

Havalandırmanın çoklu-split bir iklimlendirme sisteminin performansına etkisi

Tolga Nurettin AYNUR*, Nilüfer EĞRİCAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Hem evsel, hem de ticari binalarda konforlu ve sağlıklı bir yaşam alanı oluşturmak için, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri sıklıkla istenmekte ve uygulanmaktadır. Çoklu-split Değişken Soğutkan Akışlı (DSA) sistem olarak da bilinen bir dış ve birden fazla iç ünitelerden oluşan çoklu-split iklimlendirme sistemleri hem evsel, hem de ticari binalarda kendine yer bulmaya başlamıştır. Bu tip sistemlerde dış ünite içinde, içlerinden biri değişken hızlı kompresör olmak üzere iki ya da üç kompresör bulunmaktadır. Genel olarak, iç ortam soğutma ve ısıtma yüklerine bağlı olarak azalan ve artan sistem soğutkan kütleli debi ihtiyacı, değişken hızlı kompresörün frekansı değiştirilerek sağlanmaktadır. Böylece hassas sistem kapasite ayarı yapılabilmektedir. Değişken hızlı kompresöre ek olarak, her iç üniteye bir Elektronik Kısıtlanma Vanası (EKV) bulunmaktadır. Bu EKV'ler sayesinde, her iç ünitelerden geçen soğutkan kütleli debisi, termostat sıcaklığını sağlayacak şekilde ayarlanabilmektedir. Çoklu-split DSA sistemleri iklimlendirme yapabilmelerine rağmen, iç ortama, yönetmeliklerde belirlenen hususlar çerçevesinde taze hava sağlayamamaktadırlar. Bu nedenden dolayı da, binalara çoklu-split DSA sistemi ile beraber, havalandırma sistemleri de takılması gerekmektedir. Böylece, çoklu-split DSA sistemleri ile havalandırma sistemlerinin birleştirilmesi, gerçek uygulamalarda önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, ısı geri kazanım havalandırma sistemi ile birleştirilmiş bir çoklu-split DSA sisteminin soğutma sezonundaki saha, değişken dış hava koşulları altında deneysel olarak incelenmiş ve havalandırmanın çoklu-split DSA sisteminin performansına (iç ortam sıcaklık kontrolü, dış ünite enerji tüketimi, sistem verimi) etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çoklu-split, değişken soğutkan akış, iklimlendirme, havalandırma.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Tolga Nurettin AYNUR. tolga.aynur@gmail.com; Tel: (532) 487 38 83.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Experimental and simulation evaluation of a multi-split type air conditioning system under steady-state and transient conditions" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 22.02.2008 tarihinde dergiye ulaşılmış, 16.04.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Effect of the ventilation on the performance of a multi-split air conditioning system

Extended abstract

Air conditioning and ventilation for residential and commercial buildings are highly demanded due to concerns on thermal comfort and healthy environment of the living space in modern society. Multi-split air conditioning system, featuring variable refrigerant flow technology, so-called multi-split variable refrigerant flow system is finding its way in residential and commercial buildings. The multi-split variable refrigerant flow systems have one outdoor which is connected to several indoor units with different configurations and capacities. The outdoor unit consists of two or three compressors, one of which is variable speed compressor driven by an inverter frequency drive. The precise capacity control is provided by this inverter driven compressor and individual electronic expansion valves located in each indoor unit. Depending on the indoor cooling and heating loads, the required refrigerant mass flow rate is provided by varying the inverter frequency of the variable speed compressor, and electronic expansion valves are operated in such a way to keep the indoor temperature at the indoor thermostat set temperature.

The first multi-split variable refrigerant flow system was installed more than 20 years ago in Asia. Due to the long history of this technology, the multi-split variable refrigerant flow systems have been widely studied experimentally and numerically. Previous studies mostly focused on control strategies of the variable speed compressor, and electronic expansion valves of multi-split systems. It was observed that the frequency of the compressor and the electronic expansion valve openings of the indoor units should be controlled simultaneous. On the contrary, it was also claimed that the major control parameter was the electronic expansion valve opening.

In addition to studies related to the control strategy, the performance of the multi-split type systems has been investigated. One of the main drawbacks of these multi-split variable refrigerant flow systems is that they can not provide any ventilation to the indoors which is required by the American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers (ASHRAE) regulations. The multi-split variable refrigerant systems condition the indoor air by circulating it through their indoor units without adding any fresh air. That's why; additional ventilation systems should be installed to the buildings. Thus; integration of the multi-split variable refrigerant

flow system and the ventilation system gains importance in actual applications.

Despite large number of previous studies, there is not an actual operational study under varying outdoor conditions which considered the effect of the ventilation on the performance of the multi-split variable refrigerant flow system.

In this study, a field performance evaluation of a multi-split variable refrigerant flow system integrated with a heat recovery ventilation system is investigated experimentally under varying outdoor conditions in the cooling season. The effect of the ventilation on the performance (indoor temperature control, outdoor unit energy consumption, efficiency) of the multi-split variable refrigerant flow system is investigated. Two multi-split variable refrigerant flow systems and four heat recovery ventilation units were installed in an actual office suite for the field performance tests. The multi-split variable refrigerant flow systems were operated either stand-alone or in conjunction with heat recovery ventilation units during the experiments. Both systems, as well as indoor and outdoor environments were fully instrumented for measurement and comparison purposes. Parametric tests were performed in the cooling seasons of 2006 and 2007.

It was found from the experimental evaluation that for both cases; ventilation assisted and non-ventilated multi-split variable refrigerant flow systems, they could maintain the set temperature of 25°C. It was also observed that heat recovery ventilation units increased the indoor humidity ratio by around 0.002 kg/kg during the ventilation, and according to the ASHRAE summer comfort zone, the ventilation assisted multi-split variable refrigerant flow system provided relatively uncomfortable indoor environment compared to the non-ventilated case. It was also obtained that, as expected due to the additional ventilation cooling load, the ventilation assisted multi-split variable refrigerant flow system consumed around 18% higher energy compared to the non-ventilated multi-split variable refrigerant flow system. It was found that the ventilation system did not affect the efficiency of the multi-split variable refrigerant flow. Overall, it was concluded that even though the ventilation system did not affect the indoor temperature control and the efficiency of the multi-split variable refrigerant flow system, it did affect the indoor thermal comfort and energy consumption of the outdoor units.

Keywords: Multi-split, variable refrigerant flow, air conditioning, ventilation.

Giriş

Hem evsel, hem de ticari binalarda konforlu ve sağlıklı bir yaşam alanı oluşturmak için, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri sıklıkla istenmekte ve uygulanmaktadır.

Çoklu-split Değişken Soğutkan Akışlı (DSA) sistem olarak da bilinen bir dış ve birden fazla iç ünitelerden oluşan çoklu-split iklimlendirme sistemleri hem evsel, hem de ticari binalarda kendine yer bulmaya başlamıştır. Bu tip sistemlerde dış ünite içinde, içlerinden biri değişken hızlı kompresör olmak üzere iki ya da üç kompresör bulunmaktadır. Genel olarak, iç ortam soğutma ve ısıtma yüklerine bağlı olarak azalan ve artan sistem soğutkan kütleli debi ihtiyacı, değişken hızlı kompresörün frekansı değiştirilerek sağlanmaktadır. Böylece hassas sistem kapasite ayarı yapılabilmektedir. Değişken hızlı kompresöre ek olarak, her iç üniteye bir Elektronik Kısıtlama Vanası (EKV) bulunmaktadır. Bu EKV'ler sayesinde, her iç ünitelerden geçen soğutkan kütleli debisi, termostat sıcaklığını sağlayacak şekilde ayarlanabilmektedir.

İlk çoklu-split DSA sistemi, yaklaşık 24 yıl önce Asya'da uygulanmıştır (Goetzler, 2007). Uzun geçmişe sahip olmasından dolayı, bu tip sistemler hem deneysel, hem de sayısal olarak geniş şekilde incelenmiştir. Xia ve diğerleri (2002), Masuda ve diğerleri (1991), Hai ve diğerleri (2006), Hu ve Yang (2005), Choi ve Kim (2003), Zhou ve diğerleri (2007a), Zhou ve diğerleri (2007b) ve Watanabe ve diğerleri (2004) deneysel olarak, Wu ve diğerleri (2005), Xia ve diğerleri (2004), Shi ve diğerleri (2003), Park ve Min (2001), Zhou ve diğerleri (2007c), Shah ve diğerleri (2004), Xia ve diğerleri (2003), Shao ve diğerleri (2008) ve Shi ve diğerleri (2008) sayısal olarak çoklu-split DSA sistemlerini incelemişlerdir.

Önceki çalışmalar genel olarak değişken hızlı kompresörün ve EKV'lerin kontrol stratejileri üzerinedir. Değişken hızlı kompresörün ve EKV'lerin aynı anda ve beraber kontrolü, etkin kontrol yöntemi olarak ön görülmektedir (Masuda vd., 1991; Hu ve Yang, 2005; Choi ve Kim, 2003; Wu vd., 2005; Shi vd., 2003; Shah vd., 2004; Lin ve Yeh, 2007). Buna karşın, ana

kontrol parametresinin sadece EKV açıklığı olduğu da iddia edilmektedir (Park ve Min, 2001). Kontrol strateji çalışmalarına ek olarak, sistem performans incelemeleri de yapılmıştır (Han vd., 2006; Shi vd., 2003; Park ve Min, 2001).

Geçmişte yapılan çok sayıda çalışmaya rağmen, Aynur ve diğerleri (2006) çalışması dışında gerçek bir çoklu-split DSA sistemi uygulamasına rastlanmamıştır. Çoklu-split DSA sistemleri iklimlendirme yapabilmesine rağmen, iç ortama, yönetmeliklerde belirlenen hususlar çerçevesinde taze hava sağlayamamaktadırlar. Bu nedenden dolayı da, binalara çoklu-split DSA sistemi ile beraber, havalandırma sistemleri de takılmaktadır (Goetzler, 2007). Böylece çoklu-split DSA sistemleri ile havalandırma sistemlerinin birleştirilmesi, gerçek uygulamalarda önem kazanmaktadır. Ancak Aynur ve diğerleri (2006) çalışmalarında havalandırmanın, çoklu-split DSA sisteminin performansına etkisini incelememişlerdir.

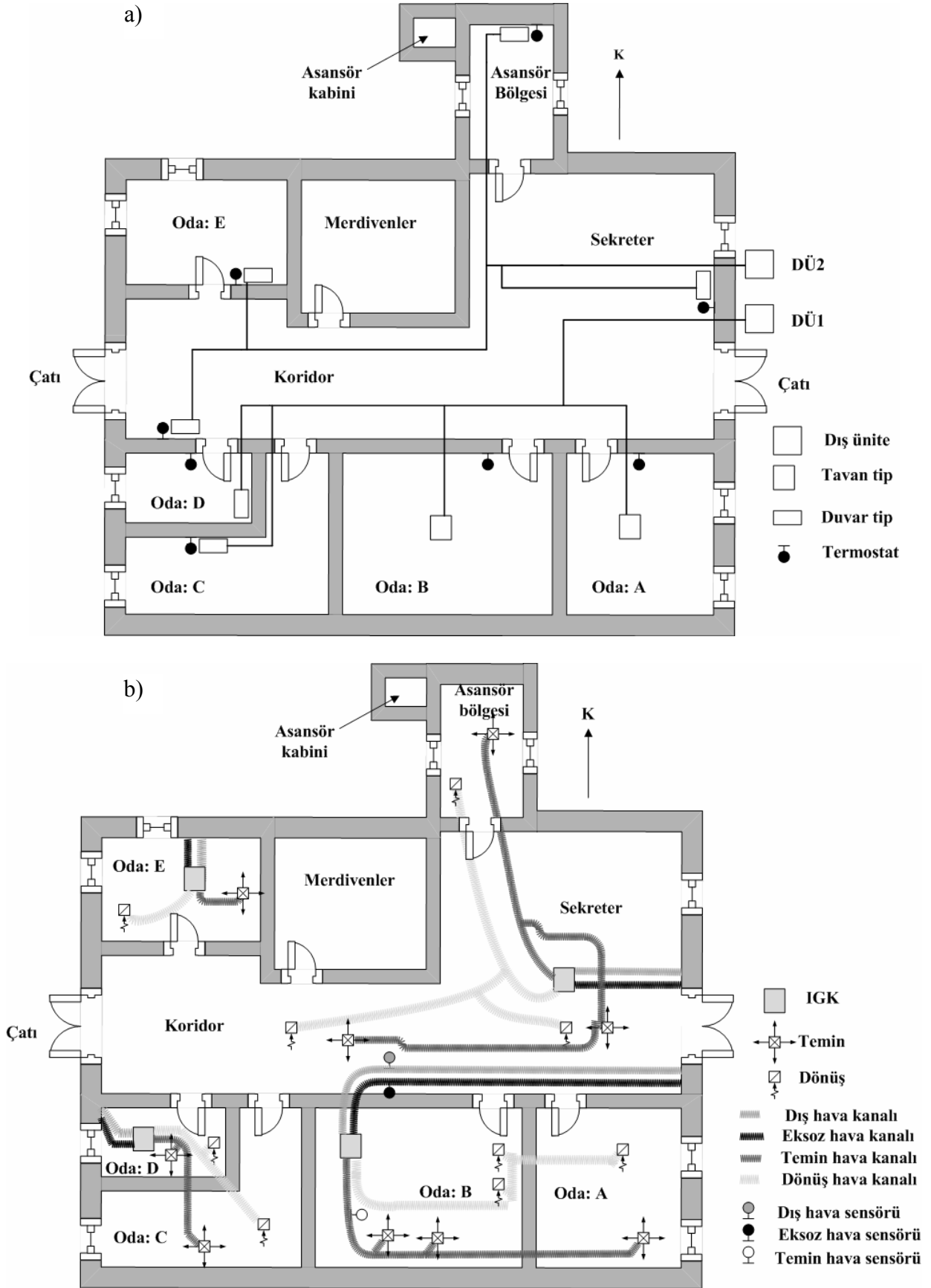
Bu çalışmada, Isı Geri Kazanım (IGK) havalandırma sistemi ile birleştirilmiş bir çoklu-split DSA sisteminin soğutma sezonundaki saha performansı, değişken dış hava koşulları altında deneysel olarak incelenmiş ve havalandırmanın çoklu-split DSA sisteminin performansına etkisi araştırılmıştır.

Deney ve ölçüm sistemleri

İki çoklu-split DSA sistemi ile dört IGK ünitesi, saha performans testleri için "University of Maryland, College Park"taki "Glenn Martin" binasında, gerçek bir ofis katına yerleştirilmiştir.

Çoklu-split DSA sistemleri ile IGK ünitelerinin ofis katındaki yerleşim planları Şekil 1a ve Şekil 1b'de sırası ile görülmektedir.

Şekil 1a'da görüldüğü üzere, Dış Ünite 1 (DÜ1) ve odalar A, B, C ve D'ye yerleştirilmiş olan tavan ve duvar tipi iç ünitelerden oluşan sistem 1 ofis katının güney tarafında, Dış Ünite 2 (DÜ2) ve asansör bölgesi, sekreter bölgesi, koridor ve oda E'ye yerleştirilen duvar tipi iç ünitelerden oluşan sistem 2, ofis katının kuzey tarafında çalışmaktadır.



Şekil 1. Ofis kat yerleşim planı, (a) çoklu-split DSA sistemleri, (b) IGK üniteleri

DÜ1 ve DÜ2 birbirinin aynı olup, içlerinde biri değişken, diğeri sabit hızlı iki kompresör bulunmaktadır. İç ortam sıcaklık kontrolleri, Şekil 1a'da görüldüğü gibi, her bölgeye yerleştirilmiş olan termostatlar sayesinde sağlanmaktadır. Dış ünitelerin ve iç ünitelerin üretici firma katalog bilgileri Tablo 1 ve Tablo 2'de sıra ile verilmiştir.

Tablo 1. Dış ünite katalog bilgileri

Dış Ünite	
Soğutma kapasitesi, kW	28.13
Kompresör tipi	Scrol tip
Kapasite kontrolü, %	14 ~ 100
Soğutkan tipi	R410A

Tablo 2. İç ünite katalog bilgileri

	Bölge Hacimleri, m ³	İç Ünite Tipi	Soğutma Kapasitesi, kW
Oda: A	55.1	Tavan	7.1
Oda: B	73.4	Tavan	10.5
Oda: C	62.4	Duvar	7.1
Oda: D	29.4	Duvar	3.5
Asansör	31.3	Duvar	3.5
Sekreter	74.4	Duvar	7.1
Koridor	80.7	Duvar	5.3
Oda: E	51.4	Duvar	7.1

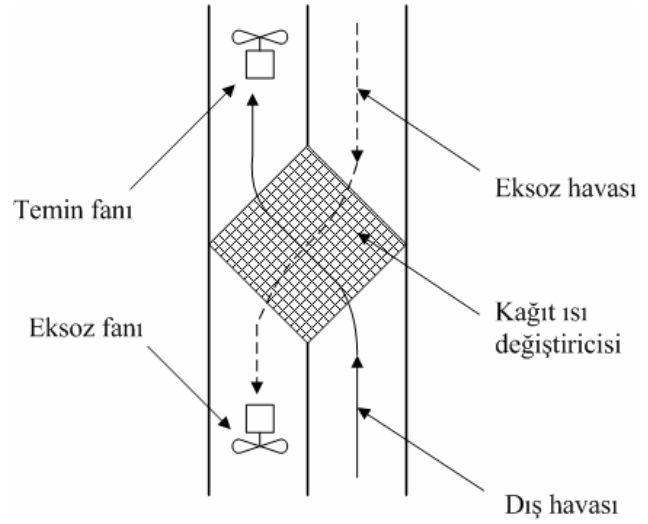
Şekil 1b'de görüldüğü gibi, IGK1; odalar A ve B'ye, IGK2; odalar C ve D'ye, IGK3; asansör, sekreter ve koridor bölgelerine ve son olarak da IGK4; E odasına taze hava sağlamaktadır. IGK üniteleri, Şekil 2'de görüldüğü üzere, kağıt ısı değiştiricisi ve temin ile eksoz hava fanlarından oluşmaktadır. IGK'lerin dizayn hacimsel hava debileri Tablo 3'te verilmiştir.

Değerlendirmeler ve karşılaştırmalar için, hem çoklu-split DSA, hem de IGK sistemi sensörlerle donatılmıştır. Sistemlere ek olarak, iç ve dış ortam koşulları da kaydedilmiştir.

Çoklu-split DSA sisteminde, soğutkan sıcaklık ölçümleri için T-tip termal çiftler kullanılmıştır. Termal çiftler hem iç, hem de dış ünitelerin çeşitli yerlerinde soğutkan boruları üzerine yerleştirilmiş ve üzerleri yalıtım malzemesi ile kap-

lanmıştır. Soğutkan basınç ölçümleri için iki basınç sensörü kullanılmıştır. Sensörler, kompresör basma ve emme hattına yerleştirilmiştir. Dış ünitelerin harcadıkları güçler, iki ayrı watt metre ile ölçülmüştür.

Deneylede iç ortam sıcaklığı 25°C olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2. IGK şematik çizimi

Tablo 3. IGK dizayn hacimsel hava debileri

IGK	Hacimsel hava debisi, m ³ /s
IGK1	0.139
IGK2	0.069
IGK3	0.139
IGK4	0.069

Dış ortam koşullarının ofis katı çevresinde sabit olduğu kabul edilirse, IGK'ların aynı dönüş ve taze hava şartlarında çalışmaları kabul edilebilir. Bu nedenle sadece IGK1 sıcaklık ve bağıl nem sensörleri ile donatılmıştır. Sensör yerleri Şekil 2'de görülmektedir. IGK'ların harcadıkları güçler ile iç ünitelerin harcadıkları güçleri ölçmek için ayrı bir watt metre kullanılmıştır. İç ortam koşulları için, birer T-tip ısı çifti, termostat yanına yerleştirilmiştir. Ek olarak, birer duvar tipi bağıl nem sensörü, T-tip ısı çiftinin yanına yerleştirilmiştir. Dış ortam koşullarını ölçmek için, yine bir T-tip ısı çifti, ışınım ve yağmura karşı korumalı olarak dış ortama yerleştirilmiştir. Yanına da dış ortam tipi bir bağıl nem

sensörü konmuştur. Deneysel çalışma süresince kullanılan ölçüm sistemlerinin hassasiyetleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Ölçüm sistemlerinin hassasiyetleri

Sensör	Hassaslık
T-tip ısı çift	±0.5°C
Basma tarafı için basınç sensörü	±83kPa
Emme tarafı için basınç sensörü	±34kPa
İç ortam bağıl nem sensörü	±%3
Dış ortam bağıl nem sensörü	±%2
IGK için bağıl nem sensörleri	±%2
Dış üniteler için watt metre	±%0.5 (tüm ölçüm aralığı)
İç üniteler ve IGK’ler için watt metre	±%0.2 (ölçüm)

Sonuç olarak, havalandırmanın çoklu-split DSA sistemi üzerine olan etkilerini belirlemek için, çoklu-split DSA sistem hem tek başına, hem de havalandırma sistemi ile birlikte çalıştırılmıştır. Pazartesi günleri çoklu-split DSA sistemi IGK’ler ile beraber çalıştırılmıştır. Salı günleri ise, çoklu-split DSA sistemi havalandırmasız olarak çalıştırılmıştır. Parametrik deneyler sabah saat 7’den gece yarısına kadar sürdürülmüştür. 2006 ve 2007 soğutma dönemlerinde deneysel bilgi toplanmıştır.

Değerlendirme metodu

Kompresör performans haritaları, soğutkan debisi belirlemede literatürde çokça kullanılmaktadır (Wu vd., 2005; Park ve Min, 2001; Shao vd., 2004). Bu nedenle, üretici firmadan elde edilen kompresör performans haritası bu çalışmada da soğutkan debisi belirlemede kullanılmıştır. Performans haritasına göre soğutkan debisi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\dot{m}_T = \dot{m}_T(T_c, T_e, T_{suc}, f, STN_{sta}) \quad (1)$$

T_c, T_e, T_{suc} : Sırası ile yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve kompresör emme sıcaklıkları (°C), f : Değiş-

ken hızlı kompresörün hızı (Hz), STN_{sta} = Sabit hızlı kompresörün çalışma durumudur.

Her iç üniteden geçen soğutkan debisi için literatürde EKV’sı korelasyonlarından yararlanılmaktadır (Hu ve Yang, 2005; Wu vd., 2005; Park ve Min, 2001; Shah vd., 2004; Xia vd., 2003; Lee vd., 2006). Bu çalışmada da aşağıda belirtilmiş EKV’sı korelasyonu kullanılmıştır.

$$\dot{m}_i = c_D \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho} \quad (2)$$

c_D : Vana katsayısı, A : Vana alanı (m^2), ΔP : Vana basınç düşüşü (Pa), ρ : Soğutkan yoğunluğudur (kg/m^3).

İç ünitelerin kapasiteleri ve toplam soğutma kapasitesi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\dot{Q}_{C,i} = \dot{m}_i \cdot (h_{c,i,o} - h_{c,i,i}) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{C,T} = \sum_{i=1}^4 \dot{m}_i \cdot (h_{c,i,o} - h_{c,i,i}) \quad (4)$$

\dot{m}_i : Bireysel soğutkan kütleli debisi (kg/s), $h_{c,i,o}, h_{c,i,i}$: İç ünite soğutkan giriş çıkış entalpileri (J/kg), $\dot{Q}_{C,i}, \dot{Q}_{C,T}$: Sırasıyla bireysel ve toplam soğutma kapasitesi (W).

Çoklu-split DSA sisteminin ısı performansını, soğutma etkinlik katsayısı ile ifade edilmiştir.

$$CPF = \frac{\sum \dot{Q}_{C,T} \cdot t}{\sum \dot{W} \cdot t} \quad (5)$$

\dot{W} : Güç tüketimi (W)

Sistem performansına ek olarak, ısı konfor karşılaştırmaları için psikometrik diagramlar kullanılmıştır. Literatürde ofis uygulamalarında ölçülen kuru termometre sıcaklığı, etkin sıcaklık olarak kabul edilmektedir (Han vd., 2007; Newsham vd., 1997; Chamra vd., 2002; Amai

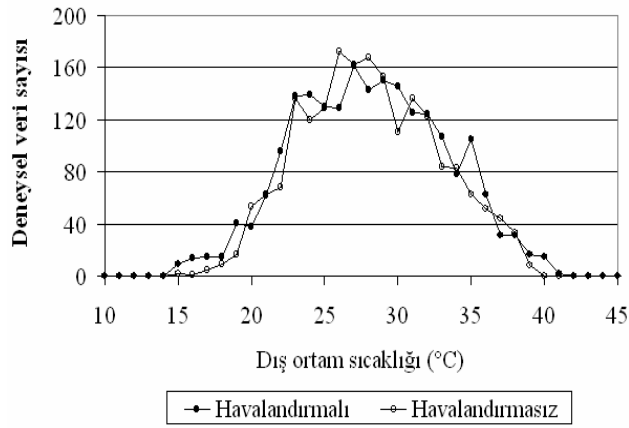
vd., 2007). Bu sayede, yaz ısı konfor bölgesi, psikometrik diagramların üzerine yerleştirilebilmektedir.

Deneysel çalışma sonuçları

Dış hava koşulu karşılaştırması

Deneyler önceden de belirtildiği üzere gerçek çalışma şartlarında yapılmıştır. Bu nedenden dolayı, havalandırmalı ve havalandırmasız deneylerin sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için, dış ortam koşullarının benzer olması gerekir. Şekil 3'te ve Şekil 4'te dış ortam karşılaştırmaları verilmiştir. Deneysel veriler 10'ar dakikalık ortalamalar şeklindedir.

Şekillerde görüldüğü üzere, deneyler benzer şartlarda yapılmıştır. Bu nedenden dolayı, iki çalışma durumu birbiri ile karşılaştırılabilir.



Şekil 3. Deneysel veri sayısının dış ortam sıcaklığı ile değişimi

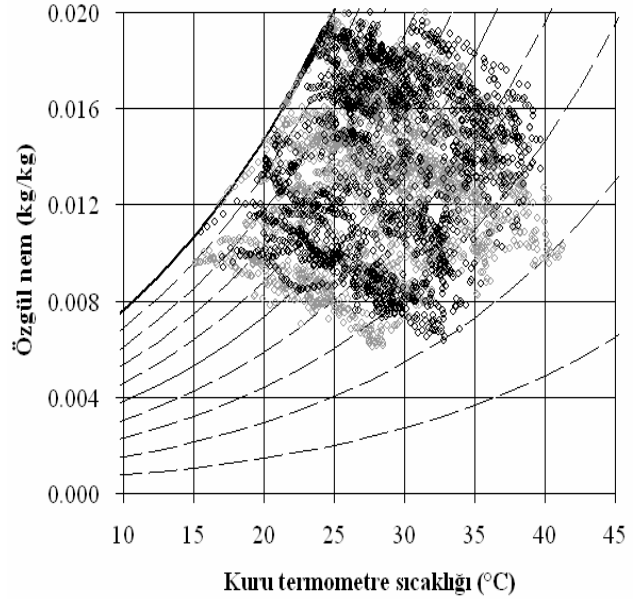
IGK sıcaklık ve nem değişimleri

Şekil 5'te IGK'nın temin sıcaklığının dış ortam koşulları ile değişimi verilmiştir. Deneysel veriler 10'ar dakikalık ortalamalar şeklindedir.

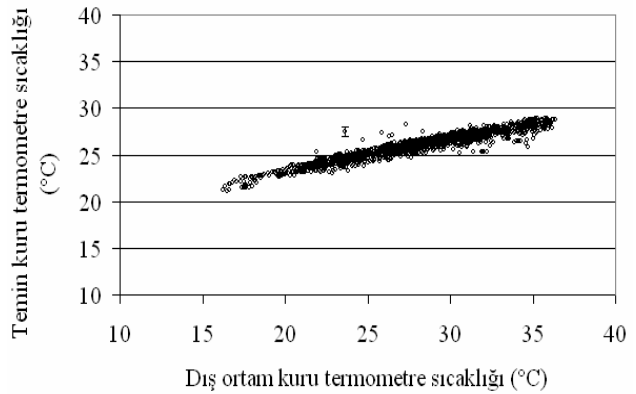
Şekil 5'te görüldüğü üzere, dış ortam sıcaklığı, dönüş havası ile olan IGK ile belirli bir sıcaklığa kadar soğutulabilmektedir ve bu soğutulmuş hava iç ortama gönderilmektedir. Böylece havalandırma ek soğutma yükü belirli oranda azalmaktadır.

Buna ek olarak, kağıt ısı değiştiricisi nedeniyle, dış ortam özgül neminin 0.0005 ila 0.004kg/kg

civarında azalarak iç ortama gönderildiği de belirlenmiştir.



Şekil 4. Havalandırmalı ve havalandırmasız testlerin dış ortam karşılaştırması (havalandırmalı o, havalandırmasız o)

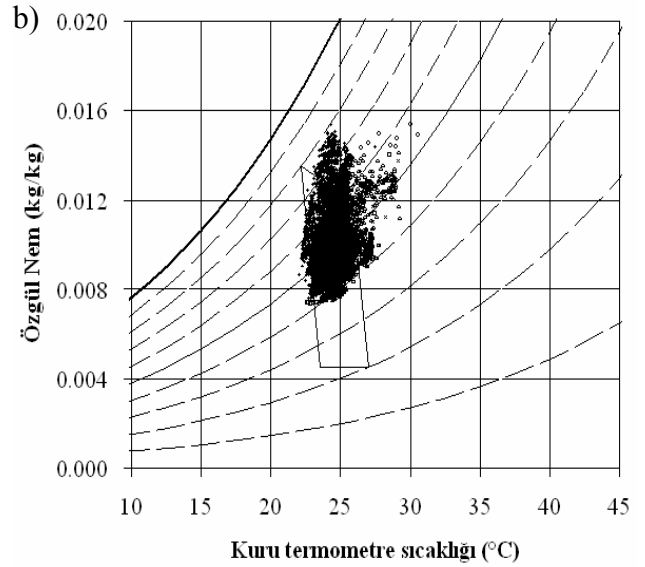
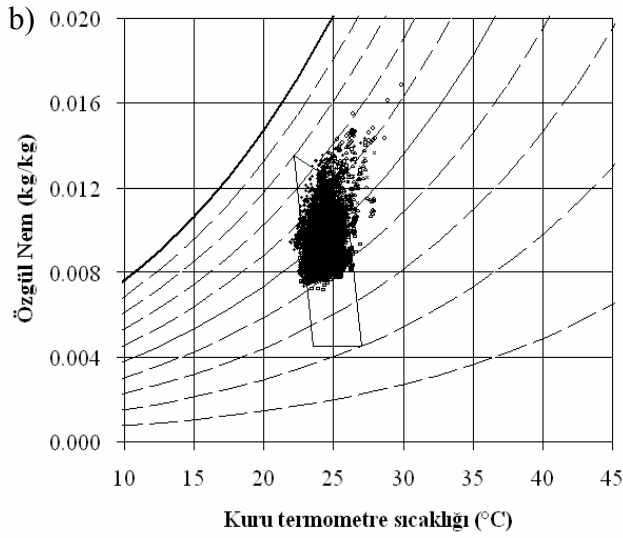
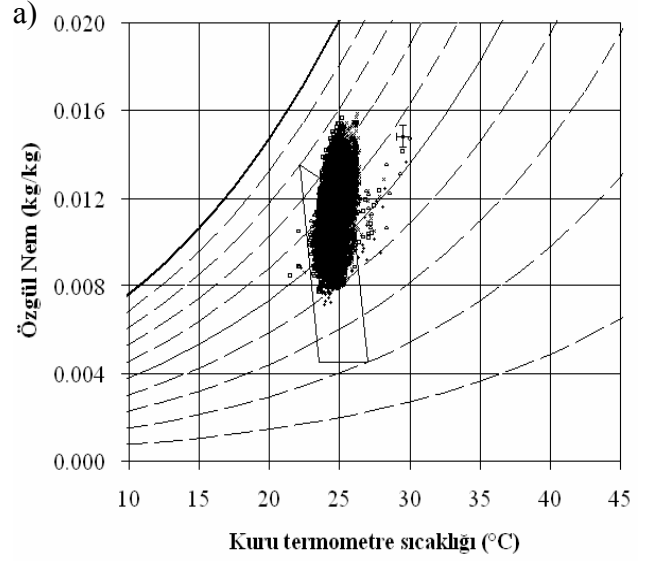
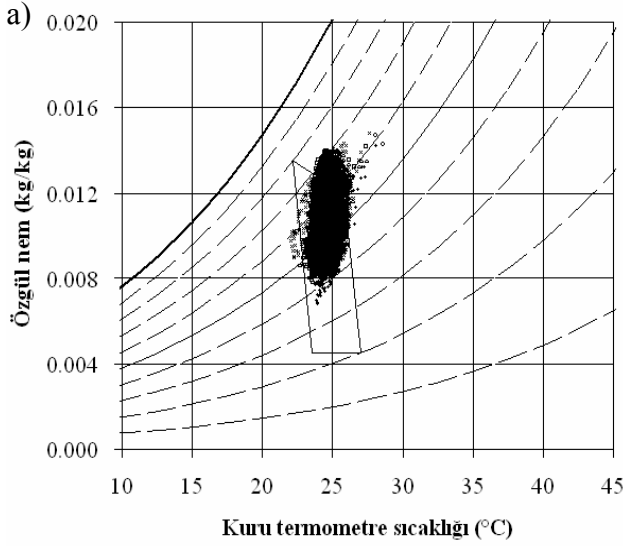


Şekil 5. IGK sıcaklık değişimi

Hem sıcaklıkta, hem de özgül nemde olan bu azalmalar, iç ortam soğutma yüküne etki etmekte ve dolayısıyla çoklu-split DSA sistemini etkilemektedir.

Havalandırmanın iç ortam konfor şartlarına etkisi

Şekil 6'da havalandırmasız sistem 1 ve sistem 2 bölgelerinin iç ortam koşulları görülmektedir. Deneysel veriler 10'ar dakikalık ortalamalar şeklindedir.



Şekil 6. Havalandırmasız sistem 1 ve sistem 2 iç ortam koşulları, (a) sistem 1, (b) sistem 2 (oda A o, oda B x, oda C □, oda D +, asansör bölgesi ◇, sekreter Δ, koridor x, oda E-)

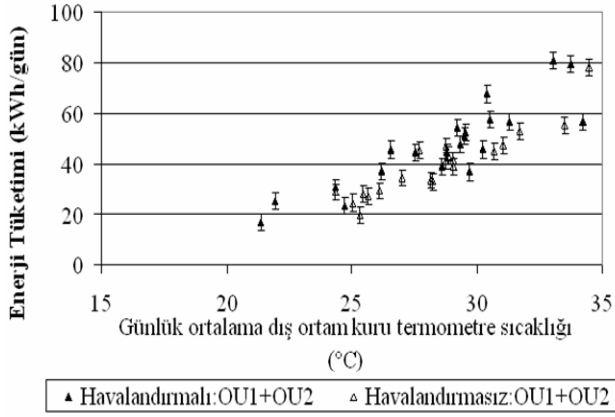
Şekil 7. Havalandırmalı sistem 1 ve sistem 2 iç ortam koşulları, (a) sistem 1, (b) sistem 2 (oda A o, oda B x, oda C □, oda D +, asansör bölgesi ◇, sekreter Δ, koridor x, oda E-)

Şekil 7’de havalandırmalı sistem 1 ve sistem 2 bölgelerinin iç ortam koşulları görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere, çoklu-split DSA sistemi, havalandırma sistemine bağlı olmaksızın iç ortam sıcaklığını belli bir bant aralığında sabit tutabilmektedir. Havalandırmanın en büyük etkisi, iç ortam özgül neminde görülmektedir. Havalandırmalı sistemde iç ortam nemi, havalandırmasızına göre yaklaşık 0.002kg/kg daha fazladır. ASHRAE konfor bölgesi dikkate alındığında, havalandırmasız sistemin ısıl konforunun, havalandırmalı sisteme göre daha iyi olduğu görülmektedir.

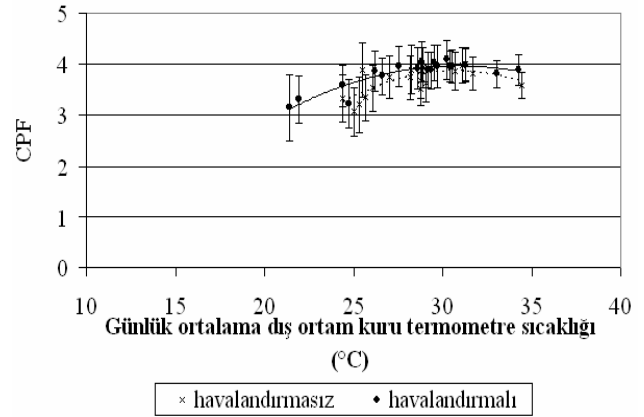
Havalandırmanın çoklu-split DSA sisteminin dış ünite enerji tüketimine etkisi

Şekil 8’de dış ünitelerin toplam günlük (deney süresi boyunca) enerji tüketimleri hem havalandırmalı, hem de havalandırmasız testler için verilmiştir.

Görüldüğü üzere, havalandırmaya bağlı olmaksızın, dış ünitelerin enerji tüketimleri, iç ortam sıcaklıklarını istenen termostat sıcaklıklarında tutmak için, artan dış ortam sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır.

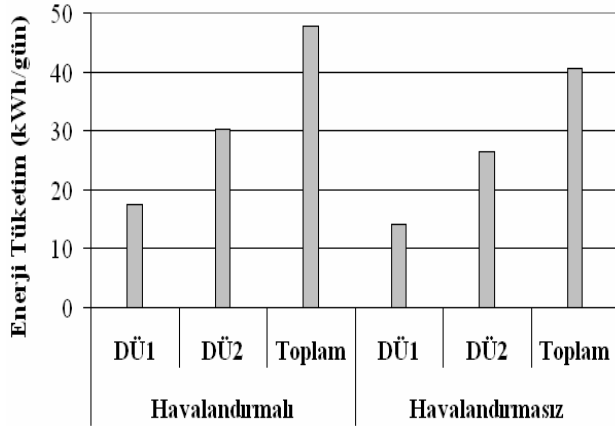


Şekil 8. Dış ünite enerji tüketiminin dış hava sıcaklığı ile değişimi



Şekil 10. Sistem verimi karşılaştırması

Şekil 9'da ise ortalama günlük (deney süresi boyunca) enerji tüketimleri verilmiştir. Beklendiği üzere, havalandırılmalı çalışmada, havalandırma ek soğutma yükü nedeniyle DÜ1 ve DÜ2, havalandırmasız çalışmaya göre sırası ile %24 ve %15 oranında fazla enerji tüketmektedir. Toplam sistem (DÜ1+DÜ2) için ise havalandırılmalı sistem yaklaşık %18 oranında daha fazla enerji tüketmektedir.



Şekil 9. Havalandırma ve havalandırmasız sistemlerin enerji tüketim karşılaştırması

Havalandırmanın çoklu-split DSA sisteminin verimine etkisi

Havalandırılmalı ve havalandırmasız çoklu-split DSA sisteminin veriminin dış ortam sıcaklığı ile değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, havalandırmanın, sistem verimi üzerine etkisi ihmal edilebilecek mertebededir.

Sonuçlar

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Havalandırmanın çoklu-split DSA sisteminin iç ortam sıcaklık kontrolüne etkisi yoktur.
- Havalandırma iç ortam özgül nemini arttırmakta ve ASHRAE yaz konfor bölgesine göre, ısıl konforu kötüleştirmektedir.
- Ek soğutma yükü nedeniyle, havalandırılmalı sistem, havalandırmasızına göre yaklaşık %18 daha fazla enerji harcamaktadır.
- Havalandırma sisteminin, çoklu-split DSA sisteminin verimine etkisi yoktur.

Kaynaklar

- Amai, H., Tanabe, S., Akimoto, T., Genma, T., (2007). Thermal sensation and comfort with different task conditioning systems, *Building and Environment*, **42**, 3955-3964.
- Aynur, T.N., Hwang, Y., Radermacher, R., (2006). Field performance measurements of a VRV AC/HP system, *Proceedings*, 11th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, West Lafayette, IN, US July 17-20.
- Chamra, L.M., Huynh, K., Hodge, B.K., (2002). Thermal comfort for sedentary and moderate activity levels, *ASHRAE Transactions*, **108**, 1, 428-434.
- Choi, J.M. ve Kim, Y.C., (2003). Capacity modulation of an inverter-driven multi-air conditioner using electronic expansion valves, *Energy*, **28**, 141-155.
- Goetzler, W., (2007). Variable refrigerant flow systems, *ASHRAE Journal*, April, 24-31.

- Hai, X.H., Jun, S., Hang, Z.Y., Bin, T.C., (2006). Design and research of the digital VRV multi-connected units with three pipes type heat recovery system, *Proceedings, 18th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue*, R018, 1-6.
- Han, J., Zhang, G., Zhang, Q., Zhang, J., Liu, J., Tian, L., Zheng, C., Hao, J., Lin, J., Liu, Y., Moschandreas, D.J., (2007). Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot humid climate of China, *Building and Environment*, **42**, 12, 4043-4050.
- Hu, S.C. ve Yang, R.H., (2005). Development and testing of a multi-type air conditioner without using AC inverters, *Energy Conversion and Management*, **46**, 373-383.
- Lee, G., Lee, I.H., Yoo, K.J., Kim, M.S., Ha, S., (2006). Analysis of the operational characteristics of multi system through steady state and dynamic simulation, *Proceedings, 18th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue*, R180, 1-7.
- Lin, J.L., Yeh, T.J., (2007). Identification and control of multi-evaporator air conditioning systems, *International Journal of Refrigeration*, **30**, 8, 1374-1385.
- Masuda, M., Wakahara, K., Matsuki, K., (1991). Development of a multi-system air conditioner for residential use, *ASHRAE Transactions*, **97**, 2, 127-131.
- Newsham, G.R., Tiller, D.K., Phil, D., (1997). A field study of office thermal comfort using questionnaire software, *ASHRAE Transactions*, **103**, 2, 3-16.
- Park, Y.C ve Min, M.K., (2001). Performance analysis on a multi-type inverter air conditioner, *Energy Conversion and Management*, **42**, 1607-1621.
- Shah, R., Alleyne, A.C., Bullard, C.W., (2004). Dynamic modeling and control of multi-evaporator air conditioning systems, *ASHRAE Transactions*, **110**, 109-119.
- Shao, S., Shi, W., Li, X., Chen, H., (2004). Performance representation of variable-speed compressor for inverter air conditioners based on experimental data, *International Journal of Refrigeration*, **27**, 805-815.
- Shao, S., Shi, W., Li, X., Yan, Q., (2008). Simulation model for complex refrigeration systems based on two-phase fluid network – Part I. Model development, *International Journal of Refrigeration*, **31**, 3, 490-499.
- Shi, W., Shao, S., Li, X., Peng, X., Yang, X., (2003). A network model to simulate performance of variable refrigerant volume refrigerant systems, *ASHRAE Transactions*, **109**, 2, 61-68.
- Shi, W., Shao, S., Li, X., Yan, Q., (2008). Simulation model for complex refrigeration systems based on two-phase fluid network – Part II: Model application, *International Journal of Refrigeration*, **31**, 3, 500-509.
- Watanabe, N., Tanaka, K., Hihara, E., (2004). Research on annual energy consumption of air conditioning equipment, *Transactions of the JSRAE*, **21**, 2, 157-165.
- Wu, C., Xingxi, Z., Shiming, D., (2005). Development of control method and dynamic model for multi-evaporator air conditioners (MEAC), *Energy and Conversion*, **46**, 451-465.
- Xia, J., Winandy, E., Georges, B., Lebrun, J., (2002). Testing methodology for VRF systems, *Proceedings, 9th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue*, R4-2, 1-8.
- Xia, J., Zhou, X., Jin, X., Wu, Y., (2003). Simulation study on operating characteristics of multi-evaporator VRV air conditioner, *Proceedings, 21st IIR International Congress of Refrigeration*, ICR0298, 1-7, Washington DC, US.
- Xia, J., Winandy, E., Georges, B., Lebrun, J., (2004). Experimental analysis of the performances of variable refrigerant flow systems, *Building Services Engineering Research and Technology*, **25**, 17-23.
- Zhou, Y.P., Wu, J.Y., Wang, R.Z., Li, Y.M., Shiochi, S., (2007a). Development and experimental investigation of the variable-refrigerant-flow (VRF) air conditioning system in EnergyPlus, *Proceedings, International Congress of Refrigeration*, Beijing, China, ICR07-E1-296.
- Zhou, Y.P., Wu, J.Y., Wang, R.Z., Shiochi, S., Li, Y.M., (2007b). Simulation and experimental validation of the variable-refrigerant-volume (VRV) air-conditioning system in EnergyPlus, *Energy and Buildings*, Article in press.
- Zhou, Y.P., Wu, J.Y., Wang, R.Z., Shiochi, S., (2007c). Energy simulation in the variable refrigerant flow air-conditioning system under cooling conditions, *Energy and Buildings*, **39**, 212-220.