

풍력환기에 의한 아트리움의 열환경 개선에 관한 연구

노지웅*

*홍익대학교 건축공학부(jwroh@hongik.ac.kr)

Study on Improvement of Thermal Environment by using Wind-driven Natural Ventilation on the Atrium

Roh, Ji-Woong*

*Dept. of Architecture, Hongik University(jwroh@hongik.ac.kr)

Abstract

According to the advancement of computer and simulation method, it becomes possible to predict indoor climate precisely by using CFD simulation coupled with heat conduction, convection, and radiation. However, predicting the indoor climate is generally conducted by using a simplified CFD coupled simulation method since it takes quite long time to use a general CFD simulation method. In this study, a simplified CFD coupled simulation was conducted in order to find out the effect of natural ventilation by wind-driven in atrium. As a result of calculation, it was clarified that the natural ventilation driven by temperature difference was not enough to remove the accumulated heat of upper zone and the natural ventilation by wind-driven was needed. Finally, it is required to decide the window direction and size based on correct indoor climate prediction method for the effective use of natural ventilation by wind-driven.

Keywords : 간이연성해석(simplified CFD coupled simulation), 풍력환기(Natural ventilation by Wind-driven), 아트리움(Atrium), 열환경(Thermal environment)

기 호 설 명

Q_{cv} : 대류열 전달량(W)
 Q_{vent} : 환기에 의한 열제거량(W)
 Q_{aircon} : 공조투입열량(W)
 Q_{aircon} : 공조풍량(m^3/s)
 Q_{vent} : 환기풍량(m^3/s)

Q_{Rj} : 반사된 일사량(W)
 Q_{Dj} : 직접 흡수된 일사량(W)
 H_i : 확산일사($W/(m^2)$)

1. 서 론

아트리움은 밝기와 개방감이 중시되기 때문에

투고일자 : 2011년 11월 29일, 심사일자 : 2011년 12월 1일, 게재확정일자 : 2012년 2월 23일,
교신저자 : 노지웅(jwroh@hongik.ac.kr)

일반적으로 지붕 및 벽 재료로서 유리가 사용되고 있다. 태양복사와 같은 단파는 잘 투과시키는 반면 실내표면에 흡수된 뒤 재방사되는 장파복사는 투과하기 어려운 유리의 특성으로 인하여 아트리움 공간은 여름철 과열현상을 유발하기 쉽다. 또한, 일사에 의해 덥혀진 공기는 아트리움의 상부에 정체되어 복사, 대류열전달 등을 통해 거주역부의 온열환경을 악화시키게 된다.¹⁾ 이러한 문제들에 대한 해결책은 적절한 일사의 차단과 더불어 자연환기에 의하여 상부의 개구부를 통하여 정체공기를 배출시키는 환기계획이 유력한 것으로 알려져 있다. 그러나, 일사의 차단을 위해 차폐율을 조절하는 것은 유리공간의 개방감, 빛환경 등에 미치는 영향을 고려해서 결정해야 하고, 아트리움과 같은 대공간에 대한 자연환기 도입은 아직 설계적 근거가 제시되어 있지 못한 실정이다.²⁾ 또한, 열부하 계산에서도 상하온도차에 대한 정량적 예측이 반영되지 못하는 등 실내환경의 정확한 예측과 이를 통한 환경 개선방안 도출이 난이한 것으로 알려져 있다.³⁾

아트리움 공간내의 열, 공기환경은 단파,장파의 복사장과 공간내외의 대류장에 의해 지배된다. 복사장, 대류장은 실내외 벽면에 의해 구성되는 공간의 경계형상과 그 열적 조건에 의해 정해지며, 다시 그 실내측의 경계조건은 벽면간 열전달, 외부 환경조건 등에 의해 결정된다. 따라서 실내환경 예측의 성패는 적절한 경계조건을 설정하고 적절히 복사 및 대류장을 해석하는데 달려있다. 아트리움은 타공간과의 개방성이 높기 때문에 공간을 둘러싼 경계와 그곳에서 대류장에 부여하는 경계조건을 합리

적으로 도출하기 어려운 경우가 많다. 즉, 타공간과 연결되는 개방된 경계나 유리와 같이 실내에 유출입하는 열량이 큰 경계에서는 경계조건을 대류장과 분리하여 독자적으로 부여하기 어려운 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 실내표면의 온도장의 경계조건을 대류장, 복사계, 열전도계와 연성시켜 해석하는 기법을 이용할 필요가 있다. 그러나, 계산시간과 소요비용이 과중하여 일반적인 이용이 어려우며, 그 대안으로서 간이연성기법이 개발되어 그 유용성을 인정받고 있다.⁴⁾

본 연구는 일사, 자연환기 및 복사, 전도를 연성해석하는 간이연성 시뮬레이션 기법을 토대로 하여 풍력환기에 의한 아트리움의 열환경 개선방안을 검토하고자 이루어졌다. 일반적으로, 아트리움 상부의 정체열을 제거하기 위해서 온도차와 풍력에 의한 자연환기의 효과를 검토한 사례는 적지 않지만⁵⁾ 실내의 온도분포와 외부풍의 프로파일 등을 고려하여 복사,대류열전달을 연성하여 정밀하게 검토한 예는 거의 없는 실정이다. 경계조건을 도출을 위하여 일사에 의한 단파복사계산과 CFD에 의한 풍력환기 계산을 실시하였고, 최종적으로 상부 개구부 조건의 변화에 따른 실내온도분포와 기류분포 등을 산출하여 열환경 개선효과를 비교, 검토하였다.

2. 간이연성시뮬레이션의 개요

아트리움은 공간자체의 규모가 크고 유리를 통한 실내외간의 열이동 과정이 매우 복잡하다. 이를 정확하게 예측하기 위해서는 일사의 투과과정, 대류, 복사, 전도 등의 각 요소들로 이루어진 열전달 과정을 연성하여 해석할 필요가 있다. 간이연성 해석은 간이 대류, 복사,

1) 김영철, 신기식, 박상동, 최부혁, 환기장이 설치된 중정형 아트리움의 여름철 열환경에 관한 측정연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 20권 6호(통권 188호), 2004.6.
 2) 문정만, 김용식, 아트리움의 효율적인 자연환기를 위한 입출구의 적정 면적비와 위치선정에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제20권 제2호, 2000.10.28.
 3) 한금용, 안병욱, 아트리움 공간의 상하온도차에 관한 실측연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 20권 1호(통권 183호), 2004.1.

4) 魯志雄,村上周三,加藤信介, 복사,대류연성시뮬레이션에 의한 Perimeter Zone의 온열,공기환경해석,일본건축학회학술강연논문집,1995.8
 5) 최동희, 신선준, 김지현, 여명석, 김광우, 개구부 계획을 통한 아트리움의 열환경 개선에 관한 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회논문집, 2004.6.

열관류 연성시물레이션을 통하여 실 현상에 근접한 각 벽면의 대류열전달량 분포를 추출하여, 이를 경계조건으로 하여 CFD 해석을 하는 방법으로 계산부하를 크게 감소시킬 수 있다. 해석결과로서는 실내의 투과일사량과 복사온도 분포를 비롯하여 온도분포와 기류분포 등을 얻을 수 있기 때문에 PMV나 SET와 같은 열쾌적지표의 도출도 가능하게 된다. 간이연성해석은 일반적으로 이용될 수 있으며 계산의 정확도면에서도 매우 뛰어난 것으로 나타났다.⁶⁾

2.1 간이연성시물레이션의 구성

간이연성해석은 크게 복사 수렴계산과 대류(CFD) 계산으로 이루어진다. 복사 수렴계산은 일사에 의한 단파복사와 실내에서의 재방사 성분인 장파복사 등을 포함한 실전체의 열수지 계산이다. CFD해석을 위한 경계조건인 대류열전달량을 추출할 수 있다.

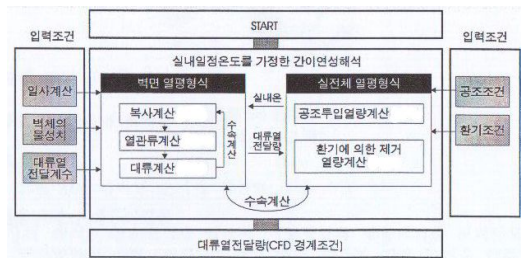


그림 1. 간이연성시물레이션의 Process

2.2 복사 수렴계산

실전체의 열평형식과 천정, 바닥을 포함한 실내 각 벽면의 열평형식을 수렴계산하는 것으로 이루어진다.

2.2.1 실전체 열평형

실전체의 열평형식은 대류열전달량 q_{cv} , 환기에 의한 열 제거량 q_{vent} , 공조투입열량 q_{aircon} 이 평형을 이루고 있음을 나타낸다.

$$\sum q_{cv} + q_{vent} + q_{aircon} = 0 \quad (1)$$

여기에서 q_{cv} 는 각 벽면의 열평형식으로부터 얻어지며, q_{vent} 와 q_{aircon} 은 실내평균온도 T_{air} , 공조취출온도 T_{sp} , 외기온도 T_{out} , 공조풍량 Q_{aircon} , 환기량 Q_{vent} 등에 의하여 다음과 같이 산출된다.

$$q_{vent} = Q_{vent} (T_{out} - T_{air}) C_p \rho \quad (2)$$

$$q_{aircon} = Q_{aircon} (T_{sp} - T_{air}) C_p \rho \quad (3)$$

여기에서, C_p 는 공기의 비열, ρ 는 공기의 비중.

계산결과로서 T_{air} 가 산출되며 각 벽면의 열평형식에 새로운 입력치로 사용된다.

2.2.2 각 벽면상의 열평형

각 벽면요소에서는 대류열전달량 q_{cv} , 장파복사 열전달량 q_{rl} , 일사해석에 의해 얻어진 단파복사 취득열량 q_{rs} , 실내부하 벽표면 발생 성분 q_{gain} , 열관류량 q_{cd} 가 평형을 이룬다.

$$q_{cv} + q_{rl} + q_{rs} + q_{gain} + q_{cd} = 0 \quad (4)$$

장파복사 계산은, Monte Carlo법과 Gebhart의 흡수계수법에 의해 각 벽면의 형태계수와 상호복사전달량을 산출하였다.⁷⁾

이 단계에서 다음식에 의하여 대류열전달량과 벽면온도에 대한 새로운 입력치가 산출되며, 반복(수속)계산에 의해 실전체 열평형식에 사용할 실내평균온도, 대류열전달량이 계산된다.

$$q_{cd} = K (T_s - T_{out}) A \quad (5)$$

$$q_{cv} = \alpha_c (T_{air} - T_s) A \quad (6)$$

여기에서, K 는 열관류율, T_s 는 벽면온도, A 는 벽 면적.

6) 김태연,김정태,노지웅,간이대류,복사,열관류연성시물레이션을 의한 대류 열전달량 해석,대한 건축학회학술발표논문집 제18권 제1호,1998.4.25

7) 박종수,몬테카를로법 및 광선추적법을 이용한 태양복사열량 해석에 관한 연구,한국생활환경학회논문집, 2000.3

2.2.3 일사에 의한 단과복사 취득열량 계산
실내 면요소 j에서 반사된 직달일사와 창요소 I를 투과한 반사일사는 실내의 각 면에서 상호반사되어 흡수된다. 이 경우, 면요소 k에 흡수되는 일사량 Q_{Ajk} 는 실내의 일사에 대한 Gebhart 흡수계수 B_{jk} 를 이용해 계산한다.

$$Q_{Ajk} = B_{jk} (Q_{Rj} + H_j) \quad (7)$$

면요소 k에 흡수된 전일사량 Q_k 는 다음과 같다.

$$Q_k = Q_{Dk} + \sum Q_{Ajk} \quad (8)$$

2.3 풍력환기량 계산

현재, 대공간에서 풍력환기 도입을 위한 설계기준이 제시되어 있지 않은 관계로 지역의 풍속에 대한 대략적인 값에 창면적을 곱한 만큼의 통풍량을 가정하는 등의 신뢰성이 낮은 방법을 사용하는 사례를 빈번히 볼 수 있다. 보다 신뢰도가 높은 방법으로는 풍동실험과 CFD 시뮬레이션을 들 수 있다. 이 가운데 CFD 시뮬레이션에 의해 외부의 바람에 의한 건물내 통풍량을 산정하는 방법으로는 크게 두가지로 구분할 수 있다. 첫번째는 건물외부만을 계산영역으로 하여 외부유동을 시뮬레이션하여 창위치에 해당하는 건물외표면의 압력분포와 유량계수(0.5~0.6)를 적용하여 통풍량을 산출하는 것이다. 두 번째는 건물내외부를 모두 계산영역에 포함시켜 실내외유동을 연계해석하는 것으로 보다 정확한 값을 산출할 수 있지만 계산부하가 크게 증가한다. 본 연구에서는 첫 번째 방법을 사용하였다.

3. 자연환기에 의한 열환경 개선 해석

3.1 대상건물 개요

본 건물은 부산지역에 위치하며 북측의 대규모 전시장과 남측의 회의장 및 세미나실

사이에 위치한 글래스 홀은 최대높이 61m, 길이 약 200m에 이른다. 1층 글래스홀(바닥면적 11,618m²)과 3층 식당(바닥면적 713m²)을 주 거주역으로 하는 체적(151,000m³)의 거대공간으로, 북측 전시장과 사이에 2개 층의 공간으로 연계되어 있다.

공조시스템은 1층과 3층에 걸쳐 설치되어 있으며 상부는 비공조를 원칙으로 하고 있다. 1층 유리면 부근에는 콜드 드래프트를 방지할 목적으로 바닥 급기구를 설치하였고, 1층과 2층 복도에는 Air Curtain을 형성하기 위하여 라인 디퓨저를 설치하였다. 상부에는 온도감지에 따라 개폐되는 환기창(1m*2m)을 상측부와 후면부(북동측)에 각각 25개씩 설치하여 자연환기에 의한 상부 정체열의 배출을 기하고 있다.

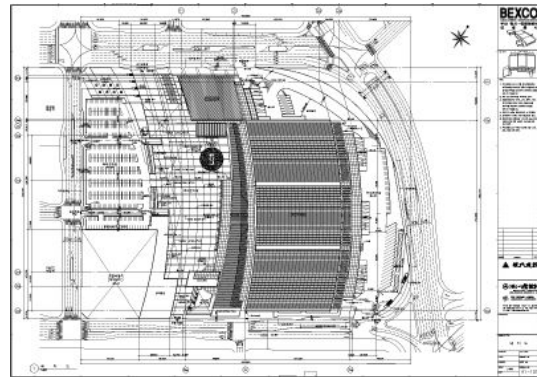


그림 2. 대상건물의 개요



그림 3. 환기창의 설치위치

3.2 해석조건

3.2.1 일사해석

일사해석은 하지 정오를 기준으로 하였고 상세한 해석조건은 표 1과 같다.

표 1. 일사해석조건

항목		
태양의 위치	고도	76도
	방위각	0도
일사조건	법선면 직달일사	797.6W/m ²
	수평면 확산일사량	156.3
albedo		0.1
유리의 투과, 반사, 흡수율 : 0.32, 0.1, 0.58		

3.2.2 풍력환기 해석

건물이 위치한 부산지역의 최근 5년간 7, 8월의 풍향 및 풍속(빈도⁸⁾를 분석한 결과 남서풍 및 북동풍이 탁월한 것으로 나타났다. 특히, 주간에는 남서풍이, 야간에는 북동풍이 탁월하게 나타났다. 이와 같은 분석결과를 토대로 상부 환기장의 개폐조건을 달리하며 총 4Cases에 대하여 CFD시뮬레이션을 실시하였다. 즉, 기존 설계안대로 글래스 홀의 B, C면에 설치한 각 25개의 창을 개방한 경우와 A, C면에 동일면적의 창을 개방한 경우를 주된 검토대상으로 하였다. 상용 CFD 프로그램인 α-flow를 사용하였고, 난류모델은 표준 k-epsilon 모델(Launder-Spalding,1974), 벽면의 경계조건은 generalized log-law를 적용하였다. 또한, 풍동실험에 의한 측정치와 부산지역 기상데이터(높이 10m에서의 풍속 4.3m/s)를 이용하여 풍속과 난류 프로파일을 작성하여 계산에 적용하였다.

표 2. 풍력환기 해석 Cases

Case	1	2	3	4
풍향	남서풍	남서풍	북동풍	남동풍
환기장의 배치	B,C면	A,C면	A,C면	A,C면

8) 부산지역 기상자료, 기후자료 관리시스템, 2000.6

3.2.3 실내 열환경 해석

여름철에 발생할 수 있는 글래스 홀 상부의 과열현상을 방지하고, 거주역의 온열환경을 쾌적하게 유지하기 위한 방안의 하나로써 상부 개구부를 통한 자연환기의 효과를 검토하였다. 복사 수렴계산을 통하여 산출된 대류 열전달량과 풍력환기해석을 통하여 도출된 통풍량 등을 경계조건으로 CFD 시뮬레이션을 실시하였다. 풍력환기를 이용하지 않은 Case 1(온도차 환기만 고려)을 기본으로 하여 기존 설계안대로 창을 설치했을 때에 대하여 창면적을 달리 한 경우(Case 2-1, 2-2), 창 위치를 달리한 경우(Case 3) 등 총 4개 Case를 검토대상으로 하고 있다.

표 3. 실내 열환경 Cases

Case	1	2-1	3	2-2
풍향	無風	남서풍	남서풍	남서풍
창의 위치	A면: 25개 C면: 25개	B면: 25개 C면: 25개	A면: 25개 C면: 25개	B면: 25개 C면: 25개
개구면 적(m ²)	100	100	100	100

3.3 해석결과

3.3.1 일사해석

글래스 홀의 유리면을 통한 직달 및 확산, 반사일사량을 계산하여 최종적으로 각 실내 표면에 흡수되는 열량을 산출하였다. 지붕면과 남측면을 통하여 다량의 일사가 투과되고 있으며, 총 일사수열량은 2,566kW에 달하고 있는 것으로 나타났다.

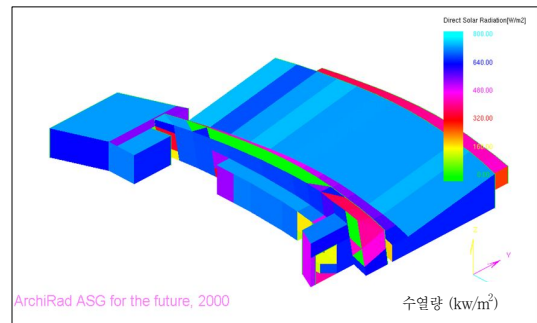


그림 4. 건물외부 각 부위별 일사도달량

3.3.2 풍력환기 해석

부산지역 7,8월 주간의 주풍향인 남서풍에 대하여 전동창이 B면(상측부)과 C면(후면부)에 설치된 Case 1의 경우, 환기창 부근에서 주풍에 의한 부압과 더불어 회전류가 발생하며 효과적으로 환기가 이루어지지 않는 것으로 나타났다(그림 5). 환기량 산정결과 251,140 m³/h의 환기가 발생하는 것으로 나타났다. 남서풍에 대하여 창의 위치를 A면(전면, 남서측)과 C면으로 바꾼 Case 2의 경우, 맞통풍의 영향으로 창내의 부근에서 매우 강한 풍속(6m/s 전후)을 보이고 있다(그림 6). 환기량은 Case 1보다 2배이상 큰 594,530 m³/h을 나타냈다. 창 위치가 A, C면 일때 야간의 주풍향인 북동풍이 불 경우(Case 3), 북측 전시장의 영향으로 글래스 홀 후면부의 풍속은 2.5m 전후로 감소하며 실내에의 유출입풍속도 감소하고 있는 것을 볼 수 있다(그림 7). 환기량은 343,420 m³/h을 나타내고 있다. 창 위치가 A, C면 일 때 남동풍이 불 경우(Case 4)에는 검토한 4가지 Case 중 가장 적은 환기량(171,040 m³/h)을 나타냈다.

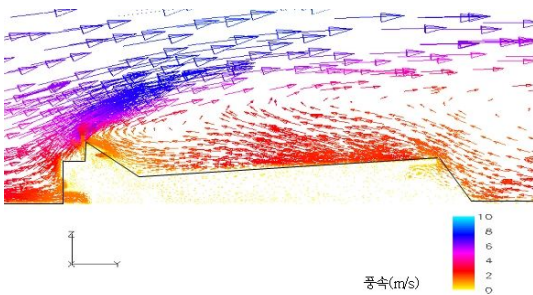


그림 5. 건물주변의 풍속벡터(Case 1)

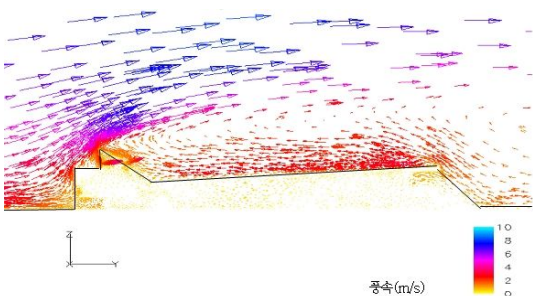


그림 6. 건물주변의 풍속벡터(Case 2)

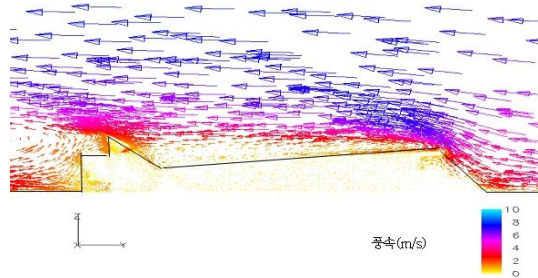


그림 7. 건물주변의 풍속벡터(Case 3)

3.3.3 실내 열환경 해석

풍력환기를 고려하지 않은 Case 1(온도차 환기만 고려)의 경우, 1, 2층의 취출기류가 직접적으로 도달되는 일부 거주역에서 국소적으로 2~8℃ 전후의 온도를 나타낼 뿐, 3층을 포함한 대부분의 영역에서 40℃를 초과하고 있다. 최상부에서는 약 50℃의 최고치에 달하고 있어서 매우 심각한 열환경 수준을 나타냈다(그림 8).

남서풍에 대하여 B, C면에 각각 균등하게 창을 설치할 경우(Case 2-1), 상부의 온도는 36~40℃ 정도로서 자연환기에 의해 부분적으로 상부 정체열이 제거되었음을 보여주고 있다. 그러나, 거주역에서는 Case 1에 비하여 크게 개선되지 않았고, 상부창에서의 환기과정에서 상부정체열이 글래스 홀의 전면부에 연하여 하부로 이동하여 일부 거주역 온도가 상승한 모습을 보이고 있다(그림 9, 10).

남서풍에 대하여 B, C면의 창면적 비율을 달리할(전체 창면적은 동일) 경우(Case 2-2), Case 2-1에 비하여 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

남서풍에 대하여 A, C면에 창을 설치할 경우, 상부에서는 32~35℃, 하부에서는 30℃ 전후의 온도분포를 나타냈다. 상부창을 통한 맞통풍이 이루어지면서 글래스 홀의 배면부에 연하여 하부공기를 상부로 유인하는 양상을 보이고 있다. 상부 정체열을 제거할 뿐만아니라 거주역부의 기류까지 교란시키고 있어서 통풍량이 과다한 것으로 판단된다(그림 11). 이는 개폐율이 조절가능한 창을 사용함으로써 해결가능할 것으로 사료된다.

풍력환기의 도입여부, 창면적 비율, 창의 위치 등을 변화하며 시뮬레이션을 한 결과, 온도차 환기만으로는 글래스홀에서 생기는 일사부하를 제거할 수 없으며, 부분적인 창면적의 비율을 조정하기보다는 창 위치를 조절하는 것이 풍력환기를 이용하는데 보다 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 창의 개폐율을 조절하며 적정 통풍량을 도입하는 것이 에너지 절감과 열환경 개선에 유효할 것으로 사료된다.

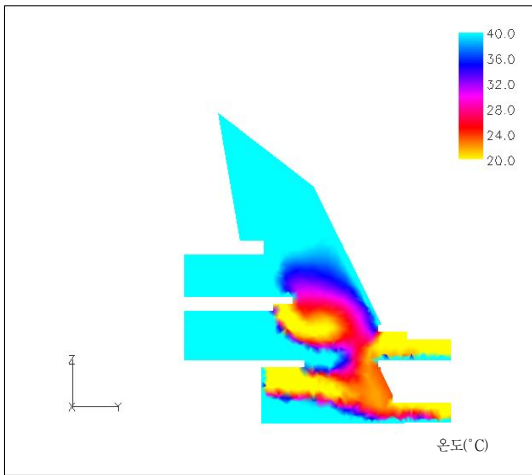


그림 8. 실내 온도분포(Case 1)

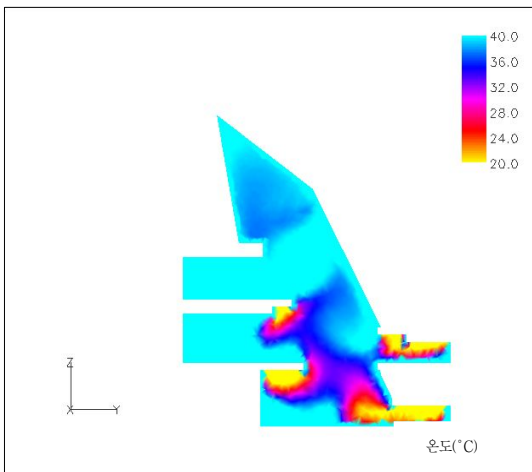


그림 9. 실내 온도분포(Case 2-1)

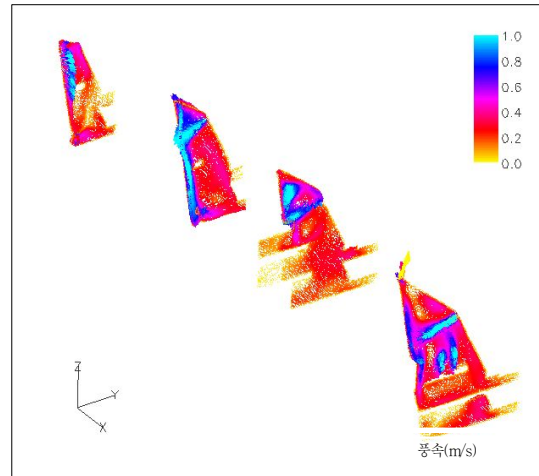


그림 10. 실내 풍속벡터(Case 2-1)

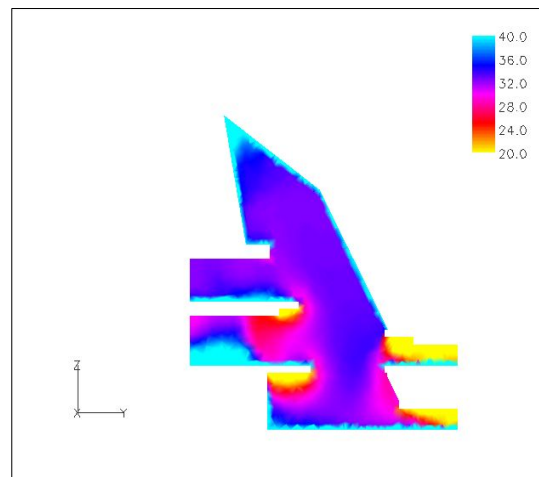


그림 11. 실내 온도분포(Case 3)

4. 결 론

일사, 자연환기 및 복사, 전도를 연성해석하는 시뮬레이션 기법을 토대로 하여 자연환기를 이용한 아트리움의 열환경 개선방안을 검토하였다. 주요결과는 다음과 같다.

- (1) 글래스 홀과 같이 여름철 과열현상이 우려되는 공간에 대하여 자연환기 도입에 관한 설계적 근거가 시급하다. 효과적인 환경제어를 위하여 간이연성 CFD 시뮬

- 레이션이 유용하게 이용될 수 있다.
- (2) 글래스 홀의 경우, 상부 정체열의 효과적인 제거가 중요하며 온도차환기만으로는 이를 기대하기 어려우며 풍력환기를 적극 고려할 필요가 있다.
 - (3) 풍력환기는 풍향과 개구부 주변건물, 개구부 위치에 따라 다르기 때문에 사전에 충분한 검토가 요구된다. 본 연구결과, 창면적의 비율을 조정하기보다는 창 위치를 조절하는 것이 풍력환기를 이용하는 데 보다 효과적인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김영철, 신기식, 박상동, 최무혁, 환기창이 설치된 중정형 아트리움의 여름철 열환경에 관한 측정연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 20권 6호(통권 188호), 2004.6.
2. 문정만, 김용식, 아트리움의 효율적인 자연환기를 위한 입출구의 적정면적비와 위치 선정에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제20권 제2호, 2000.10.28.
3. 한금용, 안병욱, 아트리움 공간의 상하온도차에 관한 실측연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 20권 1호(통권 183호), 2004.1.
4. 魯志雄,村上周三,加藤信介, 복사, 대류연성시뮬레이션에 의한 Perimeter Zone의 온열, 공기환경해석, 일본건축학회 학술강연논문집, 1995.8
5. 최동희, 신선준, 김지현, 여명석, 김광우, 개구부 계획을 통한 아트리움의 열환경 개선에 관한 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회논문집, 2004.6.
6. 김태연, 김정태, 노지웅, 간이대류, 복사, 열관류연성시뮬레이션에 의한 대류열전달량 해석, 대한건축학회 학술발표논문집 제18권 제1호, 1998.4.25
7. 박종수, 몬테카를로법 및 광선추적법을 이용한 태양복사열량 해석에 관한 연구, 한국생활환경학회논문집, 2000.3
8. 부산지역 기상자료, 기후자료 관리시스템, 2000.6
9. 이지영, 손장렬, 이영균, 친환경적 아트리움을 위한 개구부 계획, 대한건축학회 논문집(계획계) 26권 1호(통권 255호), 2010.1.
10. 이소연, 안정수, 김강수, 실측분석기법과 시뮬레이션 분석기법에 의한 아트리움의 열환경 개선에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 vol.29 n.5, 2009.10.
11. 윤근영, 유지용, 신동민, 최선호, 강소연, 정차수, 아트리움의 실내환경 해석을 위한 모델링 기법에 관한 연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, 2003.7.
12. 신선준, 이승연, 조진균, 한수곤, 홍민호, 아트리움을 이용한 자연환기 활성화 방안에 관한 사례연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, 2008.6.