제로에너지 주택 실증단지 구축

제로에너지 주택 실증단지 구축 용역사업을 소개하고 다양한 형태의 공동주택 단지를 제로에너지 주택 단지 최적화 모델을 구축하기 위한 Passive system, Active system의 기술요소를 개발하고 설계 적용한, 복합에너지 시스템에 대해 개괄적으로 소개하고자 한다.

머리말

지구 온난화로 인한 이상기온과 천재지변이 지구 곳곳에서 발생하고 있고 전 세계적으로 온난화의 주범인 온실가스 감축이 커다란 이슈가 되고 있다.

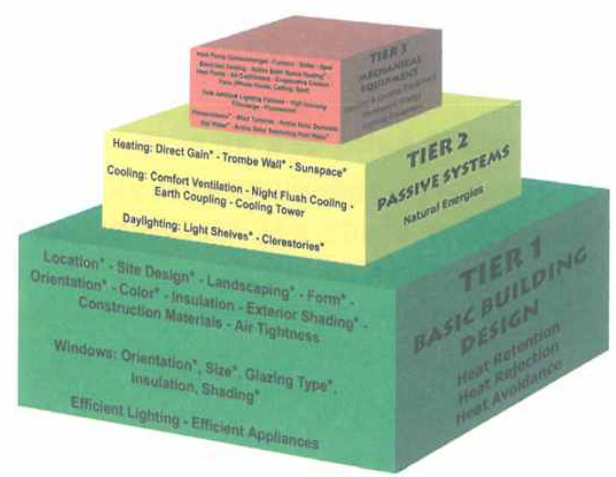
에너지 집약도가 높은 우리나라는 건축물에서 사용되는 많은 에너지로 인한 환경영향이 막중함을 인식하게 됨에 따라 저에너지 친환경 건축 필요성 인식하고 "저탄소 녹색성장" "제로에너지 빌딩"을 핵심 국정 아젠다로 설정하고 에너지절약 및 효율향상, 신재생에너지 개발 . 보급, 관련법규개정, 인증제도 도입 등 온실가스배출 감소는 국내외적으로 최우선 과제가 되고 있다.

"제로에너지 빌딩" 구현을 위한 선진국의 기술요소를 적극 도입하고 개발하여 공공시설, 공동주택 뿐 아니라 모든 건축물을 화석연료를 사용하지 않는 자연환경과 친화하고 아름답게 조화를 이루어 거주자가 건강하고 쾌적한 생활을 구현 하기위해 건축 업에 종사하는 특히 에너지를 다루는 우리 설비인의 역할이 중요하다.

장 병 윤
한국설비연구(주)
연구소장/전무
h37719@chol.com

박 상 훈
한국설비연구(주)
과장

건물에너지 절약위한 3단계 접근법



1) 1단계 : 건물의 기본설계

(1) 겨울에는 열손실을 최소화하고, 여름에는 열획득 최소화

(2) 효과적인 기본설계를 통해 건물에너지의 60% 절감가능

(3) 기본설계(건축계획)의 주요 요소

- 미기후를 고려한 대지선정
- 태양경로를 고려한 배치계획
- 계절별 일사 획득과 일사차단을 고려한 조경계획
- S/V비를 최소화하고 일사영향을 고려한 형태계획
- 계절별 일사획득을 고려한 방위계획
- 일사흡수율을 고려한 외피마감 색상계획
- 외피의 고단열 계획
- 냉방기간 동안 일사를 차단할 수 있는 외부차양 계획
- 투습, 방수, 축열 성능을 고려한 건축재료 선정
- 침기에 따른 열손실을 줄일 수 있는 기밀계획
- 일사획득과 차단을 고려한 방위별 창호계획
- 방위별 창호의 크기, 유리의 종류, 단열성능, 차폐성능 결정
- 고효율 조명, 고효율 기기장치 선정

2) 2단계 : 자연에너지의 적극적 활용을 위한 Passive System 적용

(1) 겨울철 태양열 획득을 위한 직접획득방식, 축열벽 방식, 부착온실 방식 등 적용

(2) 여름철 냉방부하 저감 및 실내열 방출을 위한 Earth Coupling, Comfort Ventilation, Night Flush Cooling 적용

(3) 자연채광 도입을 위한 광선반, 고창 등 계획

*** 이상과 같은 Passive System 적용을 통하여 약 20%의 에너지 절감 가능**

3) 3단계 : 효율적인 기계설비 계획

(1) 보일러, 냉동기 등의 고효율 열원설비 계획

(2) 팬, 펌프 등의 고효율 반송장치 계획

(3) LED, 고광도 방전등 등의 고효율 조명 계획

(4) 설비형 태양열 시스템, 태양전지, 지열교환 히트펌프, 폐열회수 장치 등의 적용

*** 이상과 같은 Active System 의 고효율 기계 설비계획으로 약 8%의 에너지 절감 가능**

Passive House 설계요소

1) 독일 Passive House 인증 성능

(1) 난방에너지 요구량
15kWh/m^2yr 이하(난방등유 1.5L/m^2yr 또는 도시가스 15m^3/m^2yr 이하)

(2) 냉방에너지 요구량 : 15kWh/m^2yr 이하

(3) 기밀성능 테스트
건물 외피의 기밀성은 DIN EN 13829에 따른 기밀 시험을 통해 검증 / 측정된 누기량은 50Pa 차압조건에서 0.6회/h 이하

(4) 급탕, 난방, 냉방, 전열, 조명 등 전체에너지 소비에 대한 1차 에너지 소요량 120kWh/m^2yr 이하

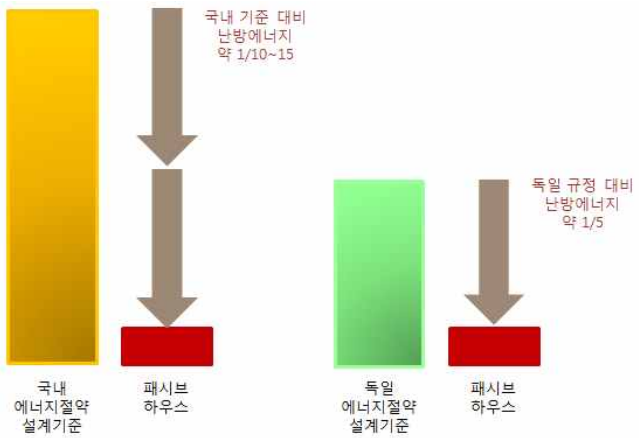
(5) 전열교환기 효율 : 75% 이상

(6) 외피 열관류율은 반드시 0.15W/(m2K) 이하

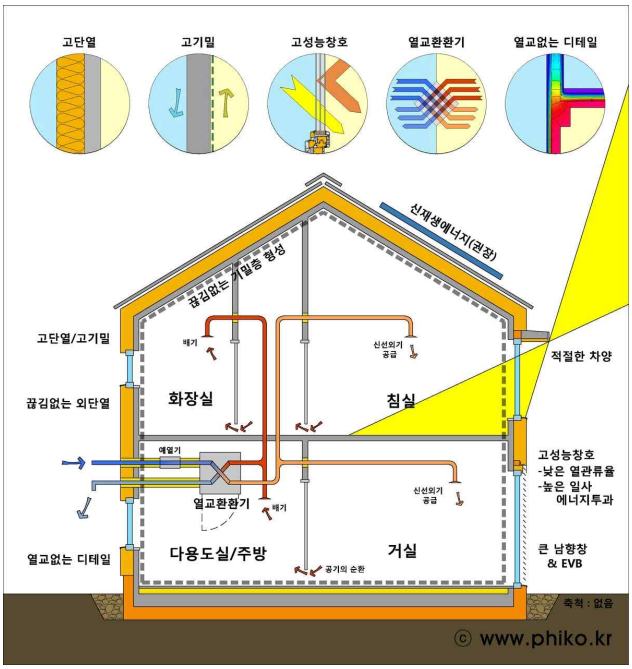
(7) EN 673에 따라 유리의 열관류율은 0.8W/(m2K) 이하 EN 410에 따라 일사획득계수(g-value)은 겨울철 열획득을 위해 최소 50% 이상

*요구성능에 대한 모든 계산은 PHPP(Passive House Planning Package)에 의해 이루어져야 함.

2) Passive House 에너지 절감량



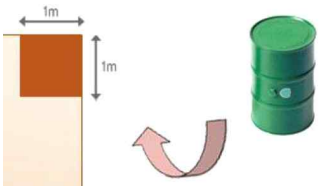
3) Passive House 요소기술



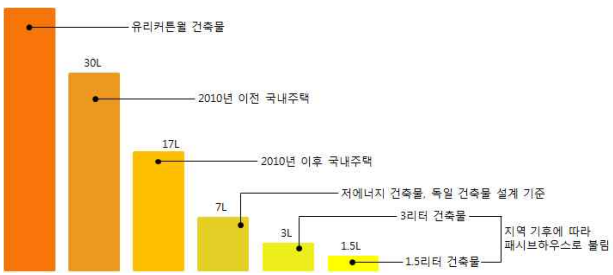
- 선형열교 : 0.01W/mK 이하
- 점형열교 : 0.01W/m^2K 이하
- 기밀성 : 50Pa, 0.6회/h 이하
- 외벽 열관류율 : 0.15W/m^2K
- 유리 열관류율 : 0.8W/m^2K
- G(SHGC)값 : 0.5 이상

4) 건축물의 에너지 성능평가

$1m^2$당 1년 동안 사용되는 난방 등유의 양으로 결정



EX) 10리터 주택 = $1m^2$당 1년에 10리터의 등유를 사용해야만 하는 집



[건축물의 에너지 등급 구분]

건축개요

대지위치	서울시 노원구 하계동 251-9
용도	공동주택, 부대복리시설, 근린생활시설, 문화 및 집회시설
대지면적	11,344.8 m²
건축면적	3,392.753 m²
연면적	17,729,285 m²
건물규모	지하2층 지상7층
동/세대수	9동 / 121세대
구성	아파트 7층 3동, 연립 3층 1동, 합벽주택 복층 2동, 단독주택 복층 1동 홍보관, 휘트니스, 경로당, 임대상가 지하주차장 2층 (125대)

설계조건

설계 시 적용한 외기 온·습도 조건은「건축물의 에너지절약 설계기준」에서 "서울"기준을 적용하였으며 실내 온·습도 조건은 건축주의 요구사항을 충족시킬 수 있도록 적용하였다.

< 외기 온 ·습도 조건 >

조 건 / 계 절	온 도		상대습도 (% RH)	비고
	건구온도 (℃)	습구온도 (℃)		
여 름	31.2	25.5	-	TAC 2.5%
겨 울	-11.3	-12.4	63	

부하계산(PHPP)

(PHPP 8.5를 이용한 아파트 102동 부하계산)

1) 설계 및 계산상의 가정값

(1) 세대 및 실 : 7층 규모의 층별 6세대, 총42세대 주민공동시설 5개실, 부속실 3개

(2) 외피면적 :

구분		면적(m²)
외피면적	창면적	522.6
	지붕면적	450.3
	외벽면적	2,226.7
	바닥면적	451.3
유리면적		3,650.8
내벽면적		1,084.3

(3) 주요 외피의 열관류율 값 :

- 외벽 : 0.152 W/㎡ K
- 외기에 면한 측면 외벽 : 0.096 W/㎡ K
- 땅에 묻힌 전면 외벽 : 0.137 W/㎡ K
- 지붕 : 0.090 W/㎡
- 바닥 : 0.115 ~ 0.187 W/㎡ K

* 외피전체의 평균 열관류율값 : 0.284 W/㎡ K

(4) 창호 구성

- 해당 지역의 기후값으로 부터 방위별 수직면의 단위면적당 연간 일사량 값을 반영
- 그늘요소, 먼지요소, 입사각에 따른 입사율 등을 태양에너지 획득량 계산에 반영

Climate:	[KR] - Seoul				
Window area orientation	Global radiation (cardinal points)	Shading	Dirt	Non-perpendicu-lar incident radiation	Glazing fraction
maximum:	kWh/(m²a)	0.75	0.95	0.85	
North	110	0.30	0.95	0.85	0.570
East	235	0.69	0.95	0.85	0.785
South	444	0.56	0.95	0.85	0.755
West	246	0.75	0.95	0.85	0.644
Horizontal	393	1.00	0.95	0.85	0.000
		Total or average value for all windows.			

- 방위별 유리의 열관류율(Ug) 0.5W/㎡K, 창틀의 열관류율(Uf) 1.0W/㎡K, 간봉의 열교열손실계수(Ψ spacer) 0.04W/mK을 가정가정하였을 때 북쪽창 1.03W/㎡K, 동쪽창 0.79W/㎡K, 남쪽창 0.82W/㎡K, 서쪽창 0.97W/㎡K이었다. 이 면적 중 빛이 투과하는 면적은 북쪽창 56.01㎡, 동쪽창 3.88㎡, 남쪽창 308.60㎡, 서쪽창 6.95㎡, 합산 375.44㎡이다.

- 이 빛이 투과하는 투명 부위의 비율은 전체 창호 면적 대비 북쪽창 57%, 동쪽창 78.5%, 남쪽창 75.5%, 서쪽창 64.4%이다.

Transmission losses	Heat gains solar radiation
kWh/a	kWh/a
6612	750
256	240
21750	30882
681	540
0	0
29300	32413

Orientation	Glazing area m²	Reduction factor winter r_{Sw}	Reduction factor summer r_{Ss}
North	56.01	30%	32%
East	3.88	69%	77%
South	308.60	56%	52%
West	6.95	75%	66%
Horizontal	0.00	100%	100%

- 창을 통해 얻는 에너지량 32,413 kWh/a, 손실량 29,300 kWh/a
- 주변의 음영 요소 반영, 천 블라인드 적용하여 해가림 요인 설정

(6) 거주인원 과 환기량

세대/실	42
동별 주거 인원	130
세대당 주거인원 | 실별 평균 상주인원	3.1
1인당 시간당 급기량 (㎥/P·h)	30
필요 급기량 (㎥/h) | 필요 흡기량 (㎥/h)	4,200
Net Air Volume for Press. Test (㎥) Vn50 | n50	6,577
평균 공기교환량 (㎥/h) | 평균 공기교환율 (1/h)	3,234
환기장치 | PHI 인증 급기량 범위 (㎥/h)	Zehnder ComfoAir XL 6000
환기장치 열회수효율 (ηHR) | 유효 열회수효율 (ηHR, eff)	0.85
환기장치 전력소비량 (Wh/㎥)	0.42

2) 부하산정을 위한 기후값

PHPP 계산에 활용한 서울지역의 기후값은 PHPP 8.5에 기본 입력되어 있는 값을 이용하였다. 이 값은 Meteonorm 값을 기본으로 하여 PHPP를 제작한 독일 파시브하우스 연구소에서 정리한 값이다.

제로에너지주택 실증단지가 위치한 해발 37미터 고도를 입력하면 관측소 기준 109m 고도에서의 측정 및 보정값이 위의 표와 같은 수치로 변화한다. 이때 난방부하와 냉방부하를 계산하기 위한 값은 아래의 표와 같다.

Month	Heating load		Cooling load	
Days	Weather 1	Weather 2	Weather 1	Weather 2
[KR] - Seoul	Radiation: W/m²		Radiation: W/m²	
Ambient temp	-8.4	1.6	31.4	31.4
North	22	11	57	57
East	51	12	132	132
South	106	14	120	120
West	44	12	134	134
Global	77	23	239	239
Dew point			23.6	23.6
Sky temp			22.8	23.6
Ground temp	9.4	9.4	23.3	23.3
Comment:				

습도에 대한 자료인 이슬점 온도는 냉방부하를 위한 자료에만 23.6℃ 값이 포함되어 있다. 이를 변환하면 31.4℃일 때의 상대습도는 63.36%이다. 절대습도값으로는 20.71g/㎥, 혹은 18.41g/kg이다. 엔탈피 값으로 변환하면 79.51 kJ/kg이다.
(http://www.rotronic.com/humidity_measurement-feuchtemessung-mesure_de_l_humidite/humidity-calculator-feuchterechner-mr 의 변환 프로그램 이용).

경사면 일사량은 북측 57W/㎡, 동측 132W/㎡, 남측 120W/㎡, 사측 134W/㎡이고, 수평면 전일사량은 239W/㎡이다.

3) 냉방부하 (102동)

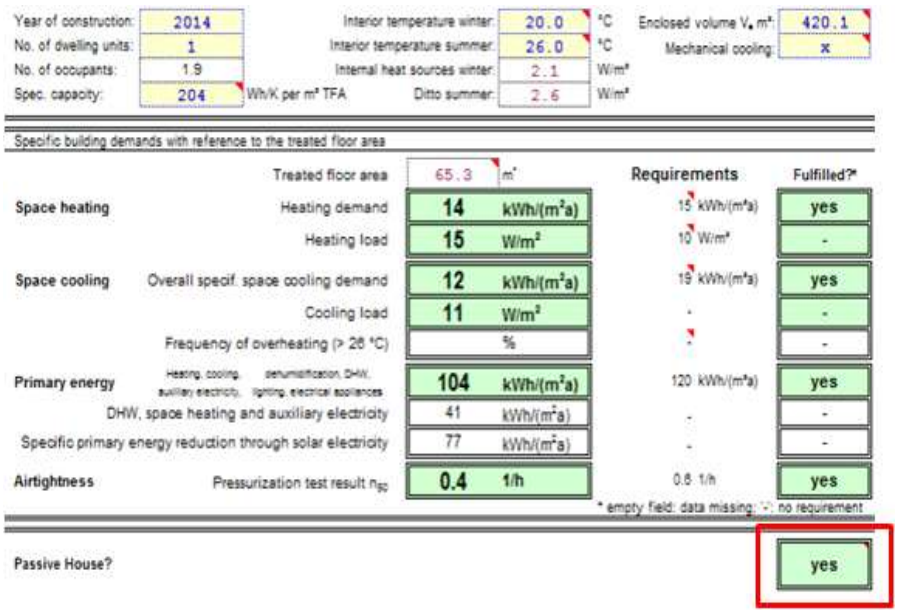
Pt - 외피를 통한 전도 열 유입 (외벽, 창호 등)	10,746 W	2,543.3 ㎡	4.2 W/㎡
Pv - 환기를 통한 열 유입	2,861 W	2,543.3 ㎡	1.1 W/㎡
Ps - 투명 부위를 통한 태양에너지 유입	8,905 W	2,543.3 ㎡	3.5 W/㎡
Pi - 여름철 내부 열원	6,561 W	2,543.3 ㎡	2.6 W/㎡
Pc - 여름철 냉방 부하	29,073 W	2,543.3 ㎡	11.4 W/㎡

4) 제습부하 (102동)

실내 절대습기량은 12g/kg, 이는 파시브하우스에서 요구하는 여름철 실내 기온 25℃일 때 상대습도 약 60%, 엔탈피 약 56kJ/kg, 이슬점 16.83℃에 해당하는 값이다.

외기의 제습부하 (18.4g/kg, 228kg/h)	1,464 g/h	0.71 Wh/g	1,036 W	0.4 W/㎡
급기의 제습부하 (18.4g/kg, 5627kg/h)	36,124 g/h	0.71 Wh/g	25,563 W	10.1 W/㎡
내부발생습기의 제습부하	5,087 g/h	0.71 Wh/g	3,600 W	1.4 W/㎡
Pc - 여름철 냉방 부하	42,675 g/h	0.71 Wh/g	30,198 W	11.9 W/㎡

5) 독일 PHI인증



Year of construction:	2014	Interior temperature winter:	20.0 °C	Enclosed volume V_e m³: 420.1
No. of dwelling units:	1	Interior temperature summer:	26.0 °C	Mechanical cooling: x
No. of occupants:	1.9	Internal heat sources winter:	2.1 W/m²	
Spec. capacity:	204 Wh/K per m² TFA	Ditto summer:	2.6 W/m²	

Specific building demands with reference to the treated floor area

				Requirements	Fulfilled?*
	Treated floor area	65.3	m²		
Space heating	Heating demand	14	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	yes
	Heating load	15	W/m²	10 W/m²	-
Space cooling	Overall specif. space cooling demand	12	kWh/(m²a)	19 kWh/(m²a)	yes
	Cooling load	11	W/m²	-	-
	Frequency of overheating (> 26 °C)		%	-	-
Primary energy	Heating, cooling, dehumidification, DHW, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances	104	kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	yes
	DHW, space heating and auxiliary electricity	41	kWh/(m²a)	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	77	kWh/(m²a)	-	-
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	0.4	1/h	0.6 1/h	yes

* empty field: data missing; "-": no requirement

Passive House? yes

[주택 에너지시뮬레이션(PHPP) 가평가 계산결과 Sheet]

Passive House Institute
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstr. 44/46
D-64283 Darmstadt

Certificate

The Passive House Institute awards the seal "Certified Passive House" to the following building

Single-family house Ibsan, 445-31 Seokwang-dong, 570-320 Ibsan-Si, Jeollabuk-Do, Republic of Korea

Client: Ikachang Choi
445-31 Seokwang-dong,
570-320 Ibsan-Si, Jeollabuk-Do, Republic of Korea

Architect: ZEDMJ Architects Ltd.
1702-10 Seocho-dong Seocho-gu
137-884 Seoul, Republic of Korea

Building Services: Passiveworks
472-2 Nam-dong Cheoin-gu Yongin-si
449-030 Kyounggi-do, Republic of Korea

Certified Passive House
Passive House Institute

This building was designed to meet Passive House criteria as defined by the Passive House Institute. With appropriate on-site implementation, this building will have the following characteristics:

- Excellent thermal insulation and optimised connection details with respect to building physics. The heating demand or heating load will be limited to
  15 kWh per m² of living area and year or a heating load of 10 W/m² respectively
- When outdoor temperatures are high, thermal comfort can be ensured with passive solutions or with minimal energy demand for cooling and dehumidification according to the location-specific Passive House requirements.
- A highly airtight building envelope, which eliminates draughts and reduces the heating energy demand. The air change rate through the envelope at a 50 Pascal pressure difference, as verified in accordance with ISO 9972, is less than
  0.6 air changes per hour with respect to the building's volume
- A controlled ventilation system with high quality filters, highly efficient heat recovery and low electricity consumption, ensuring excellent indoor air quality with low energy consumption
- A total primary energy demand for heating, domestic hot water, ventilation and all other electric appliances during normal use of less than
  120 kWh per m² of living area and year

This certificate is to be used only in combination with the associated certification documents, which describe the exact characteristics of the building.

Passive Houses offer high comfort throughout the year and can be heated or cooled with little effort, for example, by heating/cooling the supply air. Even in times of cold outdoor temperatures the building envelope of a Passive House is evenly warm on the inside and the internal surface temperatures hardly differ from indoor air temperatures. Due to the highly airtight envelope, draughts are eliminated during normal use. The ventilation system constantly provides fresh air of excellent quality. Energy costs for ensuring excellent thermal comfort in a Passive House are very low. Thanks to this, Passive Houses offer security against energy scarcity and future rises in energy prices. Moreover, the climate impact of Passive Houses is low so they reduce energy use, thereby resulting in the emission of comparatively low levels of carbon dioxide (CO_2) and air pollutants.

Issued: Darmstadt, 04. December 2013

Dr. Wolfgang Feist

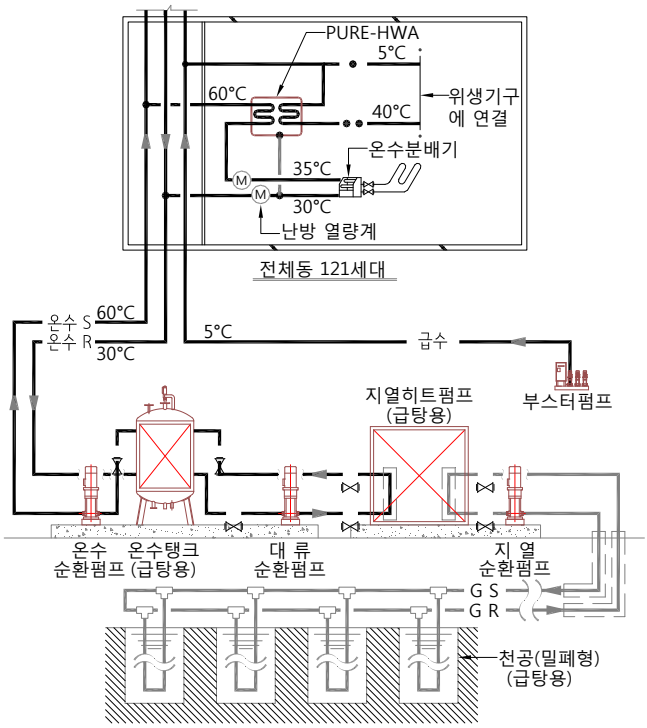
Certificate-ID: 0486_PHI_PH_20131204_CHW

Zedmj

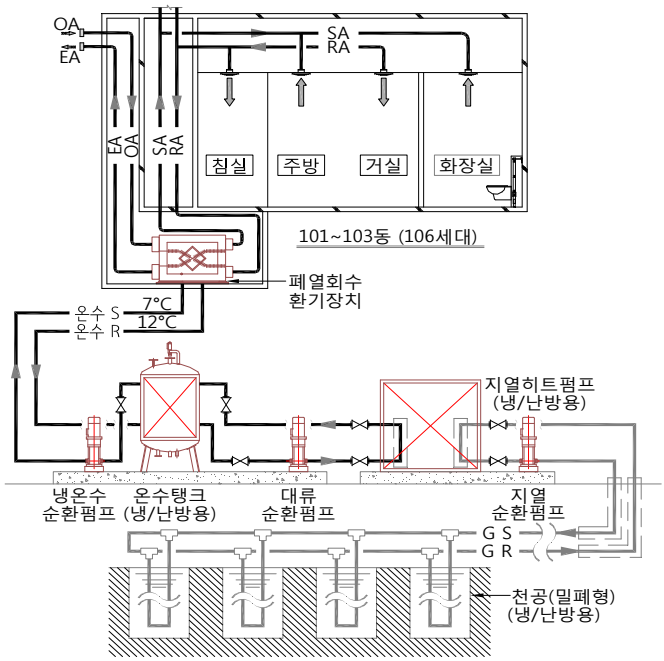
[PHI 예비 인증서]

열원설비 계획

"제로에너지 주택 실증단지" 는 독일 패시브 하우스 인증을 목표로 설계되어 고기밀, 고성능 창호, 외단열 등을 적용하여 건축물에서의 에너지요구량을 최소로 하였으며, 설비시스템에서의 에너지 제로를 구현하기위하여 화석연료의 사용을 배제하고 신.재생에너지를 이용하여 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명의 1차 에너지소요량을 제로 만들기 위한 최적화 모델을 구현하기 위하여 많은 비교 검토와 여러 전문가의 자문을 통하여 지열시스템을 이용하는 것으로 결정되었다.

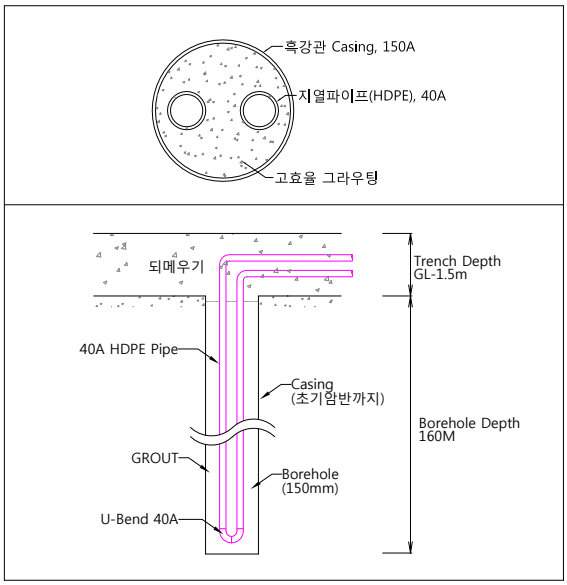


[온열원 공급 계획]

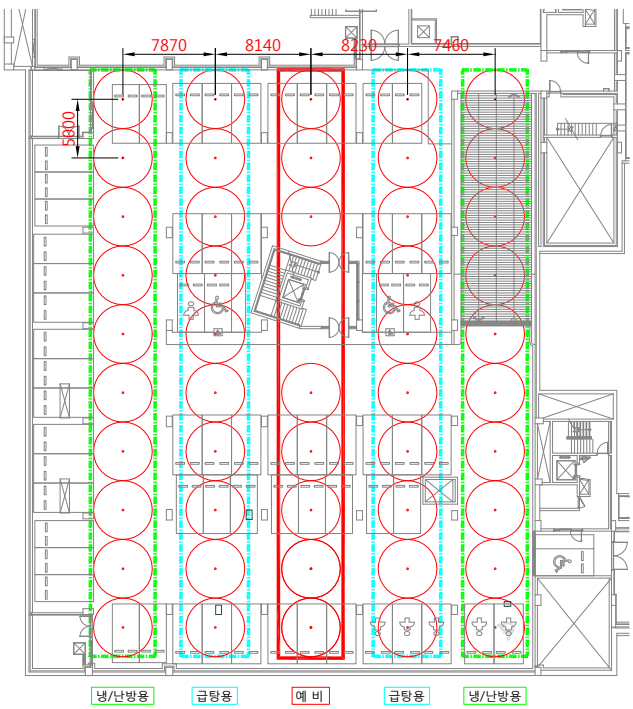


[냉열원 공급 계획]

(1) 고효율 히트펌프 및 그라우팅 적용



(2) 에너지밸런스 고려한 지중열교환기 배관계획 및 예비천공 적용



[지중열 천공배치도]

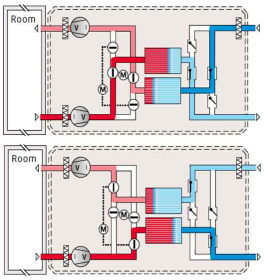
냉.난방 설비 계획

패시브 건축물로서 주택에서의 냉방.난방용 에너지요구량 및 소요량이 적게 산정되어 기존 주택대비 적은용량의 장비를 적용 함

(1) 냉방 : 공동주택 3개동에는 동별 중앙형 폐열회수환기장치에 지열시스템에서 생산된 냉수를 공급하여 환기에 의한 냉방이 되도록 계획하고, 입주자의 선호에 따라 추가로 개별에어컨 설치 가능토록 계획.

그 외 연립주택 및 단독주택, 땅콩주택, 홍보관은 개별EHP를 적용하여 개별제어가 가능토록 계획함.

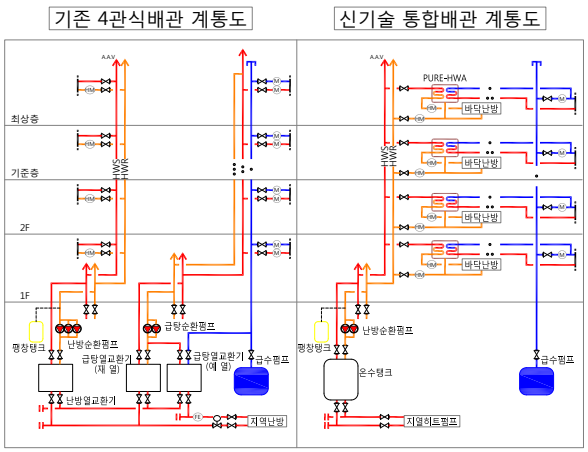
[폐열회수 환기장치 환기 및 냉방용]



- 90% 이상의 열효율
- 폴리르로필랜 재질의 2단계 열회수 전열교환 소자
- 에너지 절약형 EC FAN
- 습도회수율 70%
- 열회수, 통합 바이패스 기능

(2) 난방 : 중앙공급 난방 방식으로 지열시스템에서 온수를 생산하여 전 세대내 열전환기(PURE-HWA)를 적용하여 난방/급탕 통합배관시스템을 적용.

통합배관 적용으로 순환배관 계통에서의 열손실을 절감하여 에너지소요량을 줄일 수 있었으며, 배관공사비 절감 및 PS면적을 줄이는 효과가 있었다.



[기존배관 과 통합배관 비교]

환기설비 계획

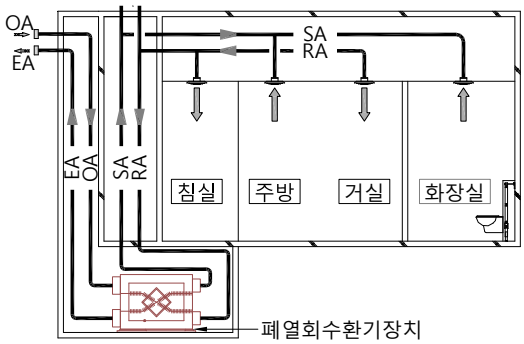
1) 중앙 환기 시스템

공동주택 3개동 동별 폐열회수 환기장치를 이용하여 쾌적한 실내 공기질 확보위한 동별 중앙환기방식 채택

공동주택 102동은 PHI인증기준에 적합한 PHI인증을 득한 환기장치를 채택하였으며 디퓨져 선정 및 덕트설계 역시 PHI인증 기준에 적합하도록 계획함.

<PHI인증 환기설비 설계기준>

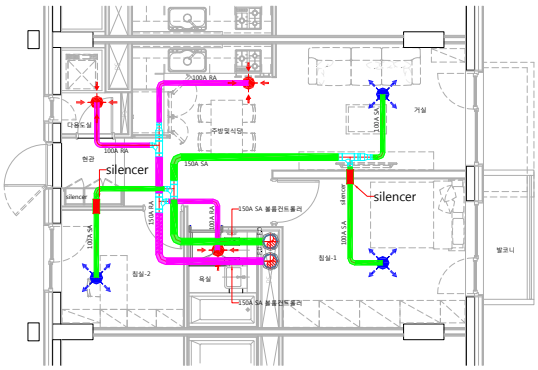
- 장비내 면풍속 및 덕트내 풍속은 1.2m/s 미만
- 전열교환 환기장치 효율 90% 이상
- 소음 및 기류저항을 고려한 덕트설계



[아파트 중앙 환기 시스템]

(1) 열회수형 환기장치 소음 최소화 기술

사일런서를 이용한 환기덕트 소음 최소화 및 실별 소음전달 차단



[단위세대 환기 시스템]

(2) 실내 공기순환 최적화 기술

표면을타고 기류가 이동하는 코안다효과를 활용한 제트디퓨져를 적정 위치에 설치

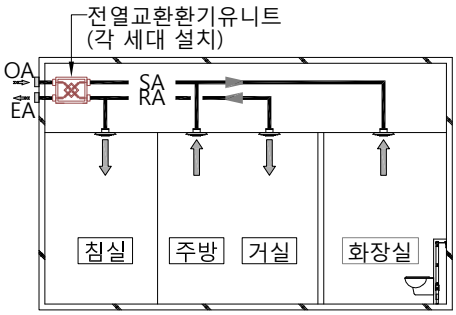
[제트디퓨져]

[코안다효과 열화상]

2) 개별 환기 시스템

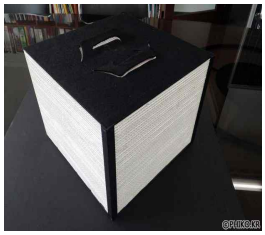
(1) 연립주택, 땅콩주택, 단독주택, 공용시설

세대별 실별 고효율 전열교환 환기유니트 적용하여 제어가 용이하며, 패시브 건축계획으로 외벽 관통 덕트로 인한 열손실을 차단하기 위한 환기덕트 시스템 계획



[단위세대 환기 개념도]

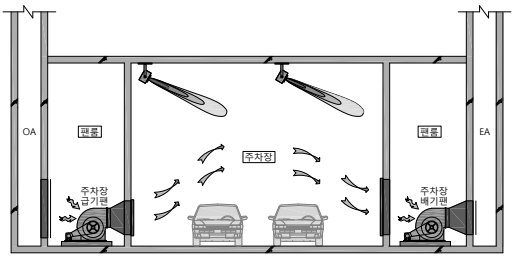
[고효율 전열교환기]



[열교환기 소자]

(2) 지하주차장

자연환기를 최대로 활용하고 CO농도 제어를 이용한 급.배기 및 기류유도팬 제어로 에너지 절감 및 오염공기 배출



[지하 주차장 환기 개념도]

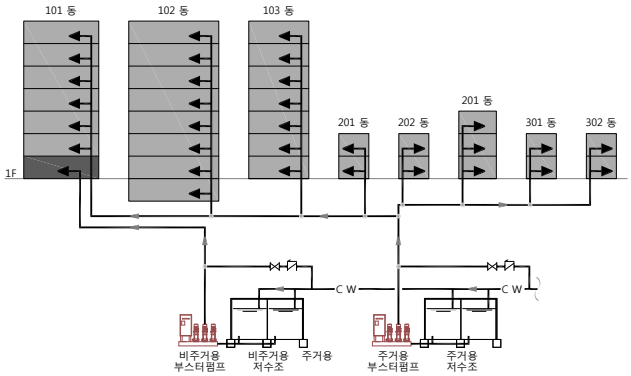
[고효율 송풍기]

[기류 유인팬]

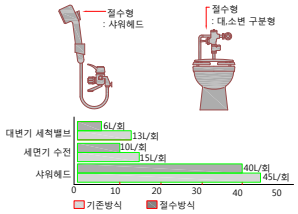
위생설비 계획

1) 급수설비

주거와 비주거로 시스템을 구분하여 구성하였으며 부스타펌프에 의한 상향공급 방식으로 지상7층으로 존 구분 없이 단일 존으로 배관계획하고 시직수 이용할 수 있도록 계획



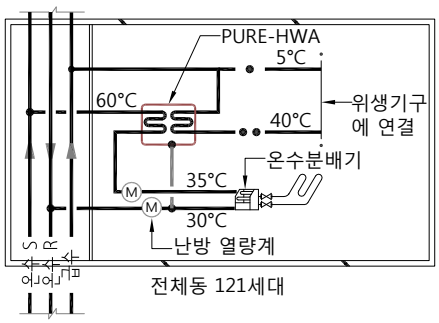
[원터치삽입식 접합]



[절수형위생기구]

2) 급탕설비

난방.급탕 통합배관 시스템으로 지열시스템 에서의 온수를 공급받아 세대내 열전환기(PURE-HWA)에 의해 40℃의 온수를 안정적으로 공급

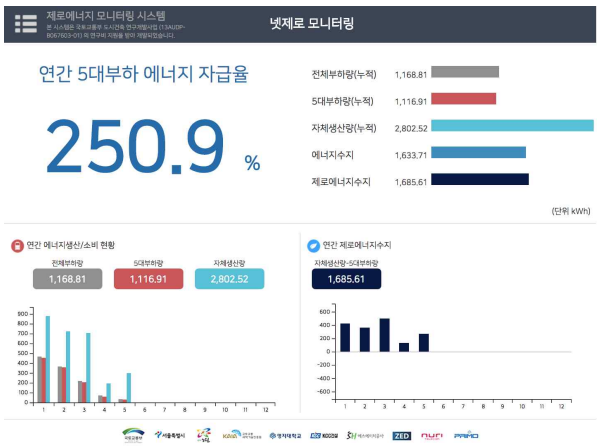


[열전환기 내부]

[열전환기 설치]

모니터링 시스템

모니터링 시스템은 실증단지 5대에너지 분리 계측을 위해 반영 되었으며 이를 통해 5대 에너지원에대한 정확한 소비량을 분석하고, 분석값에 의거하여 입주민들의 에너지 절감을 유도 제로에너지 하우스의 성능을 검증하는데 목적이 있다



[넷제로 모니터링]

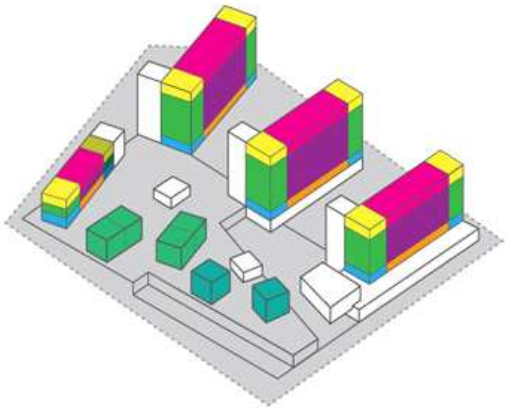
[에너지 생산]

주택 성능 평가

1) 기밀 테스트(Bloor Door Test)

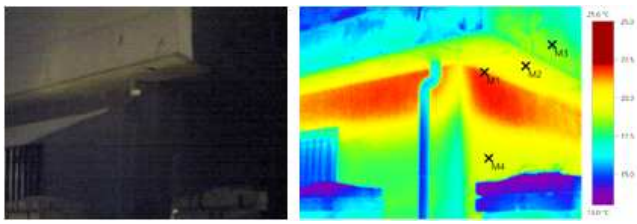
건물 외피의 틈새바람이 발생되지 않게 단열과 기밀이 연속되도록 계획하고 시공함으로서 외부와 내부공간의 차단을 목적으로 실시한다

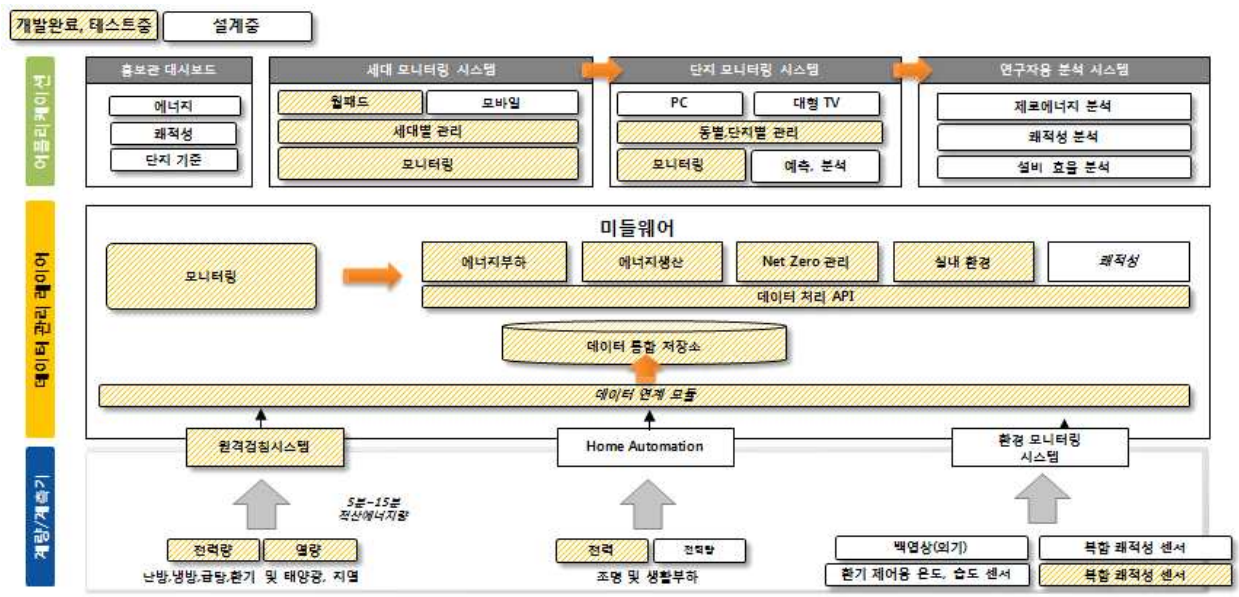
<제로에너지 주택 실증단지 기밀 진단 11개 존>



2) 열화상 카메라 테스트

육안으로 확인 불가한 열교 부위를 열화상 카메라로 테스트를 함으로서 미흡한 부분의 보완·수정을 목적으로 실시한다.





[제로에너지 주택단지 4대 IT 모디터링 시스템 구축]

맺음말

다양한 형태의 공동주택에서의 에너지요구량과 에너지 소요량을 최소로 하고 1차 에너지인 화석연료를 사용하지 않는 친환경 제로에너지 주택 단지의 설계, 시공 및 유지관리 기준 마련 및 국내 주택시장에서 보급 가능한 제로에너지 주택모델 제시를 목적으로 연구용역 수행 중이다.

패시브 건축기법을 도입, 개발하여 건축물에서의 에너지 요구량은 현저히 절감되었으나 기계설비 분야에서의 그에 맞는 적은용량의 장비. 자재 및 고효율의 장비 개발 등 순환계통의 단순화 등으로 설비 시스템에서의 에너지 소요량 절감에 노력을 기울여야 한다.

절대적으로 필요한 에너지 소요량 이상의 에너지 생산을 위한 신.재생 에너지 를 이용한 복합에너지시스템 으로 가장 안정적이고 많이 사용되어지고 있는 태양광 발전과 지열에너지 시스템을 적극 도입하여 화석에너지 사용을 하지 않으므로 온실가스 배출이 절감되고, 지구 온난화 예방에 작게나마 기여 할 수 있는 설계. 연구용역이 되었다.

(집필자 연락처 : 02-2025-8317)

참고문헌

1. 제로에너지 활성화를 위한 최적화모델 개발 및 실증단지 구축 계획서 및 워크샵 연구 보고서
2. 사단법인 한국패시브건축협회 자료실

[본 연구는 국토교통부(국토교통과학진흥원) R&D 사업의 연구비 지원에 의해 서울시 노원구, 명지대학교 산학협력단, KCC건설, SH공사, 제드엠제이건축사, 한국설비연구(주) 등 여러 기관의 공동연구로 4차년도 수행 중이며 참여 중인 이명주 단장님을 비롯한 모든 연구기관, 연구원의 노고에 감사드립니다.]