

# 해인사 장경판전 환기창 형태에 따른 환기 성능에 대한 수치해석 연구

허 남 건<sup>†</sup>, 이 명 성<sup>\*</sup>, 양 성 진<sup>\*</sup>  
서강대학교 기계공학과, <sup>\*</sup>서강대학교 대학원

## A Numerical Study on the Effect of the Shape of Windows on the Ventilation Performance in the Storage Hall of Tripitaka Koreana at Haein Temple

Nahmkeon Hur<sup>†</sup>, Myungsung Lee<sup>\*</sup>, Sungjin Yang<sup>\*</sup>

Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

<sup>\*</sup>Graduate school, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

**ABSTRACT:** Ventilation performance in the storage hall of Janggyeongpan Jeon has maintained for more than 600 years. Janggyeongpan Jeon in Haein temple has window structure of bi-level ventilating opening which consists of upper and lower window. Also, different size and shape of windows are adopted for various locations of the hall. In the present study, to analyze effect of shape of windows on ventilation performance in the storage hall, various design alternatives were considered. Numerical analysis of ventilation in the storage hall was investigated under the same simulation condition except for the shape of windows. Through the comparison of numerical results for various window designs, it was evaluated that the current windows shape gives best ventilation performance.

**Key words:** Ventilation(환기), Flow analysis(유동해석), Haein temple(해인사), Tripitaka Koreana(팔만대장경), Storage hall(관고), CFD(전산유체역학)

### 1. 서 론

경남 함천에 위치한 해인사는 유네스코에 지정된 세계 유일의 목조경관 보관용 건물로서 내부에는 팔만대장경이 보존되어 있다. 팔만대장경(국보 32호)을 보존하기 위한 장경판전은 국보 52호이며, 1398년인 태조 7년에 건립되어 지금까지 그 원형을 유지하고 있다. 이러한 장경판전은 전면

의 수다라 장과 후면의 법보전 한 쌍의 건물로 이루어져 있으며, 건물의 네 입면에 상하 2층으로 구성된 환기 통풍구는 각기 다른 크기와 형태로 이루어진 독특한 환기 구조를 지닌다. 이러한 통풍구를 소통하는 기류의 적절한 환기 효과로 인해 경관은 약 600년간 부식 없이 원형의 상태를 보존할 수 있었다.

최근 전산유체역학의 발달로 인하여 장경판전 주변의 환기 기류 예측에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있는 추세이다. 이미 Hur et al.<sup>(2,3)</sup>의 연구에서 수치해석을 통한 장경판전 앞의 담장 높이가 관고 환기에 미치는 영향을 규명한 바 있으

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-2-705-8637; fax: +82-2-712-0799  
E-mail address: nhur@sogang.ac.kr

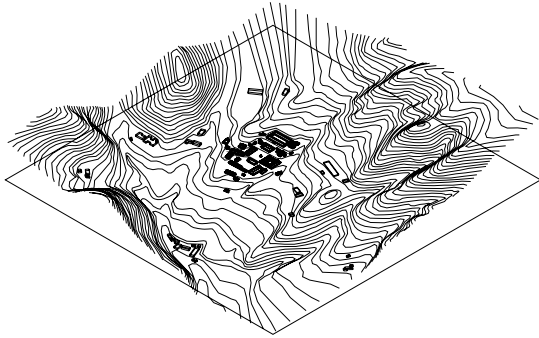


Fig. 1 Iso-level contour line of the geometry (CAD data)

며, 해인사 주변 건물의 재배치에 따른 장경관전 주변 기류와 환기량 변화에 대하여 연구가 진행된 바 있다.

본 연구에서는 현존하는 장경관전의 통풍구 형태가 판고에 유·출입하는 기류의 흐름에 유리한 형태인지 고찰해 보고자 하였다. 따라서 수다라장과 법보전의 상하 통풍구의 위치를 변경한 가상의 해인사를 모델링 하였고, 현존하는 해인사 모델과 동일한 해석 조건하에서 환기량을 예측하였다. 또한 장경관전의 각 남과 북면 통풍구의 위치를 서로 변경하여 동일한 수치해석을 수행하였다. 이로써 얻어진 결과는 기존의 통풍구 형태에서 나타나는 환기량과 비교되어 각 위치의 통풍구 형태가 장경관전을 소통하는 기류에 어떠한 영향을 미치는지 검토되었다. 또 모든 통풍구의 크기 및 형태를 균일하게 설정한 모델과의 환기량 비교를 통해서 통풍구의 각기 다른 형태와 크기가 적절한 환기를 위한 의도적인 구조인지를 파악하고자 하였다.

## 2. 장경관전의 환기구조 및 통풍구 형태

본 연구의 해석 대상이 되는 해인사와 인근의 가야산을 표현함에 있어서 Fig. 1과 같은 해인사



Fig. 3 Computational mesh of Janggyeongpan Jeon.

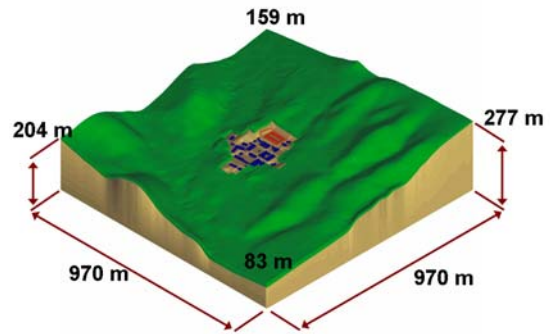


Fig. 2 Computational mesh around Haein temple.

주변의 충분히 넓은 지역에 대한 3D 등고선 데이터를 이용하였고, Fig. 2와 같이 산 지형과 해인사 격자를 구성하였다. 해인사 내 모든 건축물의 크기 및 위치는 해인사 건축도집<sup>(4)</sup>의 자료에 의거하였으며 경계조건을 포함한 모든 해석 기법은 선행연구<sup>(3)</sup>의 방식을 적용하였다.

Fig. 3은 환기량 해석의 주 대상이 되는 장경관전을 나타낸 것이다. 장경관전은 사방의 입면에 상하 2층의 통풍구가 위치하며 상하층은 그 종횡비와 단면적이 서로 다르다. 남북면의 통풍구 또한 종횡비와 면적이 서로 다르게 구성되어 있다. 이러한 독특한 환기 구조는 장경관전의 판고를 출입하는 기류 소통을 원활히 하기 위한 구조로서 경관은 600년이 넘게 보존될 수 있었다. 현존하는 장경관전의 입면별 상하 통풍구의 구조는 Fig. 4와 같다.

본 연구에서는 통풍구의 형태에 따른 환기성을 분석하기 위해 총 5가지로 해석 케이스를 분류하였는데, 현존하는 통풍구 모델(Case 1)과, 상하 통풍구의 위치를 변경한 모델(Case 2) 그리고 남북면의 통풍구 위치를 변경한 모델(Case 3)을 고려하였고, 각기 다른 면적과 종횡비를 갖는 통풍구가 적절한 환기량을 의도한 것인지 판단하기 위한 균일화된 통풍구 모델(Case 4)을 고려하였다. 통풍구 균일화 모델에서의 형태를 설정함에 있어서 기존 모델의 수다라장과 법보전 각 건물에서의 통풍구 면적을 평균하여 그 크기를 산출하였고, 수다라장은 평균  $1.485 \text{ m}^2$ 의 면적 그리고 법보전은  $1.723 \text{ m}^2$ 의 면적을 갖는 것으로 고려하였다. 창문의 종횡비 역시 평균적인 비율을 산출하여 가로 세로 2:1의 비율을 해석 모델에 반영하였다. Fig. 4는 기존 형태의 통풍구 격자를 나타내며, Fig. 5는 균일화된 통풍구 격자를 나타

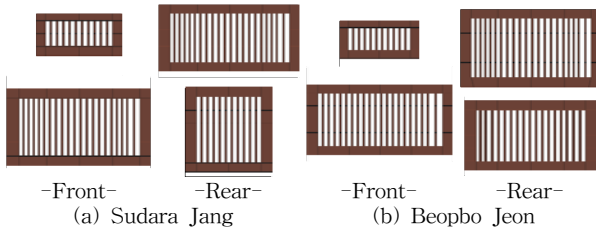


Fig. 4 Original window model (Case 1).

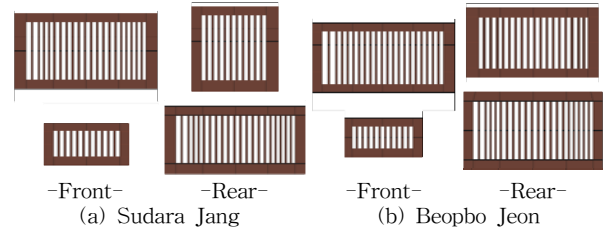


Fig. 6 Upside down window model (Case 3).

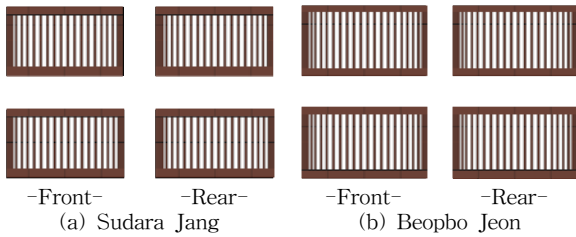


Fig. 5 Uniformized window model (Case 2).

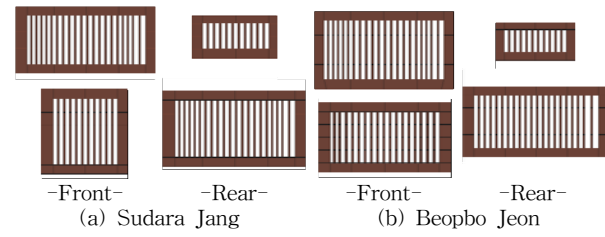


Fig. 7 Front side to rear window model (Case 4).

낸다. Fig. 6,7은 각각 상하 통풍구 위치 변경 모델과 남북면 통풍구 위치 변경 모델을 나타낸다. 여기에 더불어 한 가지 케이스가 추가 되었는데, 해석 결과 수다라장과 범보전에서의 가장 큰 환기량을 나타낸 통풍구 형태를 각각 반영하여 수다라장의 통풍구는 남북면의 위치를 변경하고 범보전의 통풍구는 기존의 형태를 유지하는 모델이 추가되었다. Table 1에는 각각의 통풍구 형태에 따른 케이스 분류를 간단히 표로 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

통풍구 형태를 제외한 모든 해석 조건을 동일하게 설정하여 수치해석을 수행하였다. 장경관전의 각 입면 통풍구를 유·출입하는 기류에 대한 벡터성분을 케이스 별로 분류하여 Fig. 9~13에 상세히 도시하였으며 입면별 유·출입 환기량을 화살표로써 표시하였다. 또한 Table 2에는 수다라

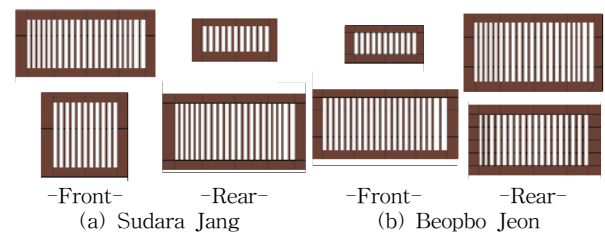


Fig. 8 Front side to rear(Sudara Jang) window model (Case 5).

장과 범보전을 유·출입하는 환기량을 케이스 별로 정리하였다. 해석결과 공통적으로 기존의 모델에 비해서 수다라장에서의 환기량은 소폭 상승하고, 범보전에서의 환기량은 소폭 감소하는 현상이 발생하였다. Fig. 9(b)~11(d)에서 나타난 수다라 장에서의 환기량 상승폭은 남북 통풍구를 변경한 모델(Case 4)에서 가장 큰 값( $0.771 \text{ m}^3/\text{s}$ )을 보였으며, 균일화된 통풍구 모델(Case 2)에서는  $0.141 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 그 차이가 상대적으로 미미했다. 또한 통풍구 형태 변경을 통해 얻어진 수다라장에서의 주목할 만한 환기 특징은 수다라장의 남면과 북면을 통과하는 주유동 방향으로의 환기량은 다소 증가되었으나, 좌우측의 옆면으로 소통하는 기류는 비슷하거나 오히려 줄어들었다는 점이다. 따라서 기류의 고른 소통을 바람직한 환기 특성으로 볼 때 통풍구 형태 변경을 통한 환기량 소폭 상승이 수다라장의 대장경관 보존에 긍정적인 역할을 할 것인지는 확신할 수 없다. 또한 통풍구 변경을 통해서 수다라장에서의 환기량은 소

Table 1 Cases for numerical analysis.

Case	Shape of windows	Wind velocity
1	Original window shape	1 m/s
2	Uniformized window shape	1 m/s
3	Upside down window shape	1 m/s
4	Front side to rear window shape	1 m/s
5	Front side to rear window shape in only Sudara Jang	1 m/s

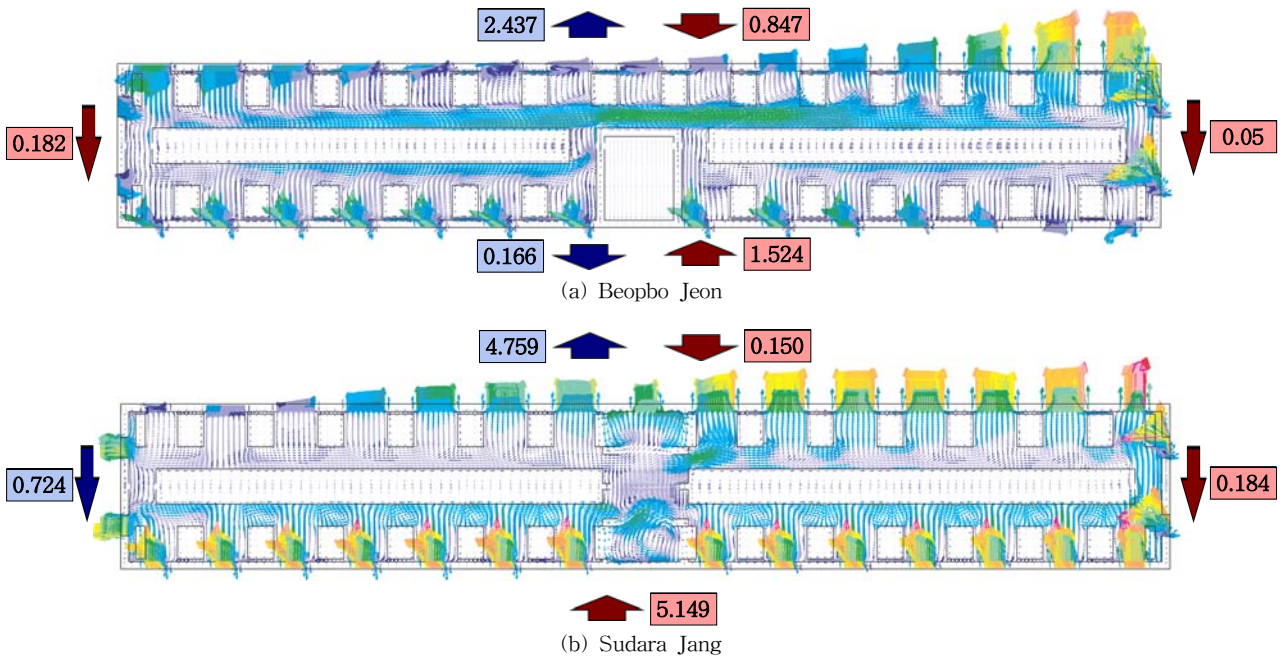


Fig. 9 Velocity vector plot in the Janggyeongpan Jeon (Case 1).

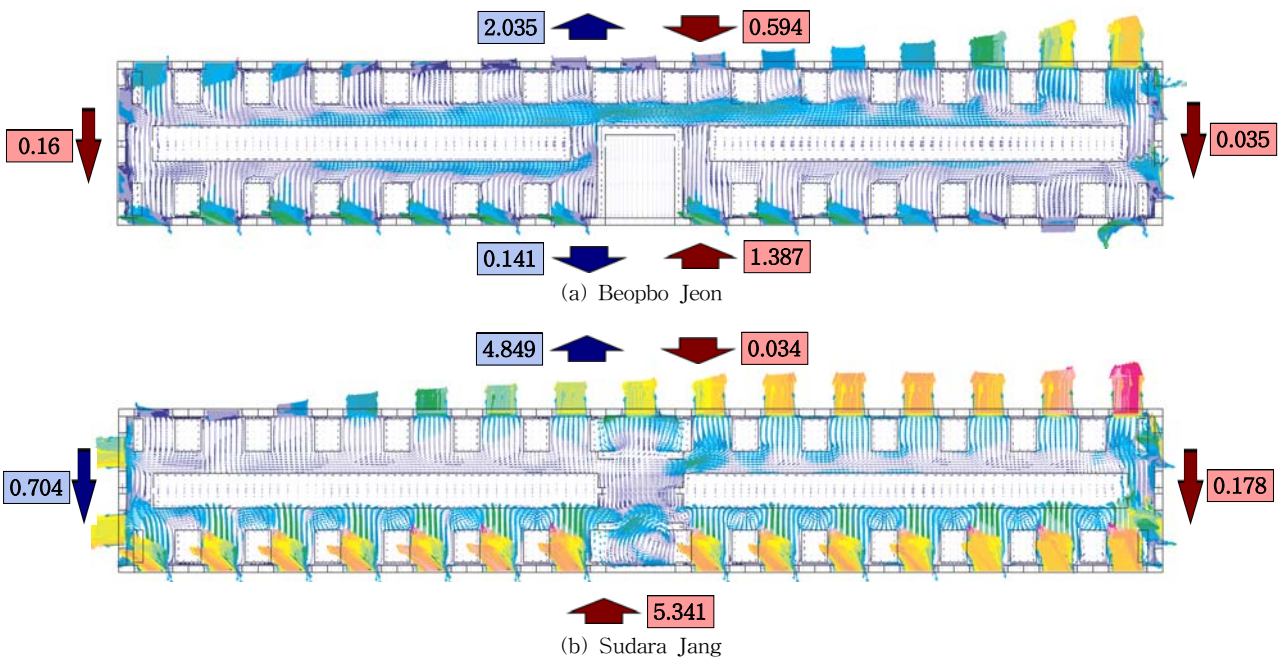


Fig. 10 Velocity vector plot in the Janggyeongpan Jeon (Case 2).

폭 상승하였지만, Fig. 9(a)~13(a)에 나타나듯이 오히려 법보전에서는 환기량이 감소하였다. 법보전에서의 환기량은 전후좌우 각 입면에 대해서 전체적으로 감소하였는데, 균일화된 통풍구 모델(Case 2)에서 기존 모델의 환기량에 비해 0.855  $m^3/s$ 로 가장 크게 감소하였고, 상하 통풍구 변경

모델(Case 3)에서 가장 적은 감소폭인 0.687  $m^3/s$ 을 나타내었다.

Table 2의 각 케이스 별 환기량 비교를 통해 알 수 있듯이, 수다라장에서 가장 큰 환기량을 보였던 것은 남북 통풍구 변경모델(Case 4)이다. 또한 법보전의 통풍구 변경은 오히려 환기량 감



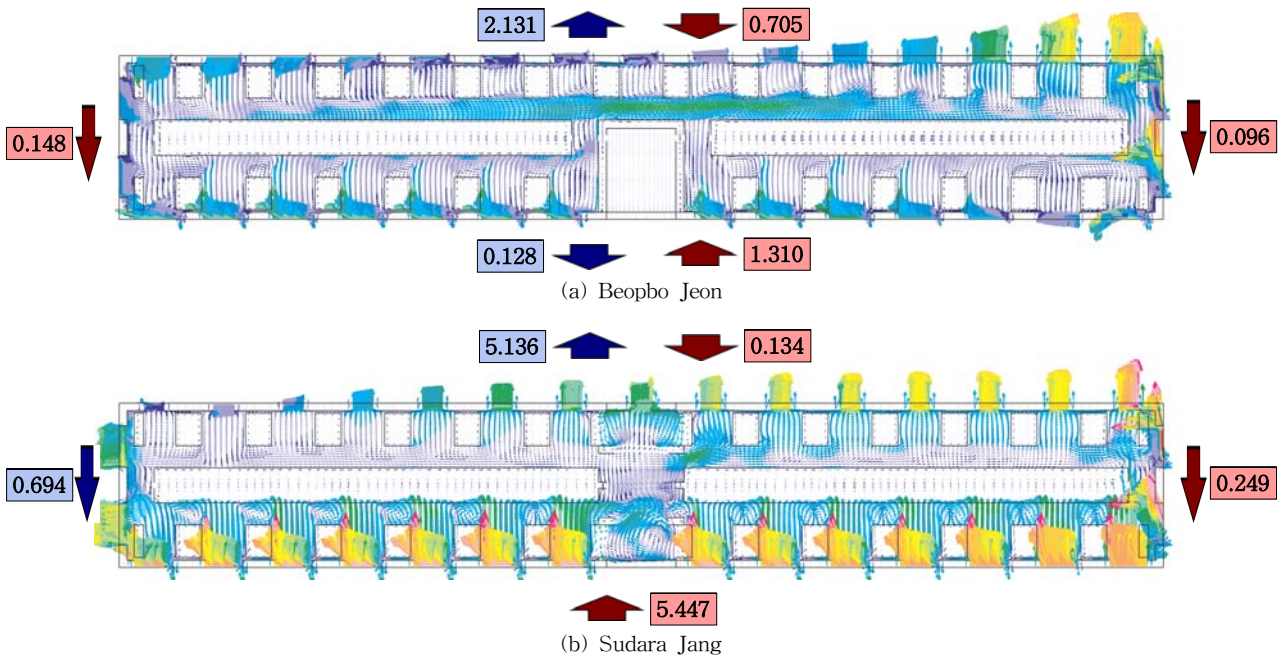


Fig. 11 Velocity vector plot in the Janggyeongpan Jeon (Case 3).

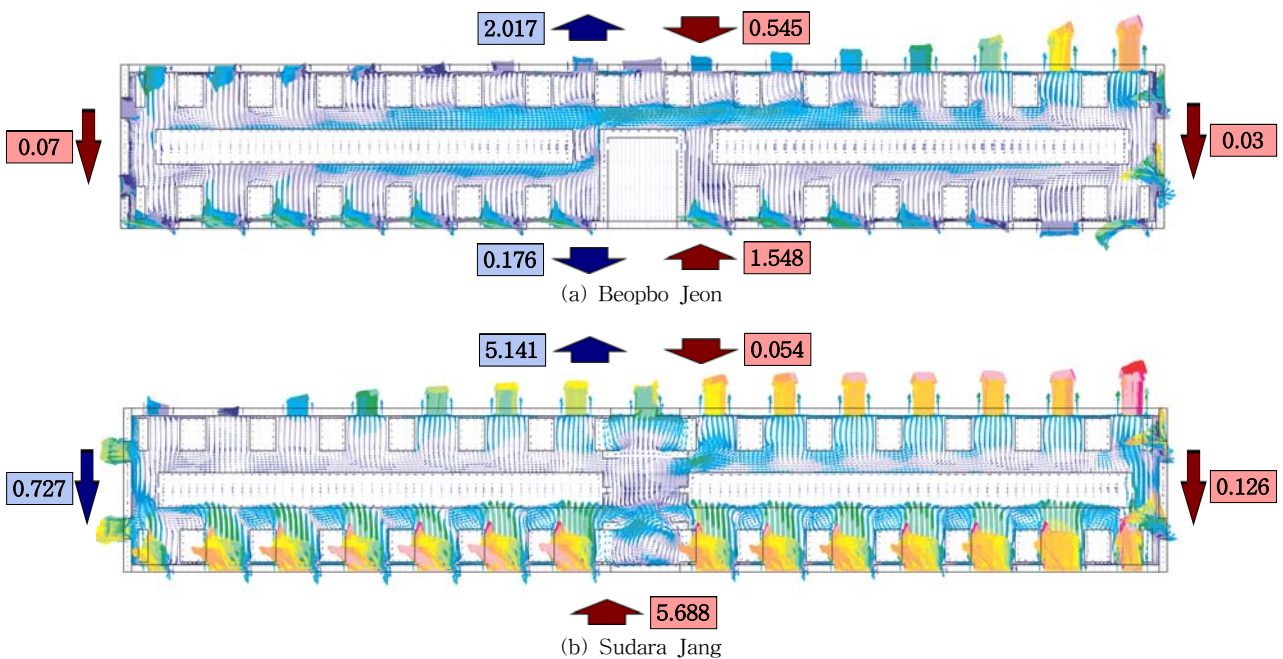


Fig. 12 Velocity vector plot in the Janggyeongpan Jeon (Case 4).

소를 유발하므로 기존 통풍구 모델(Case 1)의 형태는 환기에 가장 유리한 구조임을 판단할 수 있다. 따라서 가장 높은 환기 성능이 예상되는 환기 구조인 수다라장의 남북면 통풍구 위치만을 변경하고 법보전은 기존 형태를 취한 Case 5를 추가적으로 모델링 하였고 동일한 수치해석을 수

행하였다. 그 결과 역시 Case2~4의 다른 통풍구 변경 모델과 크게 다르지 않았다. Fig. 13(b)에서 알 수 있듯이 수다라장에서는 소폭의 환기량 상승이 있었고, Fig. 13(a)에 나타난 바와 같이 법보전에서는 환기량 감소가 관찰되었다.

해석에 사용된 해인사 인근 풍향은 남남서풍 1

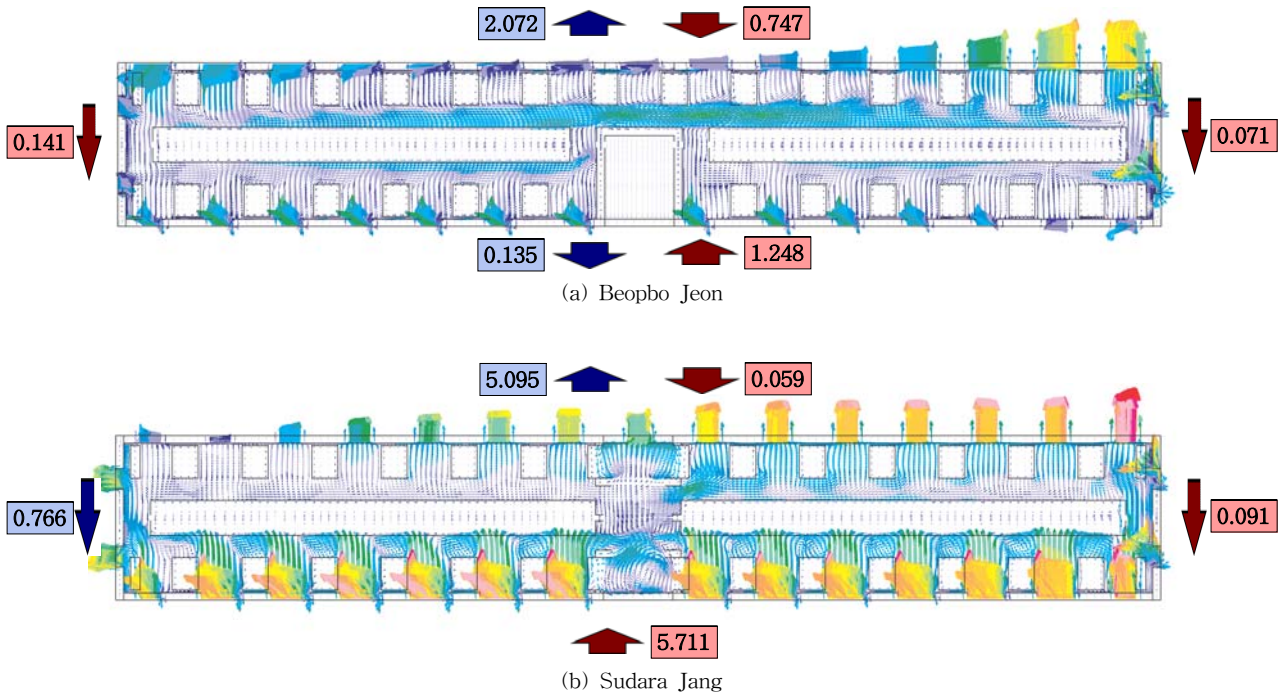


Fig. 13 Velocity vector plot in the Janggyeongpan Jeon (Case 5).

m/s이다. 이를 고려했을 때, 수다라장은 법보전보다 풍상측에 위치하게 되므로, 변경된 통풍구 구조는 우선적으로 수다라장에서의 환기량에 일차적 영향을 미치게 되며, 이차적으로 법보전의 환기 성능에 영향을 준다. 해인사의 환기량을 소폭 상승 시킨 모든 수다라장의 통풍구 변화에는 공통적으로 법보전의 환기량 감소가 관찰되었다. 그리고 Case 4, 5의 비교를 통해서 법보전의 통풍구 형태에 관계없이 수다라장의 환기량 상승은 법보전의 환기량 감소를 유발하는 것을 알 수 있다. 이러한 환기량 변화가 대장경관에 미치는 영향을 효과적으로 진단하기 위해 Fig. 14에는 각 건물별 통풍구 변화에 따른 환기량 차이를 케이스별로 비교하였고, Fig. 15에는 그 결과를 백분율로써 나타내었다. 수다라장의 환기량 변화는 Case 3~5에서 약 6.3~7%의 증가를 보였지만,

법보전에서는 13.2~16%의 환기량 감소를 나타냈다. 수다라장의 증가폭보다 상대적으로 큰 이러한 범위의 환기량 감소는 법보전 대장경관의 보존을 저해할 수 있는 가능성이 있다. 통풍구의 변화가 없었던 동서 사간전에는 환기량 변화가 거의 나타나지 않았으며, 전체적인 환기량은 기존 모델에 비해서 0.5% 미만의 감소를 나타내었다. 균일화된 통풍구 모델인 Case 2의 경우에는 가장 적은 수다라장의 상승폭(1.3%)과 가장 심한 법보전에서의 환기량 감소(16.4%)를 나타냈으며, 전체적으로 4%의 가장 큰 환기량 감소를 보여주었다. 따라서 가장 환기에 유리하지 못한 통풍구 구조로 사료되며, 장경관전 각 입면에 대한 각기 다른 환기량 형태와 크기는 적절한 환기를 위한 의도적인 구조임을 확인 할 수 있다.

Table 2 Volumetric flow rate( $m^3/s$ ) through each side of Janggyeongpan Jeon.

Case	Sudara Jang					Beopbo Jeon				
	Front	Rear	West	East	Total	Front	Rear	West	East	Total
1	5.149	4.909	0.724	0.184	10.966	1.690	3.284	0.182	0.050	5.206
2	5.341	4.883	0.704	0.178	11.106	1.528	2.629	0.160	0.035	4.352
3	5.447	5.270	0.694	0.249	11.660	1.438	2.836	0.148	0.096	4.518
4	5.688	5.195	0.727	0.126	11.736	1.724	2.562	0.070	0.030	4.386
5	5.711	5.154	0.766	0.091	11.722	1.383	2.819	0.141	0.071	4.414

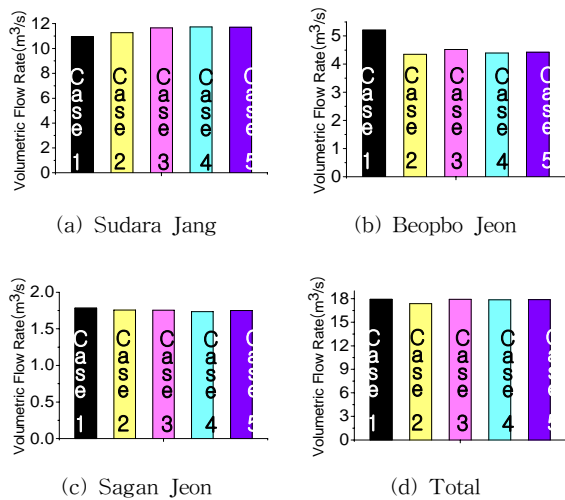


Fig. 14 Comparison of flow rate distributions in each shrines of Janggyeongpan Jeon.

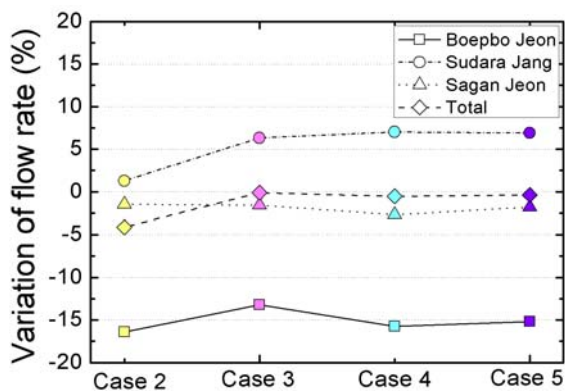


Fig. 15 Comparison of flow rate in percentage for each cases.

#### 4. 결론

본 연구에서는 수다라장과 범보전의 상하 통풍구와 남북면 통풍구의 위치를 변경한 가상의 장경관전을 고려하여 환기성능을 예측하였고, 통풍구를 균일한 형태로 설정한 가상 모델과도 환기량 비교를 하여 통풍구의 각기 다른 형태가 대장

경관 보존을 위한 적절한 환기 구조인지 분석하였다. 그 결과, 본 논문에서 고려한 가상의 모델에서 공통적으로 수다라장의 환기량은 소폭 상승한 것에 비해 풍하측 건물인 범보전의 환기량은 비교적 큰 감소폭을 나타내었다. 이는 범보전의 경관전 보존을 저해하는 요인이 될 수 있으며, 특히 균일한 통풍구 형태는 환기성능이 가장 떨어지는 것으로 확인되어 기존의 통풍구 구조가 환기 성능 면에서 가장 대장경관의 보존에 적합한 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. <http://news.buddhapia.com/news/BNC000/BNC0008243.html>.
2. Hur. N., Jeong. S. and Kim. T. K., 1998, Analysis of natural ventilation flow in the storage hall of Tripitaka Koreana at Haein temple, The society of Air-conditioning and refrigerating Engineering of Korea, Vol. 11, pp. 509-514.
3. Hur. N., Lee. M. S. and Yang. S. J., 2006, Numerical Simulation of Ventilation in the Storage Hall of Tripitaka Koreana at Haein Temple in Case of Building Rearrangement, SAREK J., vol. 19, pp. 379-385.
4. Lee. S. H., 1994, Haein temple architectural plan.
5. Climate information data from the management system of Korea Meteorological Administration, Mountain Gaya, 2002-2005.
6. Mochida. A. et al., 2006, Optimization of tree canopy model for CFD prediction of wind environment at pedestrian level, The 4th Symposium CWE, Vol. 4, pp. 561-564.