

사무소 건물의 HVAC&R 시스템 공사비 분석방법 및 예측에 관한 연구

Cost Analysis Study : Development of HVAC&R System Cost Estimation and Prediction Methodology for Office Buildings

조진균(Jinkyun Cho)^{1†}, 신승호(Seungho Shin)¹, 김종현(Jonghurn Kim)²

¹삼성물산(주) 건설부문, ²(주)우원엠앤이

¹Construction Technology Division, Samsung C&T Corporation, Seoul 137-956, Republic of Korea

²Research Institute, Woowon M&E, Seoul 151-904, Republic of Korea

(Received December 15, 2013; revision received February 13, 2014; Accepted: February 15, 2014)

Abstract HVAC&R system costs can often be one of the most expensive components, representing approximately 15% of the total construction cost for office buildings. Despite their significant importance, there is a lack of a consistent and homogeneous framework to approximate the estimate research. This research deals with the prediction methodology of HVAC&R system cost with the aim of establishing a common idea for the analysis of the construction cost estimate. Our approach deals with the concept of an HVAC&R set that is composed of subsystems. The matrix combination analysis is examined, and total 960 HVAC&R system cost estimation can be implemented to large scale office buildings.

Key words Cost analysis(비용분석) Office building(사무소 건물), Construction cost(공사비), HVAC&R system(공조, 열원, 반송시스템), Approximate estimate(개략견적)

† Corresponding author, E-mail: jinkyun.cho@samsung.com

1. 서 론

건물의 에너지효율화에 대한 관심은 계속 증가하고 있으며, 국가별로 관련 정책들이 발 빠르게 만들어지고 있다. 주요 선진국들의 온실가스 감축목표는 2020년까지 기준시점 대비 20~30% 감축으로 상당히 도전적인 목표를 제시하고 있다.⁽¹⁾ 일반적으로 대규모 사무소 건물에서 냉·난방, 환기를 위한 HVAC&R 시스템의 에너지 소비량은 건물 전체 에너지 소비의 40~50%를 차지하기⁽²⁾ 때문에 에너지 절약적인 시스템 계획이 매우 중요하다. 하지만 설계 초기 단계에서의 공사비 예측은 건축주의 의사결정과 설계방향에 큰 영향을 미치게 된다. 건축 기계설비 공사비는 전체 공사비의 20% 내외를 차지하고 있으며,⁽³⁾ 건물이 첨단화됨에 따라서 점차 그 중요성과 건축공사비에서 차지하는 비중이 높아지고 있는 실정이다. 여기에서 HVAC&R 시스템이 차지하는 공사비는 70% 이상으로 전체 공사비의 최대 약 15%의 비율을 보이고 있다. 따라서 에너지 절약적인 HVAC&R 시스템 선정에 있어서 공사비는 반드시 검

토되어야 하는 중요 요소이다. 이러한 이유 때문에 공사비 예측에 대한 연구가 수행되어 왔으며 지속적으로 그 정확도를 높이기 위한 연구가 진행되고 있다.⁽⁴⁾ 그러나 관련된 연구는 대부분 건설공사 전반 또는 건축 분야에만 국한되었고 기계설비의 공사비에 관련된 연구는 극히 드물게 연구가 되어 왔다. 특히, 다양한 HVAC&R 시스템에 조합을 반영한 표준화된 공사비 데이터의 체계적인 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 시스템 구성과 조합에 초점을 둔 공조, 열원, 반송설비의 통합된 개념에서 HVAC&R 시스템의 공사비를 산출하고 각 구성 시스템의 변경에 따른 공사비의 변화와 영향도를 분석하는 것이 주된 목적이다. 공사비 분석은 사무소 건물을 대상으로 수행하였다. 선행연구⁽⁵⁾를 통해 규명된 HVAC&R의 개념 및 조합구성을 기준으로 연구를 진행하였고 동일한 건물을 기준으로 적용 가능한 모든 시스템의 공사비를 동시에 예측하는 방법론을 도출하였다. 이를 통하여 초기 계획 단계에서 다양한 HVAC&R 시스템 공사비를 파악함으로써 에너지 효율대비 경제적인 건물설계가 가능하다는데 그 의미를 부여할 수 있다.

2. HVAC&R 시스템 개념 및 구성

HVAC&R 시스템의 구성 시스템을 보면 크게 열을 생산하는 열원 시스템, 생산된 열을 열매를 통해 이송하는 반송 시스템 그리고 공급받은 열을 통해 실내에 최적 환경을 제공하는 공조 시스템 등으로 나눌 수 있다. 즉, Fig. 1에서와 같이 HVAC&R 시스템은 3개의 축으로 구성된 좌표와 같이 공조, 열원, 반송 시스템이 조합된 통합 시스템으로 볼 수 있다. 또한 하부의 공조시스템은 크게 내부와 외주부의 냉·난방 방식에 따라, 그리고 외기를 공급하는 방식에 따라 구분되고 각 방식의 특성을 고려하여 외주부와 내부의 시스템을 결정한다. 신선외기 도입을 위한 외기처리방식은 전용 시스템을 구성하는 DOAS(Dedicated Outdoor Air System)와 냉·난방을 위해 설치된 공조기를 겸용하는 방식이 있다. 공조방식에 의해 결정된 공조유닛에 필요열량을 공급하는 시스템은 크게 냉방과 난방열원설비로 구분된다. 반송 시스템은 물 계통에서의 열원공급방식과 공급열매체(냉수)의 온도차를 기준으로 시스템 조합이 가능하다. HVAC&R 구성 시스템에 대한 매트릭스 조합검토를 통해 공조 시스템은 16개, 열원 시스템은 15개, 반송 시스템 4개를 도출하였다.⁽¹⁾ 공조 및 열원 시스템 구성은 현실적으로 조합이 가능한 시스템을 고려하여 구성하였기 때문에 보편성 확보가 가능하다. 본 연구는 고층 사무조건물을 대상으로 하였기 때문에 반송 시스템은

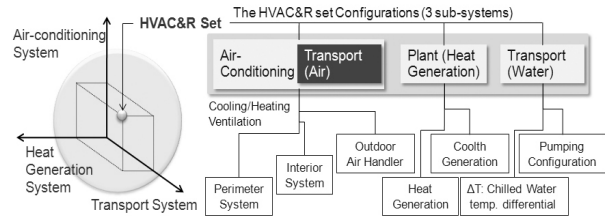


Fig. 1 The basic concept and composition of the HVAC&R system.

냉수의 온도차와 펌프의 고·저층 조닝에 국한하여 검토되었다. Table 1은 구성 가능한 HVAC&R 시스템의 조합을 보여 주며, 총 960개(= 16(공조)×15(열원) ×4(반송))가 조합된 시스템 구성이 가능하다.

3. HVAC&R 시스템 공사비 예측방법

본 장에서는 다양한 HVAC&R 시스템의 효과적인 공사비 산출방법을 제시하기 위해서 우선적으로 건축기준(baseline)모델을 선정하고 이를 기준으로 다양한 시스템의 공사비를 산출하였다. HVAC&R 시스템의 공사비 산출은 크게 2단계로 나뉘어 진행하였다. 1차적으로 Fig. 2에서와 같이 공조 시스템 16개, 열원 시스템 15개, 반송 시스템 4개에 대한 총 35개의 기본(Basic) HVAC&R 시스템에 대하여 공사비 분석이 가능한 설비도면과 이

Table 1 HVAC&R system matrix combinations for office buildings

Air-conditioning System	(Heat)Plant System	(Heat)Transport System
A01 CAV System	P01 Direct-fired Absorption Chiller/Heater(Baseline)	T01 Primary Pump system +Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 5^{\circ}C$) (Baseline)
A02 VAV System	P02 Absorption Chiller+Steam Boiler	
A03 UFDA	P03 Centrifugal Chiller+Steam Boiler	
A04 FCU+DOAS	P04 Ice Thermal Storage+Steam Boiler	T02 Primary Pump system (1 Zone)
A05 Radiant C/H+DOAS	P05 Water Thermal Storage+Steam Boiler	+Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 8^{\circ}C$)
A06 Chilled Beam+DOAS	P06 Centrifugal Chiller+HW Boiler	
A07 PAC(EHP)+DOAS	P07 Ice Thermal Storage+HW Boiler	T03 Zone Pump system (2 Zone)
A08 CAV+FCU	P08 Water Thermal Storage+HW Boiler	+Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 5^{\circ}C$)
A09 VAV+FCU	P09 Centrifugal Chiller+District Heating	
A10 CAV+Convactor	P10 Ice Thermal Storage+District Heating	T04 Zone Pump system (2 Zone)
A11 VAV+Convactor(Baseline)	P11 Water Thermal Storage+District Heating	+Chilled Water Temp. Differential($\Delta T = 8^{\circ}C$)
A12 UFDA+FTU+DOAS	P12 District Cooling+District Heating	
A13 VAV+FPU	P13 HW Driven Absorption+District Heating	
A14 LTAD+FPU	P14 Geothermal Heat Pump System	
A15 CAV+PAC(EHP)	P15 CHP system with HW Driven Absorption	
A16 VAV+PAC(EHP)		
Total 16 systems	Total 15 systems	Total 4 systems

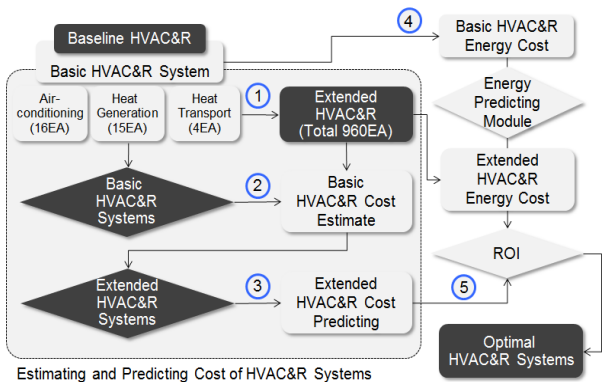


Fig. 2 Schematic flow chart of the cost estimate steps for HVAC&R system.

를 기준으로 상세견적을 산출하였다. 그리고 상세견적 내용을 바탕으로 2차적으로 960개 확장(extended) HVAC&R 시스템에 대해 각각의 공조, 열원, 반송 시스템을 조합하여 개략 공사비를 예측하였다.

3.1 HVAC&R 시스템 공사비 산출 방법론

Fig. 3은 기본 HVAC&R 시스템의 공사비 산출방법을 나타낸 개념이다. 1단계 부하계산 및 장비선정에서는 에너지 성능평가 및 예측의 과정을 수행하여 산출한다. 건물의 부하계산을 이용하여 열원기기, 냉각탑, 순환펌프, 공조기 등과 같은 주요기기를 선정하였다. 이들 장비는 기본적인 평균효율 및 성능을 기준으로 2단계 주요 장비일람을 작성하고, 3단계 공사비 산출 프로세스는 공조, 열원, 반송 시스템의 비용을 산출하기 위해 기본적인 도면을 작성하였다. 기본 HVAC&R 시스템 적산을 위한 도면의 범위는 중앙 기계실에서 주요장비, 배관, 부속류 등을 파악할 수 있는 기계실 평면도, 건물 전체의 열원흐름을 볼 수 있는 공조 및 열원 계통도, 마지막으로 기준층에서 공조 시스템의 열매(물-공기)흐름을 파악할 수 있는 기준층 공조 평면도를 대상으로 총 35개를 우선적으로 작성하였다. 적산용 도면을 이용하여 초기투자비 산출을 수행하기 전에 기계설비 적산 범위를 검토할 필요성이 있다. 적산범위가 중요한 이유 중 하나는 기준층 천장공사나 바닥공사와 같이 건축공사분과 중복되는 부분이 발생할 수 있기 때문이다. 이는 노무비와 재료비 산출시 동일한 공정이 중복되어 산출될 경우 중복집계 될 수 있기 때문이다. 장비일람에 제시된 성능을 기준으로 다수의 관련 장비 제조사의 견적을 통한 평균가를 도출하고 최종적으로 장비일람, 장비별 견적서, 적산용 개략도면을 취합하여 주요장비, 덕트, 배관, 각종 부속류 등과 같은 재료비와 시공시 필요한 노무비를 표준품셈을 이용하

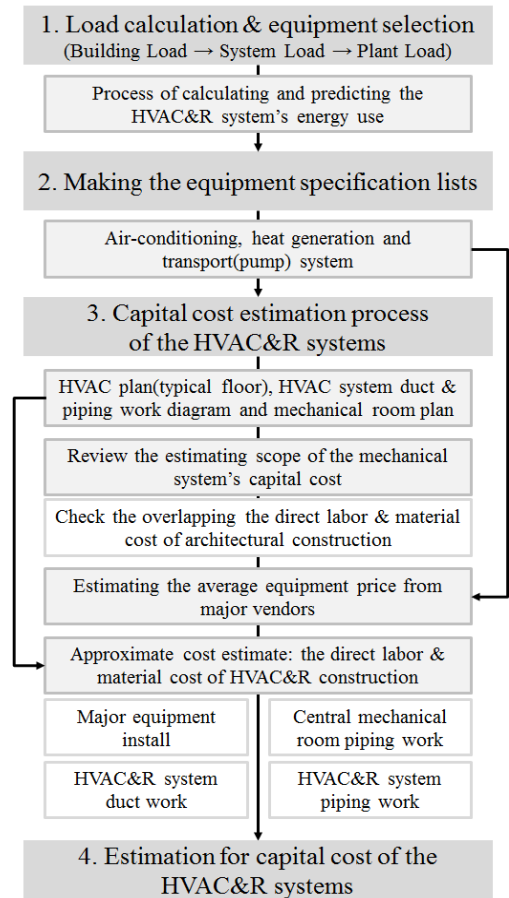


Fig. 3 Flow diagram of basic HVAC&R system cost estimate steps.

여 산출하였다. 기계설비 공중에 의한 초기 투자비는 장비설치공사, 기계실 배관공사, 공조 배관공사, 공조 덕트 설치공사로 크게 나뉜다. 장비설치공사는 장비일람상에 있는 열원기기, 펌프, 공조기 등과 같은 주요장비들의 재료비 및 노무비를 범위로 한다. 기계실 배관공사는 기계실 측의 덕트, 배관, 부속류 등과 같은 장비들의 재료비와 노무비를 나타내며, 공조 배관공사는 기계실에서 각 층 공조기 장비까지의 배관공사를 나타낸다. 마지막으로 공조덕트 설치공사는 각 층의 공조장비의 덕트, 유니트, 디퓨저 등과 같은 공기 분배기의 공사를 범위로 하였다.

3.2 건축기준모델의 선정 및 초기투자비 산출

건물의 연면적, 층수, 기준층 면적 등의 사례조사⁽⁶⁾를 통해 본 연구에서의 건축기준모델은 A사옥으로 선정하였다. 지상 25층의 전형적인 사무소 건물로 기준층면적 1,500 m², 연면적 40,000 m²이며 기준층의 평면형태

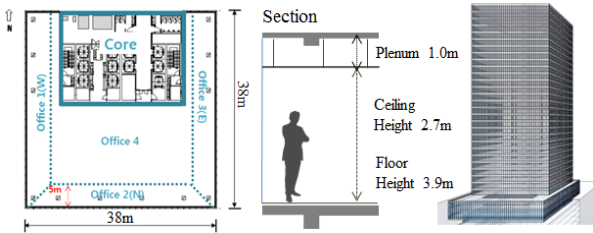


Fig. 4 A Baseline building model.

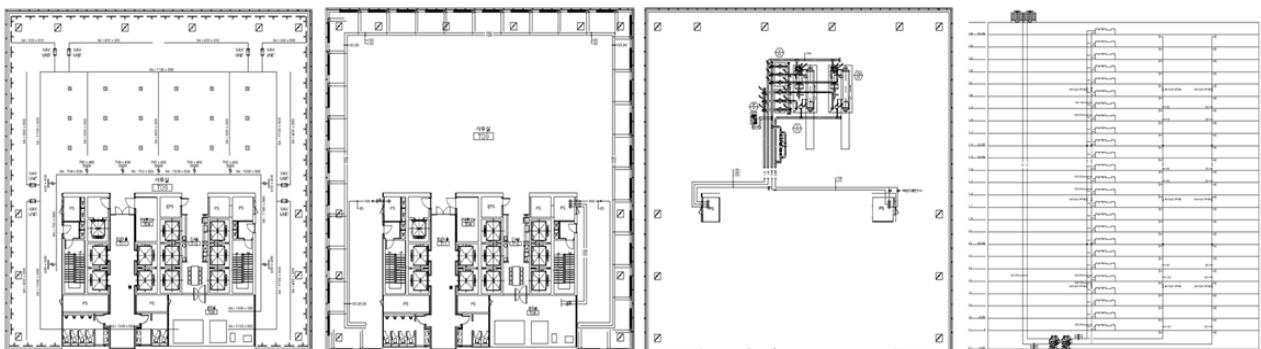
및 건물형상은 Fig. 4와 같다. 선정된 건축 기준모델을 근거로 하여 기본 HVAC&R 시스템 공사비를 산출하였다.

기본 HVAC&R 시스템은 Table 1과 같이 대규모 사무소건물에 적용된 가장 보편적인 시스템으로 구성하였다. 기준(baseline) HVAC&R set의 공조시스템은 적용사례가 가장 많고, 에너지 절약적인 공조방식으로 알려진 VAV(내부)+컨벡터(외주부)시스템으로 선정하였다. 냉열원 시스템은 국내 조건으로 흡수식냉온수기를 적용하였다. 온열원 시스템은 냉열원 시스템이 결정된 후 종속되기 때문에 흡수식냉온수기로 동일하게 구성하였고 반송 시스템은 일반온도차와 1차 펌프 시스템으로 설정하였다. Fig. 5는 공사비 산출을 위한 적산용 도면으로써 기준 HVAC&R 시스템의 주요장비, 배관, 덕트, 부속류 등의 적산작업을 위해 작성한 도면의 예시를 보여준다. 주요 장비일람과 적산용 도면을 기준으로 재료비와 노무비를 포함한 초기투자비를 산출하였다. Fig. 6은 공조 시스템 16개, 열원 시스템 15개와 반송 시스템 변경에 따른 기계실 변경을 포함한 4개에 대한 공사비이다. 공사비 범위는 공조 시스템의 경우에는 기준층, 열원 시스템은 기계실에서의 장비설치, 덕트, 배관의 금액이다. 반송 시스템은 건물의 층수를 고려한 입상배관 등에 따른 견적 내용을 산출하였다. 그러나 여기에는 자동제어 및 TAB 관련 공사비는 제외하였다.

4. HVAC&R 시스템 공사비 분석

4.1 기본 HVAC&R 시스템 공사비 분석

공조 시스템을 검토하기 위해 열원 시스템과 반송 시스템은 기준시스템으로 고정하였다. 기준 시스템인 VAV+컨벡터는 사무소 건물에서는 이미 보편적인 에너지 절약적인 시스템이다. 비교 대안 중 복사냉난방 또는 칠드빔과 DOAS가 적용된 시스템이 가장 공사비가 크고 약 40~70%의 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 중앙열원을 쓰지 않고 별도의 실외기를 사용하여 냉·난방을 하는 EHP 시스템을 사용할 경우, 중앙열원장비의 용량이 작아져 비용은 감소하나 외주부 EHP 장비의 증가로 공사비가 약 30% 정도 증가하는 경향을 보였다. 반면에 저온급기(LTAD)시스템+팬과워 유닛은 대온도차를 이용한 시스템이기 때문에 공조풍량 및 냉·온수 유량이 작아지고 관련된 덕트 및 배관의 사이즈가 축소되어 공사비는 약 25% 감소한다. 그리고 내부와 외주부를 구분하지 않은 CAV와 VAV의 전공기 시스템도 별도의 외주부에 설치되는 냉·난방 기기가 없기 때문에 기준 시스템 대비 약 15~20% 공사비가 절감된다. 그러나 이는 공사비 측면에서만 분석한 사항이며 각 공조 시스템의 에너지 성능과 열원 및 반송 시스템 연계에 따른 영향도를 고려하여야 한다. 열원 시스템 검토를 위해 공조 시스템과 반송 시스템은 기준 시스템으로 고정하였다. 기준 시스템인 흡수식 냉온수기는 난방기와 냉방기가 하나의 기기에 구성되어 있기 때문에 설치면적 및 공사비가 상대적으로 작다. 일반적인 시스템 구성에서는 지열히트펌프 시스템이 기준 시스템 대비 약 4배 이상의 공사비가 증가하게 된다. 이는 건물내 히트펌프의 설치공사비 대비 지중열교환기 설치를 위한 천공 및 기타 공정에 따른 공사비가 크게 증가하기 때문이다. 열병합발전 시스템, 수축열 또는 빙축열 시스템의 조합은 별도의 발전기, 축열조 등



(a) Air-conditioning system floor plan (interior and perimeter system) (b) Central mechanical room (c) Piping diagram for HVAC&R
Fig. 5 Baseline HVAC&R system(A11-P01-T01) drawings for estimating the capital cost.

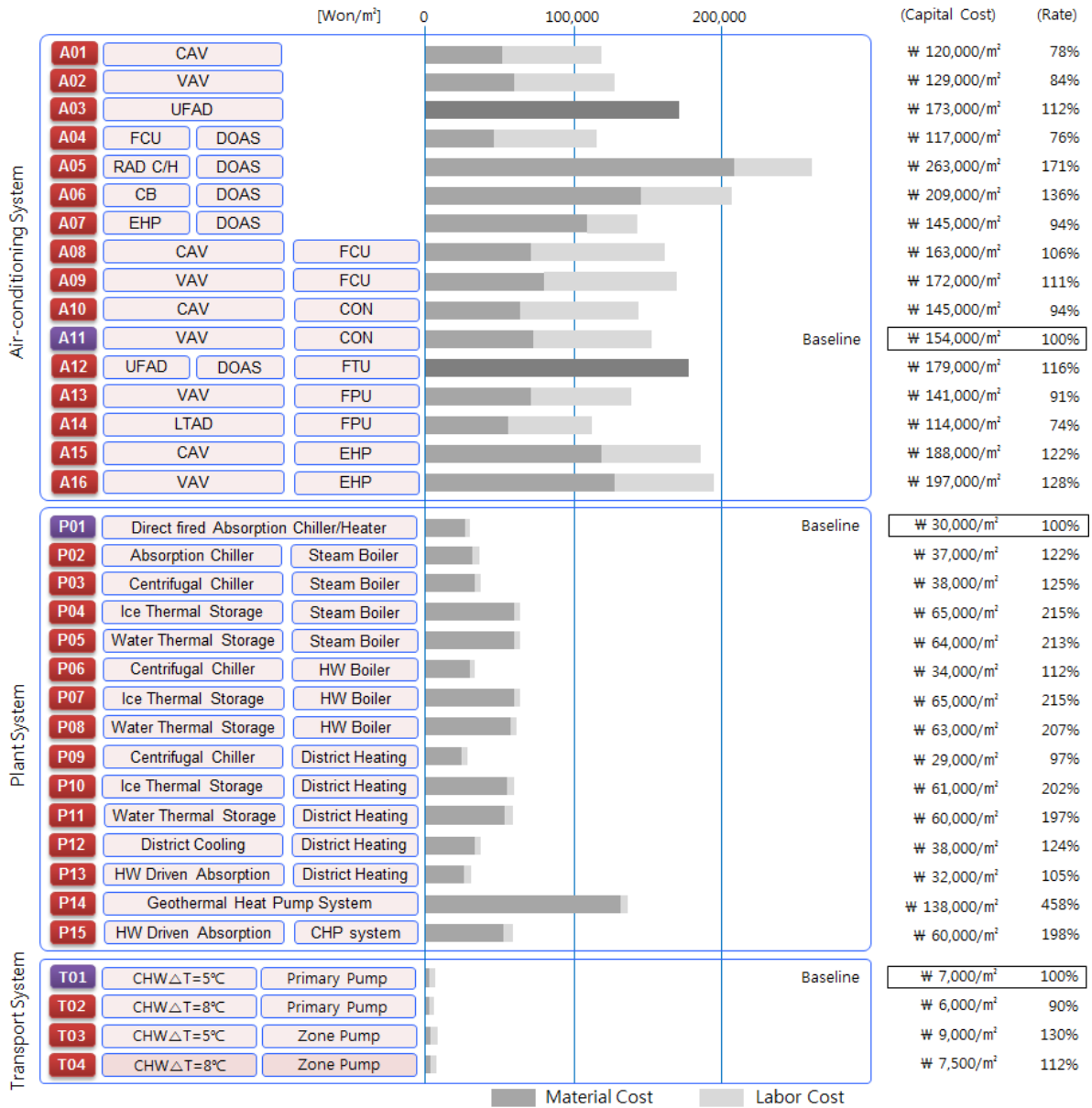


Fig. 6 Cost analysis results of basic HVAC&R system.

의 장비의 추가로 필요하기 때문에 설치면적 및 장비 설치공사비가 증가하며 평균 2배 이상의 공사비가 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면에 지역열원을 사용하는 시스템은 온수 또는 냉수를 생산하는 장비가 필요 없고 해당 열병합 발전소에서 공급하는 열원을 열교환만 하면 되기 때문에 장비가 간단하여 설치공사비는 감소하나 시설분담금 등이 추가로 발생하기 때문에 기준시스템과 비슷한 공사비가 소요되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 반송 시스템을 검토하기 위해 공조 시스템과 열원 시스템은 기준 시스템으로 설정하였다. 반송

시스템 조합에 따라 펌프의 유량과 양정이 달라진다. 1차펌프와 저층/고층펌프로 분리할 경우, 펌프는 유량과 양정이 감소하지만 배관이 분리되어 펌프와 배관공사비가 증가한다. 또한 냉수 대온도차를 적용하면 냉수순환 유량이 감소하고, 이에 따라 펌프와 배관 사이저가 감소하여 공사비 저감효과가 있다. 기준 시스템인 1차펌프+일반온도차 대비 고/저층 펌프를 조닝하고 대온도차를 적용하면 약 12%의 공사비가 증가하지만 공사비의 비중이 크지 않기 때문에 에너지 절약적인 시스템을 우선적으로 선정하는 것이 합리적이다.

4.2 확장 HVAC&R 시스템 공사비 예측

Fig. 7은 기본 HVAC&R 시스템의 개별 상세견적을 이용하여 부하가 변동된 임의의 건물에 대해 960개 확장 HVAC&R 시스템의 초기투자비 예측 방법이다. 35개의 기본 HVAC&R 시스템에 공사비를 기초로 하여, 확장 HVAC&R 시스템 공사비 예측에서는 공조, 열원, 반송을 해당건물의 규모에 맞게 조합하여 상세견적을 바탕으로 냉·난방부하 및 외기부하로 단위 부하당 초기 투자비를 산출한다. 마지막으로 대상건물이 바뀔 때 따라 부하 및 설비용량이 바뀌게 되는데, 이에 따라 대상 건물에 대해 기준층의 공조와 반송 동력을 산출하고, 해당 장비용량에 대해 기계실 공사비를 산출하

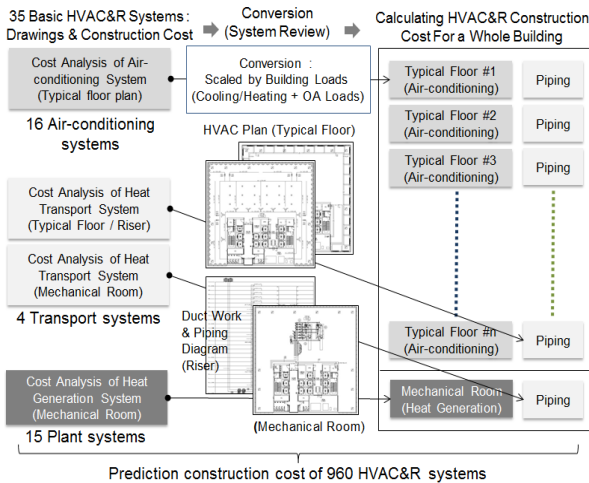


Fig. 7 Cost estimate and prediction method for extended HVAC&R system.

Table 2 Results of extended HVAC&R cost

No.	HVAC&R			Cost(Won/m ²)		Remark
	A	P	T	Material	Labor	
001	A01	P01	T01	81,414	74,884	
002	A02	P01	T01	90,304	74,884	
:	:	:	:	:	:	
011	A11	P01	T01	102,844	87,417	Baseline
:	:	:	:	:	:	
210	A05	P14	T03	347,040	62,157	Highest
:	:	:	:	:	:	
252	A14	P09	T02	83,312	64,934	Lowest
:	:	:	:	:	:	
960	A16	A15	T04	184,325	78,935	

A : Air-conditioning/P : Plant/T : Transport

여 부하가 변화할 때 건물 전체의 HVAC&R 시스템 초기투자비를 예측할 수 있도록 하였다.

Table 2는 960개 확장 HVAC&R 시스템에 대한 공사비 산출 결과이다. 여기에는 공조, 열원, 반송 시스템의 각각의 재료비와 노무비를 조합하여 산출하였으며, 상호 조합될 때 각 시스템간의 영향에 따라서 장비용량 변화에 대한 사항이 반영되었다. 기준 HVAC&R 시스템 대비 A05 : 복사냉·난방, P14 : 지열히트펌프 및 T03 : 고/저층펌프+일반온도차의 조합이 가장 공사비가 많으며 215% 증가한다. 물론, 각 공조, 열원, 반송 시스템 중에서 공사비가 가장 높은 시스템으로 조합이 되었으나 시스템별 차지하는 공사비의 비율에 따라서 상이하게 된다. 반대로 A14 : 저온급기(LTAD)시스템+팬과워 유닛, P09 : 터보냉동기+지역난방 및 T02 : 1차 펌프+대온도차 시스템이 기준대비 78%로 공사비가 가장 적은 HVAC&R 시스템으로 평가되었다.

5. 결론

건물에서 HVAC&R 시스템은 다양한 조합으로 구성이 가능하여 에너지 효율평가뿐만 아니라 초기에 공사비를 예측하는 하는 것은 매우 어렵고도 중요한 업무이다. 본 연구에서는 HVAC&R 시스템 공사비 예측을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 공조, 열원, 반송 시스템 등 각 구성 시스템의 초기투자비용을 산출하고 다양한 조합에 의한 공사비 예측 방법론을 제시하였다. 선행 연구를 통해 HVAC&R 시스템 구성과 조합에 초점을 둔 통합된 개념에서 도출된 HVAC&R 시스템의 에너지평가 방법 및 결과⁵⁾를 이용하여 각 시스템별 경제성평가를 위한 후속 연구였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) HVAC&R 시스템의 공사비 산출은 공조 16개, 열원 15개, 반송 시스템 4개에 대한 총 35개의 기본 HVAC&R 시스템에 대하여 공사비 분석이 가능한 설비도면과 이를 기준으로 상세견적을 산출하였고 상세견적 내용을 바탕으로 960개 확장 HVAC&R 시스템에 대해 각각의 공조, 열원, 반송 시스템을 조합하여 HVAC&R 시스템의 계약 공사비를 예측하였다.

(2) 35개 기본 HVAC&R 시스템의 공사비 산출범위는 공조시스템의 경우에는 기준층, 열원시스템은 기계실에서의 장비설치, 덕트, 배관의 금액이며 반송시스템은 건물의 층수를 고려한 입상배관 등에 따른 견적 내용을 산출하였다.

(3) 960개 확장 HVAC&R 시스템의 공사비 예측은 공조, 열원, 반송을 해당건물의 규모에 맞게 조합하여 상세견적을 바탕으로 단위 부하당 초기투자비를 예측하였다. 이는 시스템의 변경 및 건물의 규모가 변경되어 부하가 변화할 때 건물 전체의 HVAC&R 시스템

공사비를 예측할 수 있도록 하였다.

(4) 대규모(고층) 사무소건물의 HVAC&R 시스템 공사비 분석 결과, 가장 큰 영향 및 비율을 차지하는 공조시스템이었으며, 건물의 규모에 따라 그 비율은 변화할 수 있지만 반송 시스템은 전체 공사비 대비 영향도가 크지 않았다.

(5) 사무소건물의 HVAC&R 시스템 공사비는 설계 예가 기준으로 약 150,000~400,000원/m² 범위로 다양한 시스템 조합의 결과를 보이고 있다.

HVAC&R 시스템의 에너지 특성을 파악하는 것과 함께 공사비를 예측하는 것은 경제성을 고려한 건물의 설비시스템 최적화에서 매우 중요한 선행업무이다. 본 연구에서 제시한 HVAC&R 시스템 공사비 예측 방법론은 설계 초기 단계에서 시스템 선정을 위한 의사결정 및 범용적 활용의 관점에서 매우 유용할 것으로 판단된다.

Reference

1. Cho, J. K., Lee, S. J., Kim, J. H., and Shin, S. H., 2012, Energy consumption characteristic of office building HVAC&R systems, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 9, pp. 251-260.
2. Perez-Lombard L., Ortiz J., and Pout C., 2008, A review on buildings energy consumption information, Energy and Buildings, Vol. 40, No. 3, pp. 394-398.
3. Song, S. Y., Kim, Y. I., and Song K. D., 2008, Analysis of factors influencing upon the cost and cost prediction based on the actual cost data for building mechanical system, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 24, No. 2, pp. 295-303.
4. Chun, J. Y., 2002, A study on construction cost estimating method based on actual cost data, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 4, pp. 121-128.
5. Cho, J. K., Shin, S. H., Kim, J. H., Hwang, D. K., and Hong, H. K., 2013, Development of an HVAC&R systems energy evaluation methodology and simulation program for office buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 363-370.
6. Cho, J. K., Shin, S. H., and Kim J. H., 2012, System impact assessment for energy consumption characteristic of office building HVAC&R systems, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 11, pp. 393-400.