

전통온돌(구들)의 열전달 효과에 관한 연구

Analysis for Thermal Transfer in Traditional Ondol(Gudle)

리신희* 리광훈**
Rhee, Shin Ho* Rhee, Gwang Hoon**

1. 서론

전통온돌인 구들은 우리 민족이 고구려 이전부터 사용하여온 난방방식이다. 일제 강점기와 독재 시대를 거치면서 구들은 연료, 관리, 효율성 등의 이유로 온수난방 방식이 그 자리를 대신하게 되었다. 구들은 좌식 생활에 적합하고, 바닥에 축열된 에너지를 온종일 방열하므로 바닥은 따뜻하고 위는 상대적으로 시원하여 쾌적한 실내를 유지되는 여러 장점에 관심이 높아지고 있다. 농촌에서는 농업부산물과 간벌 목재 등의 연료 조달이 쉬워 구들의 활용성이 좋고 관심이 커지고 있으므로 이에 대한 다양한 연구가 필요하다.

일반적인 고래의 열 유동은 아궁이, 고래, 굴뚝의 구조에 따라 영향을 받는다. 구들을 고래 구조에 따라 허튼고래구들, 곧은고래구들, 부채고래구들, 대각선고래구들, 굽은고래구들, 되돈고래구들, 복합고래구들 등이 있다. 되돈고래구들은 아궁이와 구새가 같은 방향에 있는 경우로서 열 보존이 잘 되는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구는 되돈고래구들을 대상으로 실험하고 전산해석을 하였다. 윗목과 아랫목간의 온도차를 해소하고, 열효율을 높이기 위한 방편으로 아궁이와 고래를 이어주는 부넝기의 개수에 변화를 주었고, 그에 따른 유동의 특성을 알아보았다.

2. 해석 방법

구들 고래를 통과하는 비압축성 3차원 정상상태 유동에 대한 연속방정식, 운동량방정식과 에너지방정식은 다음과 같다.

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

$$\rho V \cdot \nabla u_i = \rho g_i - \nabla P + \mu \nabla^2 u_i \dots\dots\dots (2)$$

$$\rho c_p (V \cdot \nabla) T = k \nabla^2 T \dots\dots\dots (3)$$

전산해석한 되돈고래구들의 형상은 Fig. 1과 같고 농촌주택에 설치하였다. 방의 크기는 3600mm X 2500mm이고, 구들장은 화강암이며 크기는 일정하지 않고 두께는 120mm에서 180mm 범위인데 윗목은 얇은 것을 쓰고 아랫목은 두꺼운 것을 사용하였다. 아궁이의 크기

* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

** 서울시립대학교 기계정보공학과

는 180mm X 770mm, 부넝기는 기본형상이 400mm X 200mm이고 3개인 경우 가운데 것은 기본형상과 같고, 양옆은 200 X 200mm 크기의 부넝기를 40° 각도로 더하였다(Fig. 3-(a) 참조). 그리고 고래기울기는 2°로 하였다.

전산해석에서 지배방정식의 차별화는 유한체적법을 적용하였으며 대류항 처리는 상류차분 도식을 사용하였다. 압력 보간은 SIMPLE 알고리즘을 사용하였으며 수렴 판정은 잔류량이 10^{-3} 미만이 될 경우를 선택하였다. 아궁이 입구에서는 압력 경계조건을 적용하여 공기가 유입되도록 하였고, 아궁이에서 나무가 연소하여 발생하는 열량은 기존의 실험적 논문에서 사용한 값에서 길이를 상사하여 얻어진 일정 열유속 19000W/m^2 을 적용하였다. 또한 방안에서도 유동이 존재하므로 실내온도를 20°C로 가정하고 방바닥에 Convection Boundary를 적용하였다. 현장 실험은 3개 지점(구들개자리 상부, 고래개자리 좌측 끝 상부, 굴뚝 시점에서 300mm 안쪽 상부)에서 방바닥 온도를 측정하여 전산해석 결과를 검증하여 보았다.

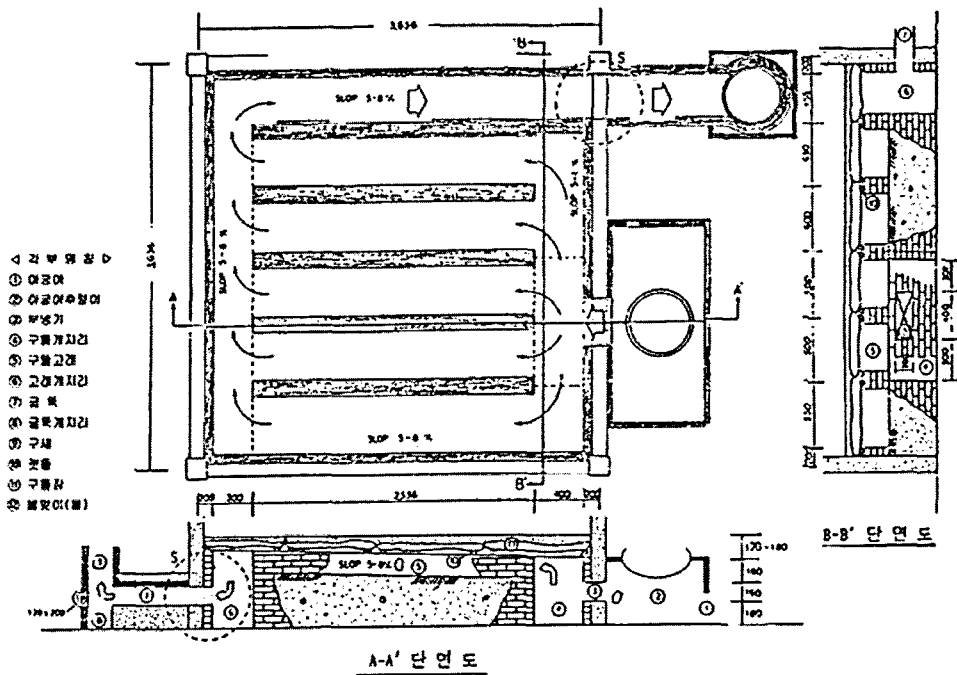


Fig. 1 A schematic diagram of DOIDON-GORAE-Gudle.

3. 결과 및 고찰

가. 기본형상에 대한 해석

전산 해석한 기본형상의 속도 분포와 온도 분포는 Fig. 2와 같다. Fig. 2-(a)로부터 기본적인 되돈고래구들의 유동현상을 알 수 있는데, 부넝기로 들어온 더운 공기는 고래에 퍼지면서 방바닥을 데우고 굴뚝으로 빠져나간다. 그러나 이때 대부분의 더운 공기는 가운데로 흐르게 되기 때문에, 상대적으로 구석(2-1, 2-2)에서는 더운 공기가 적을 수밖에 없다. 따라

서 Fig. 2-(b)와 같이 방바닥 위치에 따라 온도차(28℃에서 39℃)를 보이게 된다.

구들방에서 측정한 방바닥 온도는 구들개자리 상부는 36℃에서 40℃, 고래개자리 좌측 끝 상부는 29℃에서 31℃, 굴뚝 시점에서 300mm 안쪽 상부는 30℃에서 31℃의 범위로서 모형의 전산해석은 신뢰할 수 있었다.

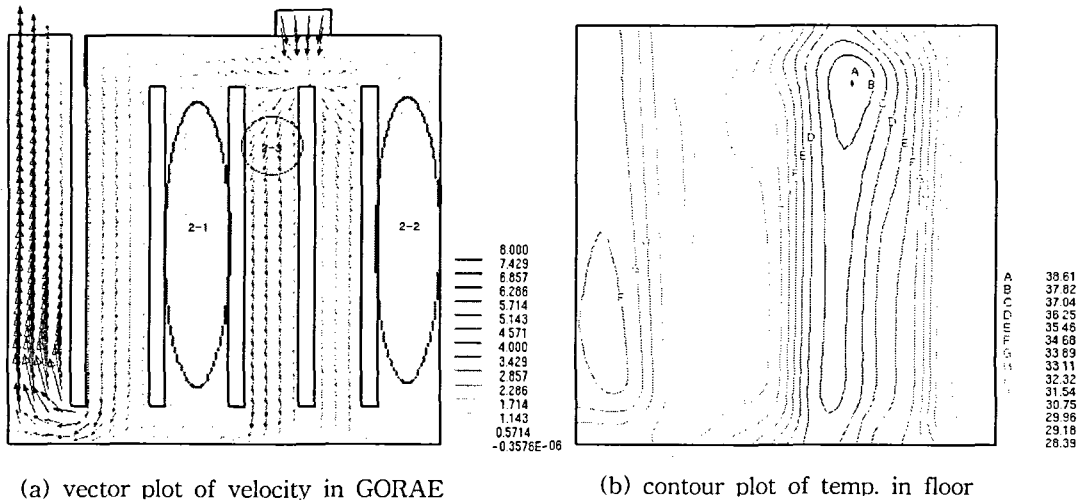


Fig. 2 Vector and contour plots of basic velocity and temperature.

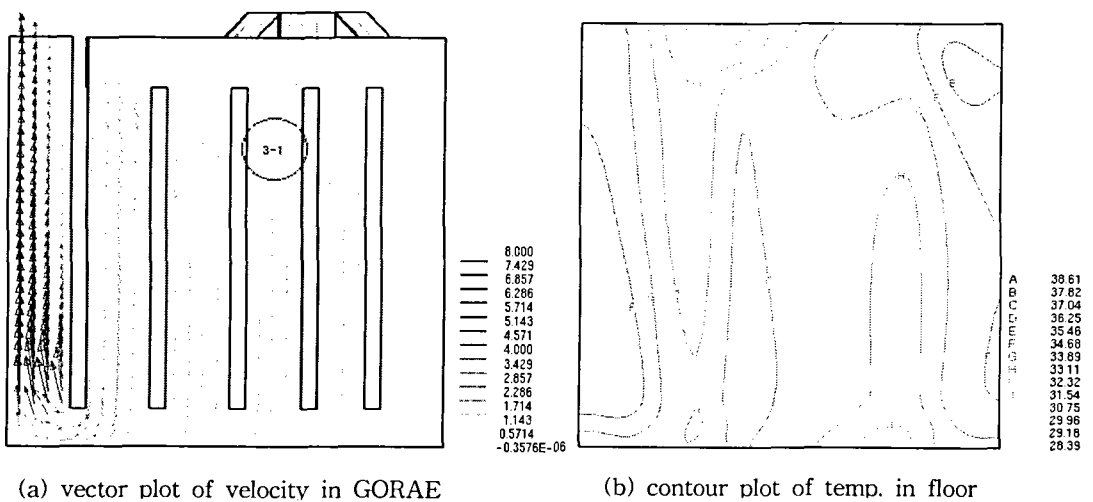


Fig. 3 Vector and contour plots of 3-BUNENGKI velocity and temperature.

나. 부넝기의 개수에 따른 해석

Fig. 3-(a)에서 보면 기본형상과 비교해서 부넝기가 3개인 경우 유동이 고르게 분포되는데 한 곳으로 집중되던 유동이 3곳으로 분산되는 것으로 판단된다. Fig. 3-(b)에서는 이렇게 분산된 더운 공기가 방바닥을 고르게 데우는 것을 볼 수 있다.

Table 1에서 보면 방바닥에서 평균온도는 비슷하나 표준편차는 부넝기가 1개인 경우가 3개인 경우보다 3배정도 크다. 이것은 윗목과 아랫목 사이의 온도차가 크다는 것을 의미한다. 부넝기가 1개인 경우는 가운데 고래(2-3)에 전체 유량의 약 40%가 지나가는 것을 볼 수 있었는데 많은 유량이 한곳을 지나가므로 온도가 불균일하게 되는 것으로 판단된다. 반면에 부넝기가 3개인 경우는 온도가 균일하게 분포되는데 이러한 이유는 가운데 고래(3-1)를 통과하는 유량이 부넝기가 1개인 경우보다 상당히 적은 양인 약 25%가 지나가기 때문이다. 고래가 전부 5개이라는 것을 감안하면 25%라는 수치는 이상적이다. 이러한 균일한 유량 분포 때문에 부넝기가 3개인 경우가 방바닥에서 더 균일한 온도분포를 보이는 것이다. 전체유량을 살펴보면 부넝기가 1개인 경우가 3개인 경우보다 유량이 많다. 유량이 많다는 것은 유동이 원활이 이루어지는 것을 의미한다. 고래에서는 더운 공기를 오랫동안 가두어야 축열이 많이 되므로, 유동이 더 원활한 것은 열손실이 많음을 의미한다.

Table 1. Comparison 1-BUNENGGKI with 3-BUNENGGKI

items	1-BUNENGGKI	3-BUNENGGKI
average of temperature in floor, T, °C	33.42	33.76
standard deviation of temperature in floor	2.28	0.80
flow rate of center GORAE, Q*(Q/Q ₀)	0.39	0.25
total flow rate, Q, m ³ /s	1.38	0.77

4. 결론

전통온돌인 구들을 농촌주택에 이용할 수 있는 기반을 구축하고자 실제크기의 되돈고래 구들을 설치하여 실험하고 전산 해석하여 유동과 열전달적인 특징을 살펴보았다.

1. 부넝기 1개인 기본형상보다 3개인 경우가 방바닥 온도분포가 더 균일하였다. 이는 기본형상 보다 부넝기가 3개인 형상에서 유량이 더 균일하게 분포되었기 때문으로 판단된다.
2. 전체적인 유량은 기본형상이 부넝기가 3개인 경우보다 더 많았다. 이에 따라 기본형상이 더 유동이 잘 일어나게 되고, 열효율은 더욱 떨어지게 되는 것으로 판단된다.
3. 되돈고래구들은 부넝기를 3개 설치함으로써 구들의 단점인 윗목과 아랫목간의 온도차를 크게 개선시키는 효과를 볼 수 있었고, 또한 열효율적인 관점에서도 뛰어났다.

5. 참고문헌

1. 김준봉, 리신호, 2006, 온돌 그 찬란한 구들문화, 청흥, 345p
2. 이태식, 조경국, 권순석, 1972, 온돌의 열 특성에 관한 실험적 연구, 대한기계학회논문집, 12(3), pp209-222.
3. 정기범, 1993, 전통온돌 고래 내부의 유체흐름, 대한건축학회논문집, 9(4), pp81-87
4. 차중희, 1970, 온돌의 구조에 따른 열 특성, 대한기계학회지, 10(4), pp213-226.