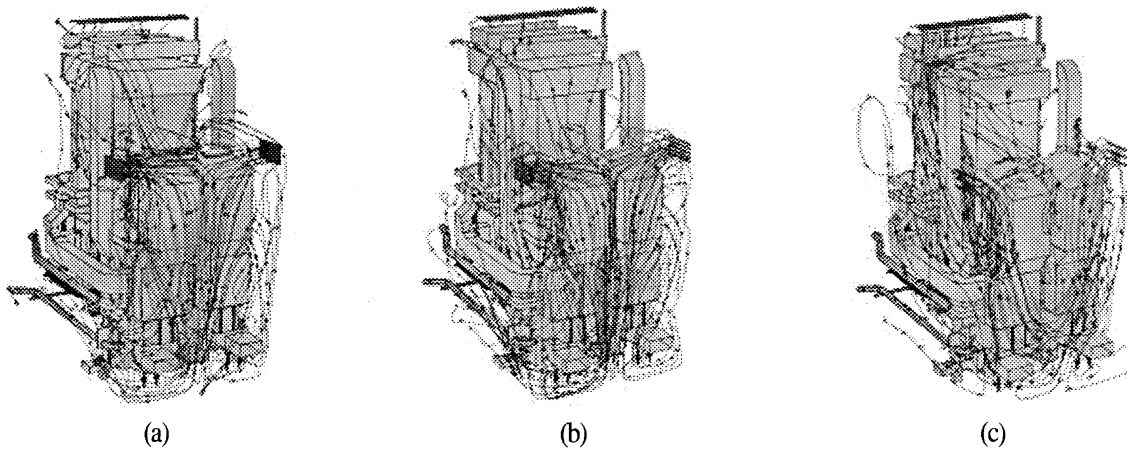


Fig. 8. Comparison of path lines by opening rate in the case of low outside air temperature :
(a) 100% open, (b) 56% open and (c) 20% open

산출된 환기량의 크기는 강제환기시 필요한 적절한 환기량의 크기로 제시할 수 있다. 다만 유입되는 공기는 하부루바를 통하는 것이 열전달 측면에서 보다 효과적이다.

따라서 외기의 온도가 32.4°C 임에도 내부공기의 온도가 열원의 벽면부근을 제외한 대부분의 영역에서 40°C 미만을 유지하며 평균 35°C 의 온도를 나타내는 점과 내부의 유동장에서 나타난 내부기기들에 의한 유동저항이 크게 발생하지 않는 점을 감안할 때, 고온조건에서 보일러빌딩은 원활한 공기소통과 함께 적절한 작업환경을

2. 외기의 온도가 저온일 때

유지할 수 있을 것으로 판단된다.

겨울철과 같이 공기의 온도가 영향을 나타낼 때, 보일러빌딩 내부의 온도 역시 영향을 유지하게 되면 내부에 위치한 기기들의 오작동 혹은 파손이 일어날 수 있으며 열악한 작업여건을 만들 우려가 있다. 따라서 작업장 내의 환경을 적절히 유지하기 위해서는 임의의 기준이상의 온도가 유지되어야 하며, 본 연구에서는 그 기준을 4°C 로 하였다.

외기의 온도가 고온일 때의 해석결과를 바탕으로 외기의 유입이 가장 많은 하부루바를 전부 폐쇄하고 상부루바와 모니터루프만을 개방하였으며, 또한 상부루바는 개폐도를 조절하여 조건을 만족하는지에 대한 평가를 수행하였다.

전체적인 유동장은 상부루바에서 유입되어 보일러빌딩 하부로 하강한 다음 내부의 기기들을 거치면서 상승하여 팬덕트와 모니터루프를 통해 배출되는 모습이다.

Fig. 8의 유선분포에서는 100%, 56%의 개폐도에서는 전체적으로 유사하

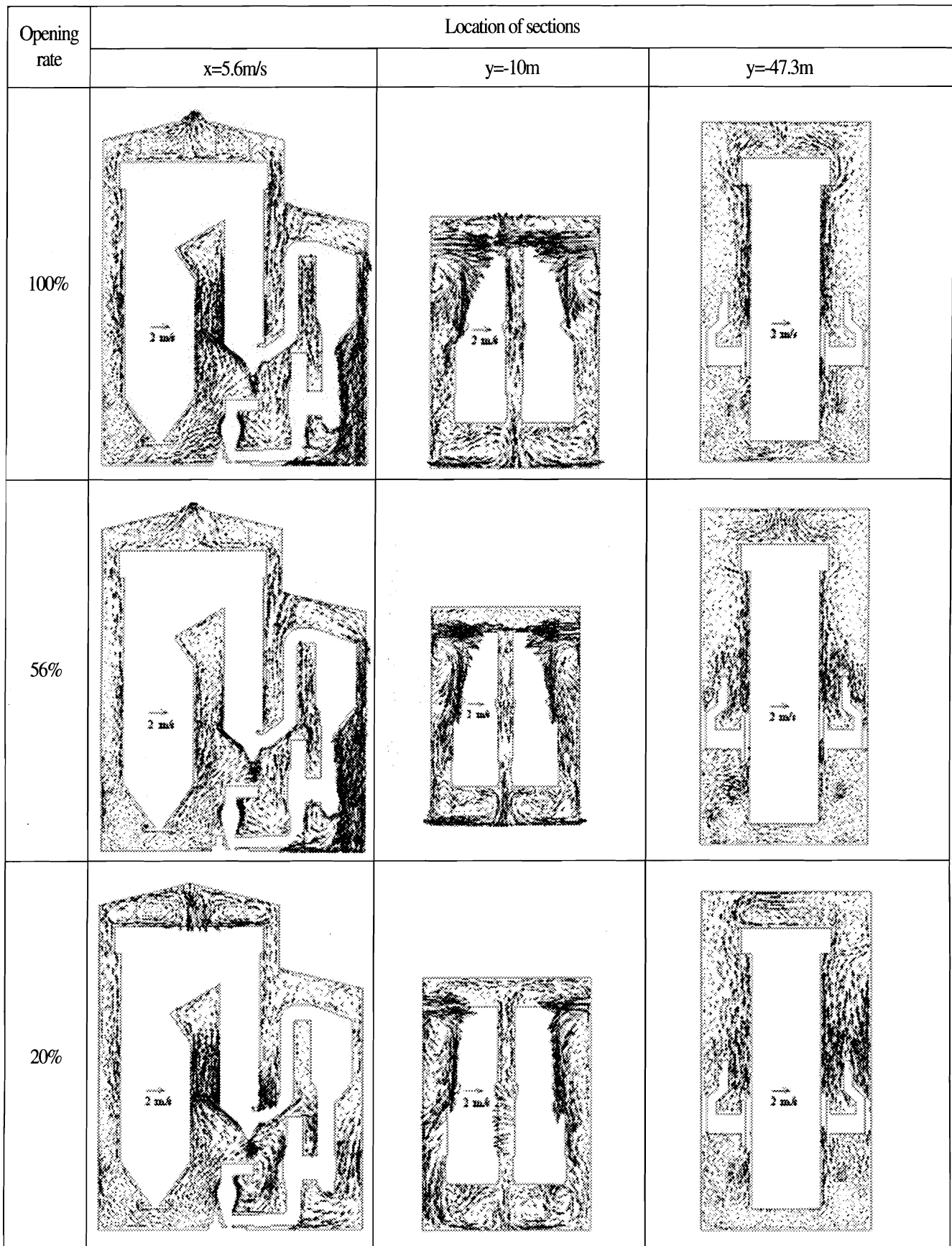


Fig. 9. Comparison of velocity distributions with opening rate in the case of low outside air temperature.

Table 3. Flow rate, average velocity and opening rate in the case of low outside air temperature

Sort		Mass flow rate (ton/hr)			Velocity (m/s)		
Upper louver opening rate		100%	56%	20%	100%	56%	20%
Fan duct		-924.48	-924.48	-924.48	-6.18	-6.18	-6.18
Monitor roof		-1,685.73	-945.72	151.76	-1.86	-1.05	0.17
Upper	1	1,292.64	937.32	397.05	6.33	8.26	9.72
louver	2	1,319.27	934.13	389.60	6.46	8.23	9.54

※ Negative velocity indicates discharge flow rates

지만, 20% 개폐도에서는 모니터루프의 한쪽부분에서도 유입이 이루어지므로 더욱 복잡한 모습을 보이고 있다. Fig. 9에서는 전체적으로 상부루바에서 유입된 공기가 하부를 돌아 표면적이 넓고 유동저항 요소가 적은 화로부근에서 상승하는 유동장을 나타내고 있다. 개폐도의 감소에 따라 하부로 하강하는 유동장의 세기는 상부루바를 통해 유입되는 유량의 감소로 인해 약화되고 있다. 그러나 개폐도 20%에서는 모니터루프의 한쪽 부분에서 외기가 유입되고 있으며, 화로의 한쪽 벽면을 타고 하강한 다음 반대편 쪽으로 우회하여 상승하고 있다. 외기가 하강하는 방향에는 보일러빌딩 하부에 가로로 놓인 대형 판이 위치하고 있어 하부를 지나 상승하는 유동을 방해하고 있다.

Table 3에서는 상부루바의 개폐도 변화에 따라 각각의 환기구에서의 유량을 나타내고 있다. 개폐도가 100%의 경우, 전체 유량은 Table 2의 유량과 비슷하다. 또한 팬덕트를 통해 배출되는 유량을 제외한 유량의 크기에서도 서로 비슷하게 나타나고 있다. 개폐도가 56% 및 20%로 감소함에 따라 전체 환기량의 크기는 71.65%와 35.39%로 각각 감소하였다. 환기구의 높이차와 부력의 영향으로 두개의 상부루바가 주된 외기의 유입구 역할을 하고 있으며, 면적의 감소에 따라 유입유량의 크기도 감소하고 있다.

모니터루프에서는 전체적으로 내부

를 순환한 공기가 외부로 배출되는 통로 역할을 하고 있지만, 상부루바의 유입구 면적이 20%인 경우에는 모니터루프를 통해서도 유입이 이루어지고 있다.

Fig. 10의 온도분포에서는 개폐도 감소에 따라서 내부 유동장의 평균온도가 상승하고 있음을 볼 수 있다. 상부에서부터 점차 고온을 형성하고 있으나, 개폐도 100%와 56%에서는 4℃ 미만을 형성하는 부분이 두드러지게 나타나고 있다.

개폐도 20%에서는 외기가 유입되는 모니터루프 및 상부루바 부근을 제외하고 보일러빌딩 하부에서도 실내공기의 온도가 4℃ 이상을 보이며 대부분의 영역이 기준온도 이상으로 나타났다.

외기가 저온일 때의 결과를 요약하면, 외기온도의 영향으로 보일러빌딩 내부의 온도가 저온을 형성하여 작업환경 및 내부 기기들의 운전조건을 악화시킬 우려가 있으나 상부루바의 개폐도를 조절함으로써 실내온도를 일정기준 이상 유지하여 이를 극복하였다.

전체적으로 상부루바의 개폐도 감소에도 불구하고 내부 유동장은 원활하게 형성되고 있으며, 이를 통해 작업환경은 적절히 유지되는 것으로 판단할 수 있다.

3. 난류모델 별 고찰

본 논문에서 적용한 표준형 k-ε 모

델의 적합성과 해석결과에 대한 신뢰성을 평가하기 위해서 다른 난류모델의 해석결과와 비교하였다. 비교를 위해 사용된 난류모델은 급격하게 변화하는 유동에 대한 정확성이 개선되고, 유동의 비등방성 효과가 반영된 RNG k-ε 모델(V. Yakhot and S. A. Orszag, 1986)이다. 모델별 해석결과를 Fig. 11의 속도분포에서 RNG 모델이 표준형에 비해 작게 나타나고 있으나, 전체적인 유동장의 형태는 모두 유사하게 나타나고 있다.

그리고 Fig. 12에서의 온도분포는 RNG 모델이 전 영역에서 표준형에 비해 약 1.5℃ 낮게 예측하고 있으나, 이것 역시 전체적인 최대온도의 분포가 유사하게 나타나고 있으며 40℃ 미만의 온도분포를 보이고 있다. 이러한 차이는 혼합효과의 차에 의한 열전달량의 차이로 인하여 나타나는 것으로 보이며 이에 따라 Table 4에 나타난 각 환기구에서의 유출·입량은 RNG 모델이 10~30% 정도 작게 예측하고 있다. 두 모델간의 예측결과는 국소적인 차이가 있으나 전체적으로는 유동특성을 뚜렷히 다르게 규정하기 어려울 정도로 유사하게 나타나고 있다. 따라서 보일러빌딩 내부의 환기해석 있어서 난류모델에 따른 예측성능의 차이는 거의 없는 것으로 판단된다.

IV. 결론

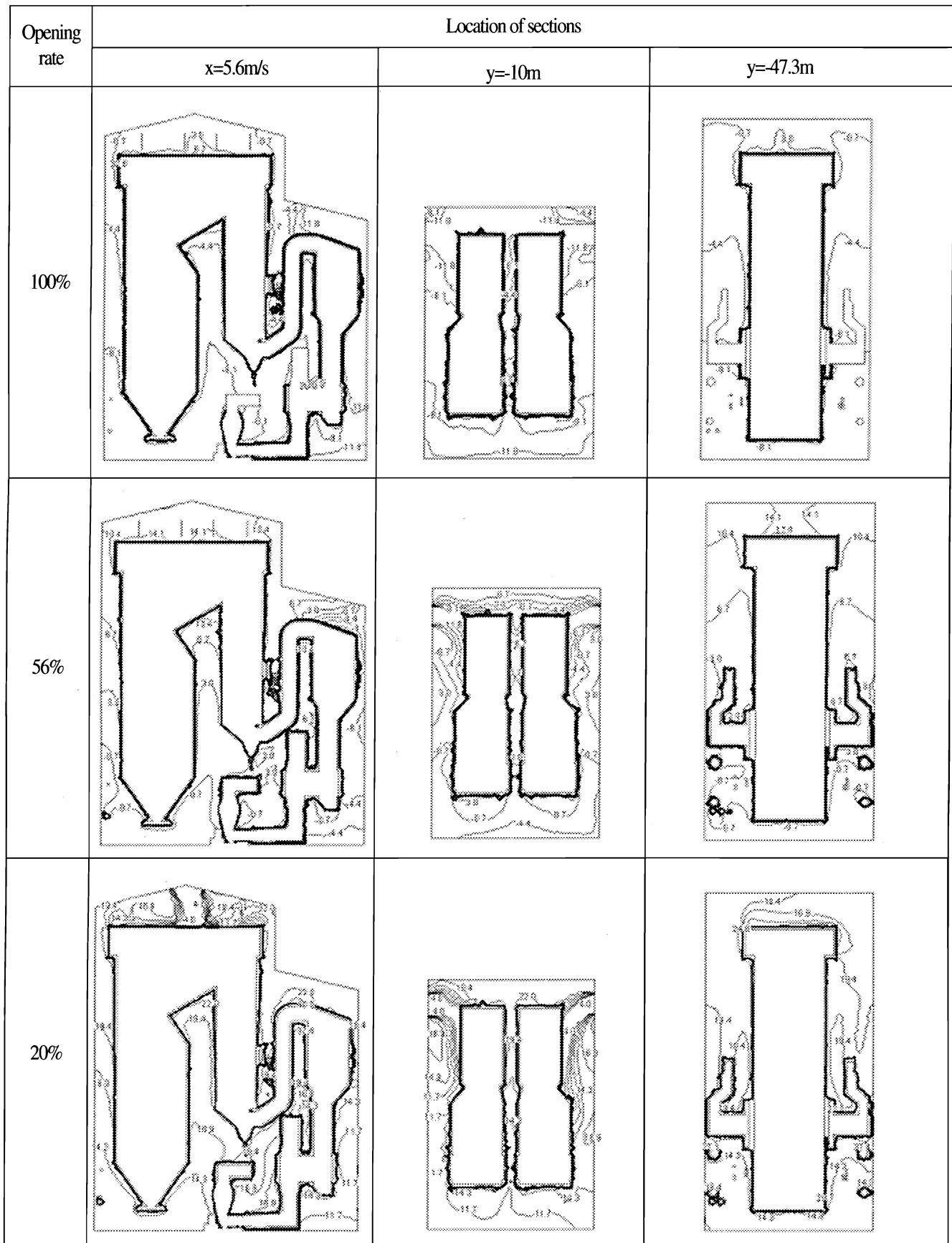
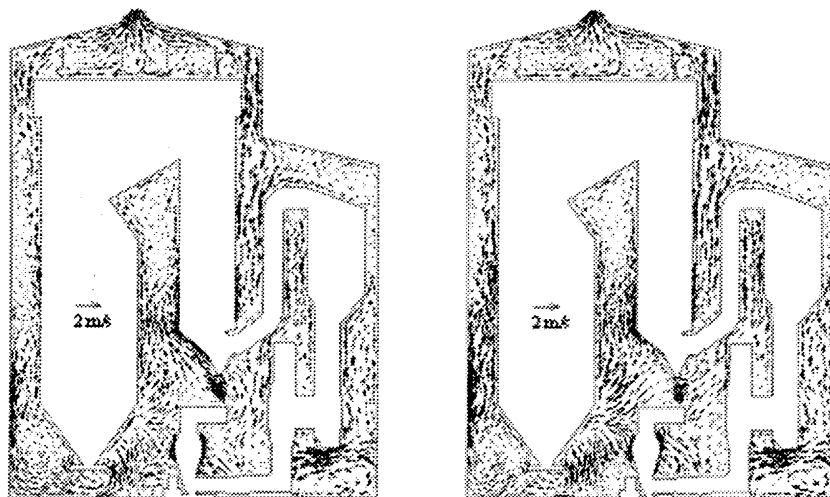
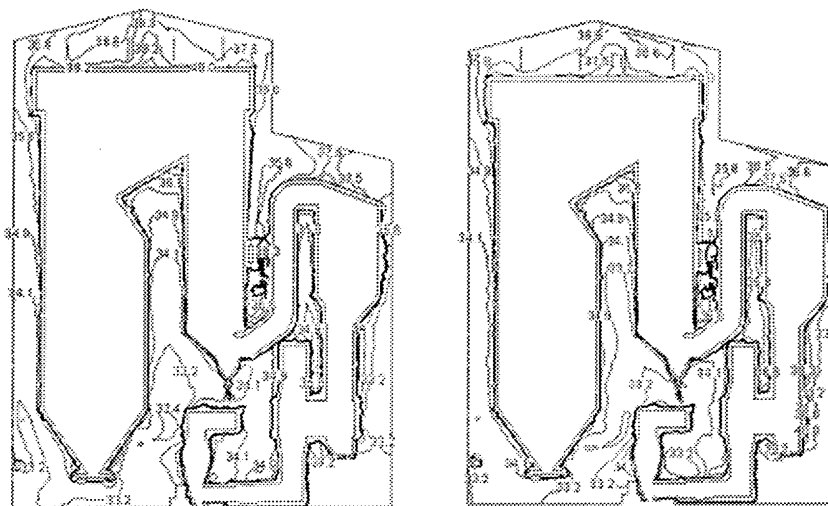


Fig. 10. Comparison of temperature distribution with opening rate in the case of low outside air temperature.

Table 3. Flow rate, average velocity and opening rate in the case of low outside air temperature

Sort		Mass flow rate (ton/hr)		Velocity (m/s)	
Turbulence model		Standard	RNG	Standard	RNG
Fan duct		-924.48		-7.5	
Monitor roof		-1,451.15	-1,220.60	-1.95	-1.64
Upper	1	-153.74	-107.88	-0.91	-0.64
louver	2	-155.78	-109.73	-0.93	-0.65
	1	482.61	427.38	1.79	1.59
Lower	2	476.90	418.77	1.96	1.72
	3	476.45	422.40	1.96	1.73
louver	4	630.06	544.77	2.02	1.75
	5	619.12	549.71	1.99	1.76

Fig. 11. Comparison of velocity distribution with turbulence model : (a) standard $k-\epsilon$, (b) RNG $k-\epsilon$ Fig. 12. Comparison of temperature distribution with turbulence model : (a) standard $k-\epsilon$, (b) RNG $k-\epsilon$

보일러빌딩 내부의 환기현상에 대한 해석결과를 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 외기의 온도가 고온일 경우, 자연환기에 의해 내부의 유동장이 원활하게 형성됨을 확인하였다.

2. 외기의 온도가 저온의 경우에는 외기의 영향으로 내부의 온도가 떨어짐으로 인해 작업여건이 악화될 우려가 있음을 확인하였다. 그러나 상부 루바의 개방면적을 변경함으로써 이를 극복하였으며, 내부의 유동장도 원활하게 형성됨을 보았다.

3. 난류모델에 따른 열전달 및 유동 특성은 유사하게 나타났으며, 해석이 용이한 표준형 $k-\epsilon$ 모델의 적용에 문제가 없는 것으로 판단된다.

4. 최종적으로, 보일러빌딩 내부의 작업환경은 내부에서 형성되는 자연환기에 의해 적절하게 유지될 수 있는 것으로 판단된다.

5. 제시된 분석방법론은 환기해석의 결과를 유사한 유동 환경에 대한 설계단계에서 활용할 수 있으며 설계요소의 만족 여부를 판단하기 위한

유용한 도구로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 말씀

본 연구는 교육인적자원부·산업자원부·노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업 기술개발과제의 지원과 2004년도 창원대학교 연구비에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- 김철환, 유근중, 최훈기, 공영경, 최유송. 환기현상의 수치적 해석을 위한 난류모델의 영향에 관한 연구. 대한기계학회 2005 춘계학술대회;2965-2970
- Blay D, Mergui S, Niculae C. Confined turbulent mixed convection in the presence of a horizontal buoyant wall jet. ASME Fundamentals of Mixed Convection 1992;213:65-72
- Chen Q. Comparison of Different $k-\epsilon$ Models for Indoor Air Flow Computation. Numerical Heat Transfer 1995;28:353-369
- Chen Q. Prediction of Room Air Motion by Reynolds-Stress Models. Building and Environment 1996;31:233-244
- Costa JJ, Oliveira LA, Blay D. Test of several versions for $k-\epsilon$ type turbulence modeling of internal mixed convection flows. Int. J. Heat and Mass Transfer 1999;42: 4391-4409
- Launder BE, Spalding DB. The Numerical Computation of Turbulent Flows. Computer methods in Applied Mechanics and Engineering 1974;3:269-289
- Yakhot V, Orszag SA. Renormalization Group Analysis of Turbulence: I. Basic Theory. J. Scientific Computing 1986;1(1):1-51
- Zhang W. Large eddy simulation of airflow with a filtered dynamic subgrid scale model. Int. Heat Mass Transfer 2000;43:3219-3231