

# 해외 주요 도시의 기후특성에 따른 최대공조부하 요소별 분석

## Heating and Cooling Load according to the Climatic Conditions of Foreign Cities

안승현\* · 김종호\* · 이정훈\*\* · 이상엽\*\*\* · 송두삼\*\*\*\*†

An Seung-Hyun\*, Kim Jong-Ho\*, Lee Jung-Hun\*\*, Lee Sang-Yup\*\*\* and Song  
Doo-Sam\*\*\*\*†

(Submit date : 2014. 9. 1., Judgment date : 2014. 9. 5., Publication decide date : 2014. 10. 20.)

**Abstract :** According to the domestic construction business will continue stagnant, many domestic construction companies are expanding their business into foreign countries. As results, building design guidelines including HVAC design for foreign countries considering the regional climate conditions are needed. Also, green building design strategies to minimize the heating and cooling load are key issue to win a contract in construction business in the world.

In this study, peak heating and cooling loads were calculated for the representative cities in the world : Seoul, St. Petersburg, Singapore and Mecca. The analyzed building was a typical high-rise office building and the building envelope properties, indoor heat gain, residence and operating schedules were same in all cases. Only the weather conditions were different by cases.

**Key Words :** 건물설계가이드라인(building design guidelines), 지역 기후특성(Regional Climate Condition), 최대냉난방부하(Peak Cooling and Heating Loads), 친환경빌딩설계전략(Green building design strategies), 고층 오피스빌딩(high-rise office building)

\*\*\*\*† 송두삼 : 성균관대학교 건축공학과

E-mail : dssong@skku.edu, Tel : 031-290-7551

\*안승현 : 성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과

\*김종호 : 성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과

\*\*이정훈 : 성균관대학교 건설환경시스템공학과

\*\*\*이상엽 : 삼성물산 M&E사업부

\*\*\*\*† Song Doo-Sam : Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University.

E-mail : dssong@skku.edu, Tel : 031-290-7551

\*An Seung-Hyun : Department of Global Construction Engineering, Sungkyunkwan University.

\*Kim Jong-Ho : Department of Global Construction Engineering, Sungkyunkwan University.

\*\*Lee Jung-Hun : Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University

\*\*\*Lee Sang-Yup : Department of M&E, Samsung C&T

## 1. 서론

미국의 건설·엔지니어링 글로벌 전문지 ENR(Engineering News Record)이 2012년 4월에 게재한 Global Construction Outlook<sup>1)</sup>에서는 2013년 글로벌 건설시장 규모가 전년 대비 7.4% 성장하여 8.6조 달러에 도달 할 것이라고 언급했다. 또한, 2014년 글로벌 건설시장은 2013년 대비 9.2% 성장하여 약 9.4조 달러를 넘어설 것으로 전망하고 있다. 그러나 글로벌 건설시장은 2008년 글로벌 금융위기 이후 선진국에서는 현저하게 감소하였고, 주로 중동 및 동남아 신흥국의 도시개발 사업을 중심으로 증가되고 있다.<sup>2)</sup> 이러한 해외 건설시장의 전망에 맞춰 국내 건설사들의 국내 외 수주 현황<sup>3)</sup>을 살펴보면 Fig. 1과 같이 국내 건설 수주 총액은 3년간 지속적으로 감소하는 반면 해외 건설 수주 총액은 지속적으로 상승하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 2012년 해외 수주 총액이 전년대비 10% 상승하는 가운데 해외 도시개발 사업 수주는 전체 해외 수주 금액의 약 14%를 차지했고 전년대비 400% 상승하는 결과를 나타냈다. 그러나 이와 같은 국내 건설사들의 활발한 해외 진출에도 불구하고 해외공사 수주에 따른 수익률은 매우 낮은 문제가 발생 하였다. 그 이유 중 하나로 국내 건설사들의 설계경쟁력 부족을 들 수 있다.<sup>4)</sup> 이러한 문제점을 타개하기 국내 건설사들은 엔지니어링 역량을 강화시키기 위한 다양한 노력들을 실시하고 있다.

본 논문에서는 국내 건설사들의 설비설계 및 그린빌딩 구현 역량 확보의 일환으로 국내 건설사들이 많이 진출하고 있는 해외 주요 도시에 대한 기후특성을 고려한 냉난방부하 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 각각의 기후조건에 따른 냉난방부하의 수준과 냉난방

에너지 절감을 위해 주요하게 고려해야 할 인자가 무엇인지를 검토하고자 한다.



Fig. 1 Status of domestic and overseas construction orders

## 2. 분석 대상건물

본 연구의 분석 대상건물은 지하 7층, 지상 32층 규모의 오피스 건물로 기준층 바닥면적이 1,296m<sup>2</sup>으로 4mm 투명 low-e유리와 28mm 반사 low-e유리로 마감된 창면적비 70%의 커튼월 건물이다. 대상 건물의 냉난방부하 산출을 위한 공조조닝은 다음 Fig. 2와 같다.

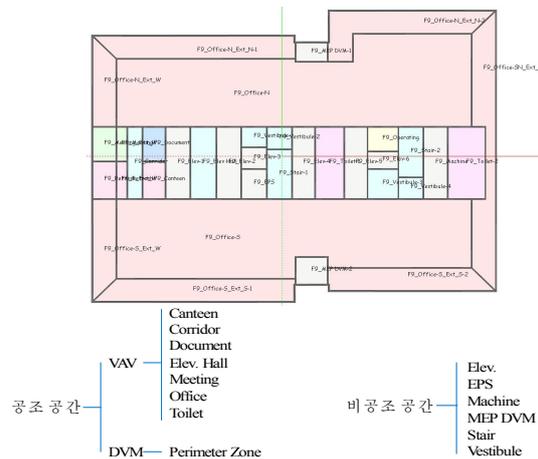


Fig. 2 Thermal zoning for analyzed building

분석 대상건물의 창, 벽, 내부 간벽의 물성치는 다음 Table 1과 같다. 아울러 대상건물의 내

부발열 및 외기도입량은 다음 Table 2와 같다.

Table. 1 Wall/Window properties for analyzed building

| Components   | Properties                   |       |
|--------------|------------------------------|-------|
| Walls        | U-Value (W/m <sup>2</sup> K) | 0.250 |
|              | R-Value (m <sup>2</sup> K/W) | 3.997 |
| Partitions   | U-Value (W/m <sup>2</sup> K) | 1.496 |
|              | R-Value (m <sup>2</sup> K/W) | 0.668 |
| Fenestration | U-Value (W/m <sup>2</sup> K) | 1.682 |
|              | SHGC                         | 0.287 |
|              | Tvis                         | 0.429 |

Table. 2 Internal and ventilation heat gain for analyzed building

| Internal heat gain              |                              |                               | Ventilation                               |
|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Occupants (per/m <sup>2</sup> ) | Lighting (W/m <sup>2</sup> ) | Equipment (W/m <sup>2</sup> ) | OA** (CMH/per)                            |
| 0.14*                           | 7.9*                         | 13*                           | office:25, lobby/hall:17, meeting room:25 |

\* These values are based on BEMS data for analyzed building.

\*\* This value is based on the building design criteria of Korea.

### 3. 시뮬레이션 조건

해외 주요 도시의 각 기후 특성을 고려한 고층 오피스 건물의 냉난방부하 특성을 분석하기 위한 대상 도시로 본 연구에서는 서울을 중심으로 국내 건설사들이 많이 진출하고 있는 싱가포르, 러시아의 St. Petersburg, 사우디아라비아의 Mecca를 선정하였다. 선정된 각 도시들은 기후대가 각각 다른 도시로 한랭기후, 온난기후, 고온다습, 고온건조 기후를 나타내고 있다 (Fig. 3, Fig. 4).

각 지역별 최대 냉난방부하를 산출하기 위한 시뮬레이션 툴은 EnergyPlus를 사용하였다. EnergyPlus는 열평형법(Heat Balance Method)을 기반으로 건물 열부하를 산정하고 있으며, 세부적으로는 외부표면 열평형, 벽체

를 통한 전도열전달, 내부표면 열평형, 실공기

Table. 3 Characteristics of analyzed cities

| City, Nation          | Latitude | Longitude | Weather characteristics            |
|-----------------------|----------|-----------|------------------------------------|
| Seoul, Korea          | 37.34°N  | 126.58°E  | humid continental/subtropical      |
| Changi, Singapore     | 1.37°N   | 103.98°E  | tropical rainforest climate(humid) |
| St.Petersburg, Russia | 59.57°N  | 30.18°E   | low temperature, humid             |
| Mecca, Saudi Arabia   | 21.25°N  | 39.49°E   | high temperature, dry              |

열평형으로 구분된다. 이들 세부 열평형의 계산은 ‘순차적’이 아닌, ‘동시’에 수행되는 것이 특징이다.<sup>5)</sup> 건물부하를 산출하기 위해 사용된 설계 외기 온·습도조건은 ASHRAE Handbook of Fundamentals 2013, chapter 14. Climatic Design Information<sup>5)</sup>의 내용을 참조하였으며 그 내용은 Table 3과 같다. 또한, 설계 외기 온·습도 조건은 ASHRAE 90.1-2013<sup>6)</sup>의 Design day를 참고하여 1% dry-bulb and 1% wet-bulb cooling design temperatures를 기준으로 하였다. 실내 설정 온습도 조건은 여름철 건구온도 24℃, 상대습도 50%, 겨울철 건구온도 20℃, 상대습도 40%를 기준으로 하였다.

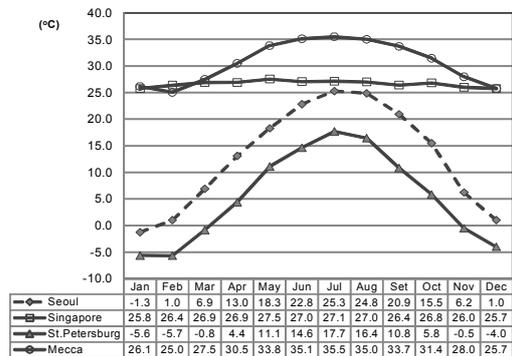


Fig. 3 Monthly average temperature of the analyzed cities

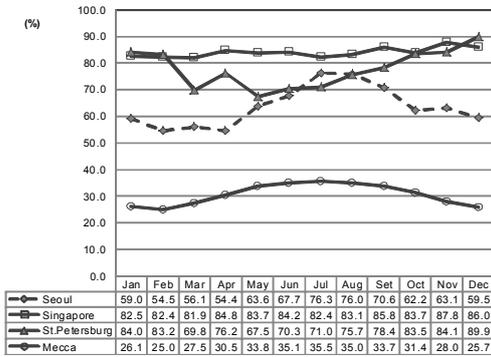


Fig. 4 Monthly average RH of the analyzed cities

Table. 4 Design day for simulation

| Category              | Cooling design day |         |         |         | Heating design day |         |
|-----------------------|--------------------|---------|---------|---------|--------------------|---------|
|                       | Hottest month      | DB [°C] | WB [°C] | DR [°C] | Coldest month      | DB [°C] |
| Seoul, Korea          | 8                  | 30.7    | 23.3    | 6.4     | 1                  | -11.1   |
| Changi, Singapore     | 5                  | 32.9    | 26.4    | 5.8     | 12                 | 23.1    |
| St.Petersburg, Russia | 7                  | 25.2    | 18.2    | 8.8     | 2                  | -23.2   |
| Mecca, Saudi          | 7                  | 44.1    | 24.3    | 13      | 1                  | 16.2    |

시뮬레이션 수행을 위한 대상건물의 외피 및 내벽의 물성치는 Table 1과 같으며, 내부발열 조건은 대상건물의 실제 운영상의 결과인 BEMS 데이터를 분석한 결과이다. 아울러, 내부발열(조명, 전열, 인체) 스케줄은 DOE(U.S. Department of Energy)에서 제공하고 있는 Commercial Reference Building 범주 내의 Large Office의 스케줄<sup>8)</sup>을 인용하였다.

#### 4. 분석 결과

##### 4.1 최대냉방부하

서울을 기준으로 하여 각 지역(Changi, St. Petersburg, Mecca) 별 최대냉방부하를 분석

한 결과는 Table 5, Fig. 5와 같다.

분석결과, 싱가포르 창이는 서울을 기준으로 약 114%의 냉방부하 증가를 나타냈으며, 러시아의 상트페테르부르크는 84%, 사우디아라비아의 메카는 120% 정도 증가하였다.

부하요소별 특성을 보면, 검토한 지역에서 외피부하가 가장 높게 나타나 서울의 경우 전체부하 중 약 49%, 창이는 45%, 상트페테르부르크는 65%, 메카는 52%를 차지하였다. 싱가포르의 창이가 예상외로 낮은 외피부하를 나타낸 것은 벽(wall)을 통한 전도열(window by conduction) 취득은 많으나 창을 통한 투과열(window by solar)은 비교적 적기 때문이다. 그 이유는 싱가포르 창이의 경우는 본 논문에서 분석한 다른 지역과 비교하여 최대냉방부하가 발생하는 시간의 태양고도가 높기 때문이다. 이와 반대로 러시아의 상트페테르부르크는 창을 통한 전도열 취득은 작으나 일사 투과열은 높게 나타나 결과적으로 창을 통한 열취득이 상대적으로 높게 나타났다. 사우디 메카의 경우는 벽체, 창의 전도, 투과열 모두 가장 높게 나타났다.

아울러, 분석 대상지별 최대부하 요소 중에서 가장 큰 차이를 나타낸 것은 환기를 위한 외기도입부하였다. 싱가포르 창이의 경우는 외기부하가 35.08 kW로 고온 다습한 외기 특성에 따라 동일한 외기량을 도입하고 있음에도 불구하고 서울(22.62 kW)과 비교하여 약 155% 증가하는 결과를 나타냈다. 고온 건조한 사우디 메카의 경우는 약 120%의 증가를 나타냈으며, 러시아 상트페테르부르크는 외기부하가 서울의 약 18% 수준으로 나타났다.

한편 Table 5의 결과 중에서 상세한 분석이 요구되는 결과는 내부발열부하와 내벽에서의 열취득, 열손실 부분이다. 먼저 내부발

Table. 5 Peak cooling load of the analyzed cities

|                              | Internal Load                       | Envelope Load |                 |                 |             | Internal wall Load |                  |               |               | Ventilation |             |             | Total                |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
|                              | (Occupants, Lighting, Equip.)       | Walls         | Window by cond. | Window by solar | Sum         | Ceiling (int.)     | Partition (int.) | Floor (int.)  | Sum           | Sensible    | Latent      | Sum         |                      |
|                              | kW<br>(%,component load/total load) |               |                 |                 |             |                    |                  |               |               |             |             |             |                      |
| <b>Seoul, Korea</b>          | 32.53 (37%)                         | 4.11 (5%)     | 11.06 (12%)     | 30.78 (34%)     | 45.95 (49%) | 0.13 (0%)          | 1.39 (2%)        | -13.24 (-15%) | -11.71 (-13%) | 6.53 (7%)   | 16.09 (18%) | 22.62 (25%) | <b>89.40 (100%)</b>  |
| <b>Changi, Singapore</b>     | 32.55 (32%)                         | 4.68 (5%)     | 12.23 (12%)     | 28.17 (28%)     | 48.08 (45%) | 0.19 (0%)          | 1.18 (1%)        | -11.74 (-11%) | -10.37 (-10%) | 8.84 (9%)   | 26.24 (26%) | 35.08 (34%) | <b>102.33 (114%)</b> |
| <b>St.Petersburg, Russia</b> | 32.40 (43%)                         | 1.89 (3%)     | 8.55 (11%)      | 38.21 (51%)     | 48.65 (65%) | 2.20 (3%)          | 4.75 (6%)        | -17.23 (-23%) | -10.28 (-14%) | 1.01 (1%)   | 3.18 (4%)   | 4.19 (6%)   | <b>74.97 (84%)</b>   |
| <b>Mecca, Saudi</b>          | 32.76 (30%)                         | 7.32 (7%)     | 19.55 (18%)     | 29.40 (27%)     | 56.26 (52%) | 0.52 (0%)          | 1.4 (1%)         | -10.65 (-10%) | -8.73 (-9%)   | 19.95 (19%) | 7.25 (7%)   | 27.2 (25%)  | <b>107.50 (120%)</b> |

Table. 6 Peak heating load of the analyzed cities

|                              | Envelope Load                       |                 |            | Internal wall Load |              |              |          | Ventilation Heat Gain |          |            | Total       |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------|------------|--------------------|--------------|--------------|----------|-----------------------|----------|------------|-------------|
|                              | Walls                               | Window by cond. | Sum        | Ceiling (int.)     | Part. (int.) | Floor (int.) | Sum      | Sensible              | Latent   | Sum        |             |
|                              | kW<br>(%,component load/total load) |                 |            |                    |              |              |          |                       |          |            |             |
| <b>Seoul, Korea</b>          | 1.8 (3%)                            | 19.3 (29%)      | 21.1 (32%) | 4.6 (7%)           | 0.7 (1%)     | -1.3 (-2%)   | 4.0 (6%) | 32.25 (%)             | 9.52 (%) | 41.8 (62%) | 66.9 (100%) |
| <b>St.Petersburg, Russia</b> | 2.3 (3%)                            | 26.9 (32%)      | 29.2 (35%) | 4 (5%)             | -0.5 (-1%)   | -3.1 (-4%)   | 0.4 (0%) | 45.31 (%)             | 9.04 (%) | 54.4 (65%) | 84 (126%)   |

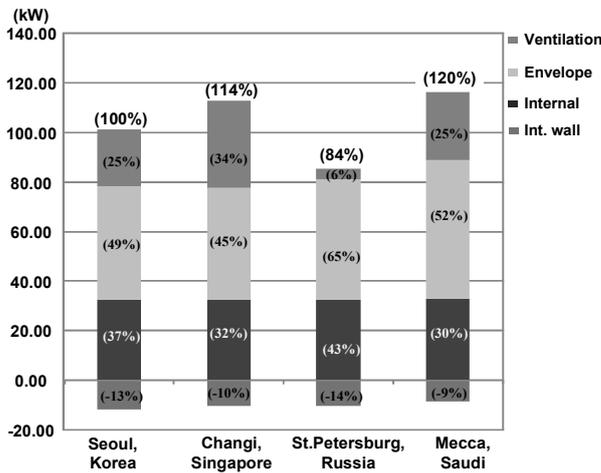


Fig. 5 Peak cooling load profile for the analyzed cities

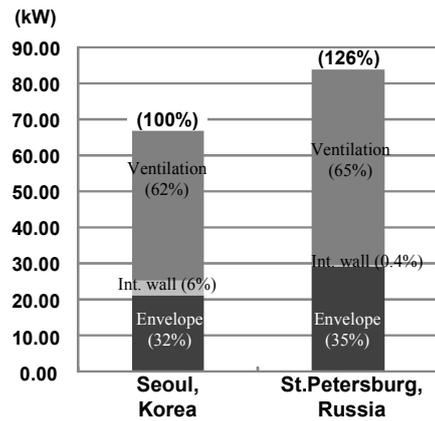


Fig. 6 Peak heating load profile for the analyzed cities

열부하요소에 대해 분석하면, 분석 대상건물의 경우, Table 2와 같이 내부발열량이 동일

한데 Table 5에 나타난 내부발열부하의 결과는 차이는 크지 않으나 지역별로 그 값이 차

이를 보이고 있다. 이것은 본 연구에서 시뮬레이션 툴로 사용한 에너지플러스(EnergyPlus)의 최대부하 계산 원리인 '열평형법(Heat Balance Method)'의 논리에 근거한다<sup>5)</sup>. 열평형법에서 인체, 조명, 기기 등에서의 실시간 발열은 대류와 복사성분으로 분리되어 작용하며, 대류성분은 바로 처리해야하는 냉방부하로 작용하며, 복사성분은 실내 가구나 내벽, 외벽 등에 전달, 축열되어 시간차이를 두고 대류성분으로 작용한다. 즉 실시간 발생하는 내부발열 요소는 일부는 순간적으로 처리해야하는 냉방부하(대류성분)가 되고 일부는 복사성분으로 시간차이를 두고 대류성분으로 발현되며, 발현속도도 주변 벽의 온도나 열류 상황에 따라 달라질 수 있다는 것이다.

내벽에서의 열취득, 열손실 관련해서는 기존의 부하계산방법에서는 통상 내벽에서의 열류는 무시하고 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 부하계산방법인 에너지플러스(EnergyPlus)에서는 내벽을 포함한 내측면에서의 열평형을 1) 건물요소로부터의 전도, 2) 실공기로의 대류, 3) 단파복사 흡수와 반사, 4) 장파복사의 상호작용으로 정의하고 있다. Table 5의 최대 냉방부하 결과에서와 같이 천정, 내부 간벽, 바닥 등에 흡수된 열부하가 시간지연을 두고 재방사되어 부하로 작용하고 있음을 알 수 있다. 그러나 내벽 중 바닥에서 음수(-)값이 나오는 것은 기준층 바닥으로 흡수된 열부하가 기준층 바닥위에 깔린 카펫으로 인해 실내측으로 재방사되기 보다는 아래층으로 전도에 의해 열전달이 되기 때문이다.

위의 결과로부터, 실시간 열부하 조건에 근접하는 정밀한 부하계산을 위해서는 내벽(천정, 내부간벽, 바닥)을 통한 열류 또한 무시할 수 없음을 알 수 있다.

#### 4.2 최대냉방부하

Table 6, Fig. 6과 같이 냉방부하는 서울과 러시아의 상트페테르부르크에서만 발생하였다. 상트페테르부르크는 겨울철 평균 외기온이 서울에 비해  $-10^{\circ}\text{C}$  가량 낮아 최대냉방부하가 서울 대비 약 126% 더 크게 계산되었다. 아울러 상트페테르부르크는 연간 최대부하가 냉방부하가 아닌 난방부하에서 발생하여, 이 지역에 대한 공조설계는 난방부하를 중심으로 설계되어야 함을 알 수 있다.

서울과 상트페테르부르크의 특징은 두 지역 모두 난방부하 요소 중에서 환기를 위한 외기 유입에 따른 난방부하가 전체 난방부하의 약 62%, 65%로 달하는 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

본 논문은 국내 건설사들이 진출해 있는 해외 주요 도시의 기후조건을 고려한 최대냉난방부하 특성을 분석하였다. 분석은 서울과 비교하여 해당지역의 냉난방부하 특성은 어떠한지?, 공조에너지 절감을 위해 어떤 전략이 주요한지? 를 시뮬레이션 분석을 통해 검토하였다.

- (1) 냉방부하 측면에서, 외피의 경우 만일 창면적비를 동일하게 해야 한다면 창을 통한 열취득을 최소화하기 위해 러시아 상트페테르부르크의 경우는 창의 SHGC를 낮추는 것이 요구되고, 사우디 메카의 경우는 창의 열관류율, SHGC를 모두 낮추는 것이 요구되나, 특히 창호의 열관류율 강화에 더 주안을 두어야 점을 주어야 함을 알 수 있었다.
- 싱가폴의 경우는 국내와 유사하게 설계를 해도 무리가 없을 것으로 판단되었다.
- (2) 싱가포르와 사우디 메카의 경우는 건물 냉

방부하 절감을 위해 CO<sub>2</sub>디멘드제어와 같은 외기도입량을 최소화하는 전략이 유효할 것으로 판단된다. 아울러 러시아 상트페테르부르크의 경우는 평균 외기온과 실내에서 요구하는 설정 온도와의 차이가 적기 때문에 외기냉방과 같은 전략도 가능할 것으로 판단된다.

- (3) 난방에너지 절감을 위해서는 외피(창)의 열관류율을 낮추고, 실내 공기질이 청정하게 유지되는 범위내에서 겨울철 외기도입을 최소화하기 위한 전략이 필요함을 알 수 있다.

8. U.S Department of Energy, COMMERCIAL REFERENCE BUILDINGS, <http://energy.gov/eere/buildings/commercial-reference-buildings>.

### Reference

1. Global Construction Outlook Webcast on April 11, Global Insight, ENR, 2012.
2. International Contractors Association of Korea, <http://www.icak.or.kr/main.php>.
3. Construction Association of Korea, <http://www.cak.or.kr/stat/statisticsMain.do?menuId=7>.
4. Han, Jae-Goo, Park, Hwan-pyo, Jang, Hyun-Seoung, A Study on Development of the Competitive Evaluation Model in Oversea Construction Industry, Korea Journal of construction Engineering and Management, Vol. 14, pp. 12~21, 2013.
5. ASHRAE, ASHRAE Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2013.
6. ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2013 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2013.
7. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energy\\_plus/weatherdata\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energy_plus/weatherdata_about.cfm)