

분리막 제습공조시스템의 잠열부하 저감효과 예측

Prediction of Latent Heat Load Reduction Effect of the Dehumidifying Air-Conditioning System with Membrane

정용호(Yong-Ho Jung)^{1†}, 박성룡(Seong-Ryong Park)²

¹청운대학교 건축설비소방학과, ²한국에너지기술연구원 열에너지변환연구실

¹Department of Building Equipment and Fire Protection System, Chungwoon University, Incheon, 22100, Korea

²ThermalEnergy Conversion Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, 34129, Korea

(Received November 7, 2016; revision received November 9, 2016; Accepted: November 11, 2016)

Abstract The summer climate is very hot and humid in Korea. The humidity is an important factor in determining thermal comfort. Recently, the research for dehumidification device development has been attempted to save energy that is required for the operation of the current dehumidifiers on the market. Existing dehumidification systems have disadvantages such as wasting energy to drive a compressor. Meanwhile, dehumidification systems with membranes can dehumidify humid air without increasing the dry bulb temperature so it doesn't have to consume cooling energy. In this paper, the cooling energy savings was studied when a dehumidification system was applied in a model building instead of a chiller. The sensible heat load was almost the same result, but the latent heat load was decreased by 38.9% and the total heat load was decreased by 8.5%. As a result, electric energy used to drive the compressor in a chiller was saved by applying a membrane air-conditioning system instead.

Key words Membrane(분리막), Dehumidifying air-conditioner(제습 공조), Energy saving(에너지 절감), Energy simulation(에너지 시뮬레이션), Latent load(잠열부하)

† Corresponding author, E-mail: coil@chungwoon.ac.kr

1. 서 론

다양한 종류의 산업의 발달로 인해 높은 질의 실내 조건에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있으며, 온도는 물론 습도의 중요성도 증가하고 있는 추세이다. 실내에 거주하는 이용자들이 이제는 환기에 대한 관심이 많아졌으며, 다중이용시설의 실내 공기질에 대한 기준이 제시되고, 이에 따른 환기설비를 하도록 법규가 마련되어, 환기량의 증가에 따른 외기 중에 포함된 잠열(습도)을 저감하기 위한 방법들이 많은 관심을 받고 있다. 우리나라의 여름철 기후는 매우 고온 다습한 특성을 지니고 있어, 습도가 쾌적성을 결정짓는 중요한 요소이다. 이에 따라 최근 제습장치가 많이 개발, 보급되고 있으며, 제습장치의 운용에 필요한 에너지를 개선하는 방향으로 연구가 행해지고 있다. 제습은 주로 여름철에 필요하므로 냉방장치와 연계되어 있다.⁽¹⁾

일반적으로 제습을 형태별로 나누면 습식제습과 건식제습으로 나누어진다. 습식제습은 일반적으로 냉각기를 사용하여 공기를 냉각함으로써 포화상태 이하로

냉각된 만큼 제습하는 방식으로서 냉각코일의 노점온도가 12~15℃ 정도, 그리고 건구온도가 20℃ 이하에서는 상대습도 60% 이상의 공기가 얻어진다. 일반적으로 현재 건축공간의 냉각제습 방법으로서 가장 널리 이용되는 형태이다. 건식제습은 실리카겔이나 제오라이트(zeolite) 등과 같은 물리적 흡착제나 염화칼슘이나 염화리튬과 같은 화학적 흡착제에 공기 중의 수분을 흡착시켜 제습하는 방식이다. 이 방식은 비교적 노점온도가 저온인 수준까지 낮출 수 있으며, 이러한 특성 때문에 저습도 영역이 필요한 산업분야에 많이 적용되고 있다. 그러므로 습도가 높은 환경 하에서는 습식제습이 효율이 높게 제습할 수 있는 반면, 저습도의 공기를 얻고자 할 경우 결상의 문제가 있기 때문에 적절하지 않다. 한편, 건식제습은 모든 온도조건에서 적용할 수 있지만, 흡착제에 수분이 흡착할 때 발생하는 흡착열에 의해 제습된 공기온도가 상승하게 되므로 간혹 냉각기나 다른 열량제거 시설 등을 설치할 필요가 있다.⁽³⁾ 전술한 바와 같이 기존의 제습 방식의 경우 순수 제습을 위한 에너지 이외에 추가적인 냉각설비가 필요한 경우

가 대부분이며 이러한 문제를 개선하기 위하여 데시컨트 쿨링시스템 등이 개발되었으나 성능계수가 비교적 낮고 간혹 복잡한 배관이나 덕트 관계로 전체 시스템의 소형화가 어려운 점 등의 단점을 가지고 있다.⁽⁴⁾

이에 대한 대안으로서 본 연구에서는 분리막을 적용하여 습공기선도 상의 감습방향을 수직 하향으로 이동 가능하게 함으로써 냉각효율을 증대시키는 시스템에 대하여 실제 건물에 적용하는 경우 에너지 절감효과를 분석하고자 한다.

2. 각종 제습시스템

냉각식 제습방법은 냉동기를 이용하여 제습하고자 하는 공기를 노점온도 이하의 냉각코일 표면과 접촉시켜 공기 중의 수분을 응축하여 습도를 낮추는 방법으로서 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 ① → ②로 제습하는 과정에서 공기의 온도와 습도는 감소하는 것이 가능하나 이를 위한 압축기와 팬의 동력이 소비되는 문제를 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 기존 기술개발 및 경험 축적 등의 이유로 현재 일반 건축물의 냉방시 공조용으로 가장 널리 사용되는 방법이다. 제습과정에서 흡착제를 이용하는 방법은 실리카겔이나 활성알루미나 등의 흡착제가 공기 중의 수분을 흡착하는 원리를 이용하는 것으로 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 ① → ④로 공기선도 상에서 변화하며, 공기는 등습구선을 따라 이동하는 과정에서 흡착제 표면에 흡착열이 발생하므로 발생열 제거를 위한 냉각열량을 추가로 필요로 한다. 이에 비하여 본 연구에서 적용하고자 하는 분리막을 이용한 제습시스템은 Fig. 1 공기선도 상의 이동방향 ① → ③으로 직접 이동하는 결과를 나타내므로 추가적인 냉각열량 및 전기적인 소요동력이 필요하지 않게 된다.⁽²⁾ 일반적으로 습공기 중의 수증기는 큰 극성을 가지기 때문에 투과상수가 매우 크게 나타

난다. 따라서 수증기는 상대적으로 공기(산소, 질소)의 기타 성분에 비하여 큰 투과도를 나타낸다. 이를 이용한 제습방법이 본 연구에서 분석하고자 하는 멤브레인 을 이용한 제습공조시스템이다.⁽²⁾

3. 멤브레인 설치 및 제습량 측정

Table 1, Fig. 2는 멤브레인(중공사막)이 설치된 제습시스템 카트리지의 기본적인 시스템 구성을 나타낸다. 현재 연구 대상인 멤브레인 시스템은 실험실에 설치된 덕트 내부에 13개의 모듈을 설치하고 모듈 당 1,300개의 멤브레인을 수직 또는 수평적으로 적층하는 구조로 구성하였다. 멤브레인의 양측단은 헤더부분을 설치하여 멤브레인 내부의 진공상태를 유지할 수 있도록 하였다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 멤브레인에서 수분을 채취하기 위해 멤브레인의 헤더 부분과 연결된 진공펌프를 사용하며, 입구 압력은 1 bar(abs), 출구압력은 0.6 bar(abs), 0.7 bar(abs)로서 압력차는 각각 0.4 bar(abs), 0.3 bar(abs)의 차압이 작용하는 것으로 설정하였다. 구성된 시스템에서 1,000 CMH(0.333 kg/s)의 풍량으로 급기를 공급하였고 멤브레인을 이용한 제습량은 공급공기 1,000 CMH 당 제습량을 측정하였다.

측정된 제습량은 장기 성능 실험용 수분 자동 취득 장치를 이용하였다. 측정된 수분량은 절대습도의 감소량을 판단하기 위하여 시간당 제습량인 kg/h 단위를 기준으로 하였다.

1,000 CMH의 통과공기량을 대상으로 시간당 제습량을 측정된 결과 Case_1에서 공기온도 30℃, 공기습도 80%인 경우 멤브레인 내·외부 압력차가 0.4 bar(a)인

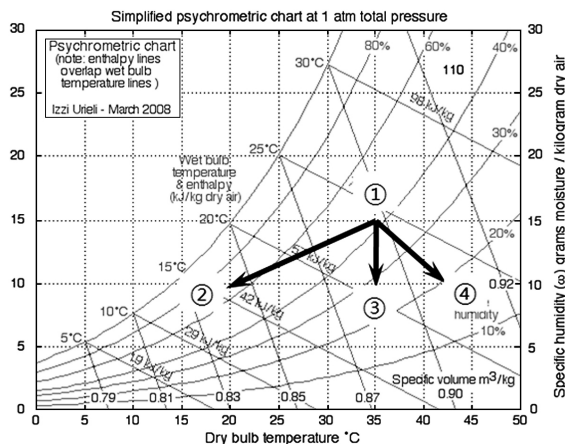


Fig. 1 Dehumidification methods in psychrometric chart.⁽²⁾

Table 1 Membrane cartridge system description

Parameter	Value
Size	536 W×320 D×396 H
Number of modules	13 EA
Number of membranes per module	1,200 EA
Inner diameter of membrane	450 μm
Outer diameter of membrane	685 μm
Porosity of membrane	60%



Fig. 2 Membrane cartridge system.

Table 2 Measurement conditions for Membrane cartridge system

Case	Temperature	Humidity	Pressure difference
Case_1	30 °C	80 %	0.1 bar(a)
Case_2	30 °C	60 %	0.1 bar(a)
Case_3	30 °C	80 %	0.2 bar(a)
Case_4	30 °C	80 %	0.3 bar(a)



Fig. 3 Experimental apparatus for membrane.



Fig. 4 Automatic moisture acquisition device.

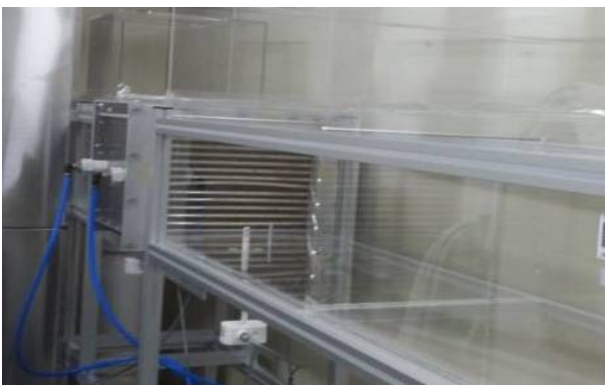


Fig. 5 Detail of dehumidification membrane part.

경우 0.280 kg/h의 결과를 나타냈다. 기타 Case_2, 3, 4의 경우는 각각 0.167 kg/h, 0.374 kg/h, 0.396 kg/h의 제습량을 나타냈다.

다양한 조건에서의 성능 평가에 따른 결과를 기준으로 시뮬레이션을 실시할 필요가 있으나 현재 기존 외기 조건으로서 가장 발생확률 및 빈도가 높을 것으로 예상되는 Case_1을 기준으로 추가적인 적용 효과 등을 검토하였다.

4. 분리막 제습시스템의 에너지 절감효과

측정된 결과를 기준으로 분리막을 이용한 제습공조시스템을 실질적으로 건축물에 적용하는 경우에 대하여 에너지 시뮬레이션을 실시하였다. 에너지 시뮬레이션은 상용화 프로그램인 Trnsys를 이용하였다.

에너지 시뮬레이션을 위한 대상 건축물로서 용도는 사무소, 크기는 30,000 W×35,000 D×4,200 H인 규모를 가상적으로 가정하였다. 적용 지방은 서울지방 기상데이터를 기준으로 적용하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 Trnsys 상에서 기존의 일반적인 공조시스템을 구성한 방식과 외기도입구에서 분리막을 이용한 제습공조시스템을 설치한 경우에 대하여 각각의 계산모듈을 나타낸 것이다.

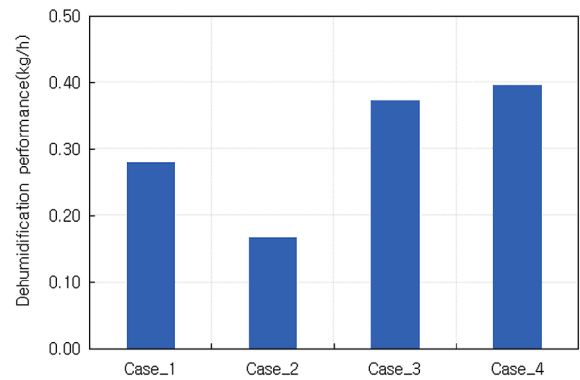


Fig. 6 Dehumidification performance test result.

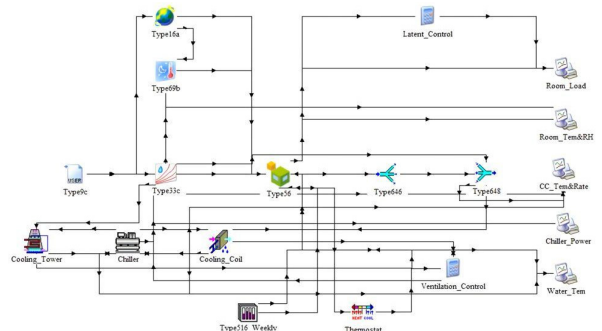


Fig. 7 Conventional dehumidification system.

Table 3은 냉방부하 부하 계산에서 적용되는 주요 인자를 나타낸 것이다. 계산기간은 현재 적용되는 시스템이 여름철 냉방 시 적용되는 제습공조시스템이므로 6월 1일부터 8월 31일의 여름철을 계산 대상으로 설정하였다. 또한 일반 업무시설을 가정하였으므로 주중 사용 스케줄은 오전 8시부터 18시까지를 계산 대상으로 설정하였다.

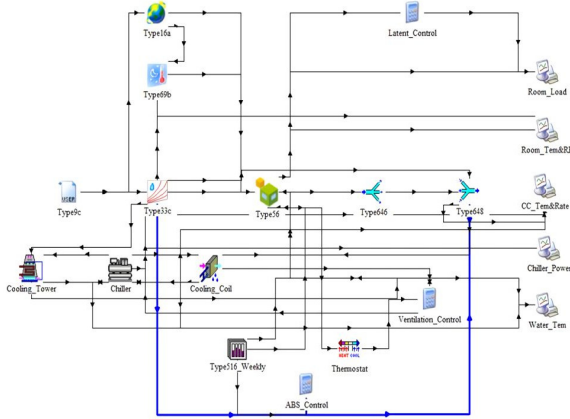


Fig. 8 Membrane dehumidifying system.

Table 3 The parameter of cooling load

The parameter of Cooling load		value
Person	$1,050 \times 0.2 = 210$	$210 \times \text{schedule}$
Equipment	$15 \text{ W/m}^2 = 54 \text{ kJ/m}^2$	Radiation-13.5 Convection $-40.5 \times \text{schedule}$
Lighting	$20 \text{ W/m}^2 = 72 \text{ kJ/m}^2$	Radiation-36 Convection $-36 \times \text{schedule}$
Control condition	DB 26°C, RH 60%	POWER-unlimited
Schedule	June 1~August 31	8:00~18:00 Monday~Friday

Table 4 The parameter of dehumidifying process

The parameter of dehumidifying process		value
Absolute humidity reduction	exist-Outair	$0.00023 \text{ kg/kg}'$
Inlet flow rate		$37,926 \text{ kg/h}$
Divider	Fraction of flow to outlet 1-RA	0.8
	Fraction of flow to outlet 2-OA	0.2

Table 4는 분리막 제습프로세스 상에서 기준값을 나타낸 것이다. 기존 공조시스템에서는 외기를 그대로 도입하는 반면 분리막을 이용하는 제습공조시스템에서는 3. 멤브레인 설치 및 제습량 측정에서의 결과 중 Case_1을 기준으로 도입외기 $1,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1,200 \text{ kg/h}$)당 0.28 kg/h 로 측정된 제습량을 적용하여 외기부하가 감소되는 것으로 Trnsys에서 계산모듈을 작성하고 시뮬레이션을 실시하였다. Table 5, Table 6, Table 7은 각각 시스템 시뮬레이션에 적용된 냉동기의 기본사양, 냉각탑 및 냉수코일의 기본 사양을 나타낸 것이다. 냉동기는 전기를 이용한 압축식 냉동기를 기준으로 설정하였고 COP는 4.5를 적용하였다.

실질적으로 건축물에 분리막을 이용한 제습공조시스템을 적용하는 경우의 에너지 시뮬레이션을 실시한 결과 현열 부하량은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 도입외기의 잠열부하 부분에 한정하여 시스템 설치 모듈을 작성하였으므로 나타난 결과이다.

Table 5 The chiller description

Quantity	1 EA	
Capacity(USRT)	33	
Evaporator	Flow rate[LPM]	362
	Temperature difference[°C]	5
Condenser	Flow rate[LPM]	452
	Temperature difference[°C]	5
Power(kW)	31.4	

Table 6 The cooling tower description

Quantity	1 EA	
Capacity(USRT)	35	
Cooling water	Flow rate[LPM]	362
	Temperature difference[°C]	5
Blower	Flow rate[LPM]	504
	Power[kW]	5.52

Table 7 The cooling coil description

Quantity	1 EA	
Chilled water	Flow rate[LPM]	362
	Inlet temperature[°C]	7
	Onlet temperature[°C]	12
	Outlet air Temperature[°C]	16

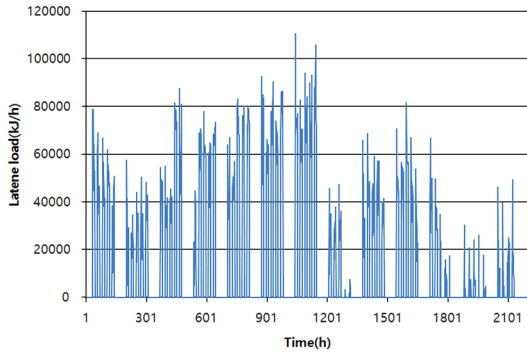


Fig. 9 Latent heat load of conventional system.

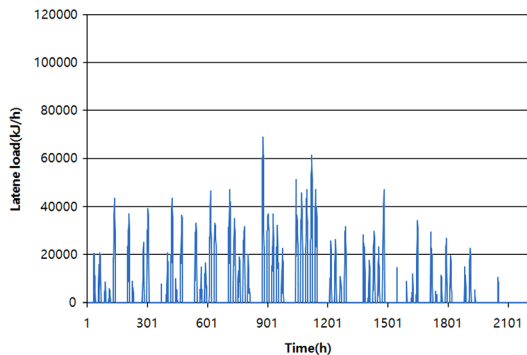


Fig. 10 Latent heat load of dehumidifying system.

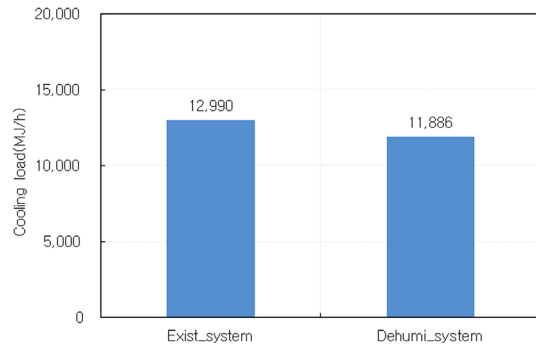


Fig. 11 Total cooling load.

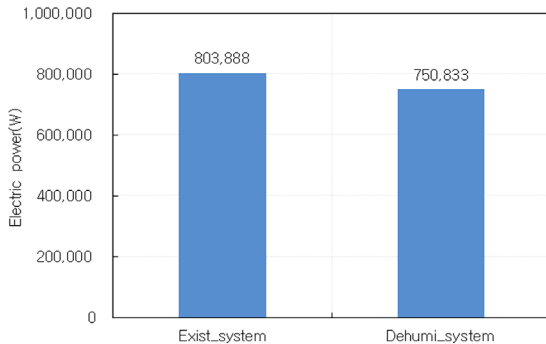


Fig. 12 Power consumed by electric chiller.

Fig. 9와 Fig. 10은 계산 대상 기간 전체에서의 잠열 부하 분포를 나타낸 것이다. 전반적으로 분리막 제습공조시스템을 적용하는 경우가 상당히 낮은 분포를 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 잠열 부하량의 계산 기간 전체 합계는 기존 시스템의 경우 2,886 MJ/h로 예측되었으며, 분리막 제습시스템을 적용하는 경우 1,763 MJ/h로 나타나 잠열부하량 자체는 약 38.9% 정도의 절감효과를 나타낼 수 있는 것으로 예측되었다.

Fig. 11은 전체적인 전열부하에 대한 분석 결과를 나타낸다. 전열 부하량은 기존 시스템이 12,990 MJ/h, 분리막 제습공조시스템의 경우가 11,886 MJ/h의 값으로 나타나 에너지 소비량은 8.5%가 감소하는 것으로 나타났다. 냉동기 전력 소비량은 COP = 4.5인 일반적 성능으로 가정하였고 이 경우 전기에너지 소비량은 6.6% 감소되는 것으로 나타났다. 그러나 더욱 높은 COP를 가진 열원기기를 가정할 경우 더욱 높은 에너지 절감효과를 나타낼 것으로 예측되었다.

5. 결 론

본 연구는 분리막을 이용한 제습공조시스템을 실제적으로 일반 건축물에서 적용하는 경우에 대한 에너지 절감효과 예측을 목표로 기존 실험결과를 기초로 하여 시뮬레이션을 수행하였고 이를 통하여 적용 시 에너지 절감효과를 예측할 수 있었다.

- (1) 1,000 CMH의 통과공기량을 대상으로 시간당 제습량을 측정된 결과 공기온도 30°C, 공기습도 80%인 경우 멤브레인 내외부 압력차가 0.4 bar(a)인 경우 0.280 kg/h의 결과를 나타냈다. 기타의 경우는 각각 0.167 kg/h, 0.374 kg/h, 0.396 kg/h의 제습량을 나타냈다.
- (2) 실질적으로 건축물에 분리막을 이용한 제습공조시스템을 적용하는 경우의 에너지 시뮬레이션을 실시한 결과 현열 부하량은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 도입외기의 잠열부하 부분에 한정하여 시스템 설치 모듈을 작성하였으므로 나타난 결과이다.
- (3) 분리막 제습공조시스템을 적용하는 경우 잠열 부하량의 계산 기간 전체 합계는 기존 시스템의 경우 2,886 MJ/h로 예측되었으며, 분리막 제습시스템을 적용하는 경우 1,763 MJ/h로 나타나 잠열부하량 자체는 약 38.9% 정도의 절감효과를 나타낼 수 있는 것으로 예측되었다.
- (4) 전열 부하량은 기존 시스템이 12,990 MJ/h, 분리막 제습공조시스템의 경우가 11,886 MJ/h의 값으로 나타나 에너지 소비량은 8.5%가 감소하는 것으로 나타났다. 냉동기 전력 소비량은 COP = 4.5인 일반적 성능으로 가정하였고 이 경우 전기에너지 소비량은 6.6% 감소되는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 2016년도 한국에너지기술연구원 주요사업의 지원(과제번호 B6-2402)으로 수행한 연구 결과입니다.

References

1. Jung, Y. H. and Park, S. R., 2015, A Study on the Air Flow Analysis for the Internal Space of the Dehumidifying Air-conditioning System with Membrane, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, pp. 620-625.
2. Jang, J. C., Park, S. R., Kang, E. C., and Jung, S. Y., 2015, A Validity Study on the Dehumidification and Air Conditioning System using Membrane, Proceeding of The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 964-965.
3. Rhim, J. W., Hwang, H. Y., Ha, S. Y., and Nam, S. Y., 2004, Application and Development of Dehumidification Systems-Focusing on Membrane Dryer, Membrane Journal, Vol. 14, No. 1, pp. 1-17.
4. Kim, M. H., Jin J. T., Han, S. K., Park, J. Y., and Jung, J. W., 2012, Development of liquid desiccant and evaporative cooling based 100% outdoor air system, Proceeding of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, pp. 85-88.