

공동주택 에너지 사용진단 및 결함사항 개선연구 - 건물구조체 및 바닥난방배관 설비의 열적특성을 중심으로 - A Study on the Energy Diagnosis and Defect Improvement of an Apartment Housing

- Focus on the Thermal Characteristics of Building Structure
and Floor Panel Heating System -

백 춘 기*
Choon Kee Paek

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

주거용 난방에너지는 건물 구조체의 외피 등을 통한 열 관류현상 및 환기 등에 의해 손실되는 것으로 추정하고 있으나, 에너지는 건축 및 설비시설 등과 같은 여러 경로를 통하여 다양하게 손실된다. 또한 난방 에너지의 공급기준을 결정하는 난방부하의 산정 역시 열량이 공급되는 한 시점에 국한되어 산정되고 있기 때문에, 건축설비의 제반 각 부문에 걸쳐 설계시 초기 설정 시스템 성능 수준과 현장 시공된 시스템의 성능 사이에 에너지 사용효율상의 상이점 발생등 다양한 문제점이 야기되고 있다.

이러한 현상들은 우리의 전반적인 시공기술 수준과 현장의 여건을 충분히 고려하지 못한 설계상의 기법적용에 그 원인이 있다.

따라서 본 연구에서는 건물 및 바닥 난방 배관부문에 한정하여 설계시 초기설정 시스템 성능과 현장 시공된 시스템의 성능 사이에 상이점이 발생하는 근본원인을 설계 및 시공측면의 2가지 방향으로 추적하여 에너지사용율을 극대화 시키면서, 결함사항의 발생을 억

제할 수 있는 방안과 시공관리를 위한 Check List를 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 실제 사용중인 공동주택을 대상으로, 건물 구조체 및 실내의 난방배관을 중심으로 80년대 초반의 공동주택부터 최근에 준공된 기존 단지를 선정하였다.

1) 건물 각부분 및 관련 설비부분에 적외선 카메라를 이용한 접사촬영으로 각 부분별 주요 결함사항을 검토한다.

2) 도면사례와 적외선카메라 실측자료의 비교검토를 통하여 에너지 측면에서의 시공상 체크 리스트를 작성한다.

3) 실측자료의 열성능 분석으로 문제점을 도출한 후, 이에 대한 대안을 작성한다.

4) 열성능의 평가 및 난방배관 내 유량분배현황을 파악할 수 있는 열류해석 방법을 개발하여 시공성과 경제성을 고려한 개선안을 작성하여 제시하는데 그 범위를 설정하였다.

2. 사용진단 개요

본 연구에서는 과제수행의 여건상 건축측

* 정회원, 대한주택공사 주택설비·에너지연구소

표 1. 실측실험 대상단지

단 지	준공년	세대별 면적M ²	보일러	구조
개 포 1 단지	1983	53.63/	개별식	RC
		61.57	연탄보일러	
고 덕 1 단지	1983	52.33	개별식	PC
			연탄보일러	
상 계 5 단지	1988	31	개별식 연탄보일러	W/S
상 계 7 단지	1988	49	중앙공급식 기름보일러	W/S
상 계 8 단지	1988	52	개별식 연탄보일러	P/C
상 계 10단지	1988	52+60	중앙공급식 기름보일러	W/S
수 원 매 탄	1983	59.13	개별식 연탄보일러	P/C
수 원 천 천	1988	59.13	개별식 연탄보일러	W/S
청 주 신 봉	1983	52.33	개별식 연탄보일러	R/C

면의 에너지 사용현황 파악을 중심으로 연속 난방시스템의 일종으로 고려할 수 있는 연탄 보일러가 설치된 기존의 공동주택을 대상으로 선정하여 다음과 같이 사례조사를 수행하였다.

2.1 조사대상 단지선정

본 연구에서는 표1과 같이 '83년부터 '88년까지 준공된 연탄보일러 아파트 7개 단지와 중앙난방지구 아파트 2개 단지를 대상으로 하였으며, 건축구조별로는 RC조 2개 단지, PC조 3개 단지, WS조 4개 단지를 각기 선정하여 사례조사를 수행하였다.

2.2 측정부위 선정

공동주택에서 사용하는 에너지의 손실현황을 검토하기 위하여 설문조사와 병행하여 건축부와 난방배관 설비부 등 2개 분야로 구분하여 실측조사 항목을 선정하였다. 건축부문의 경우, 각 주호 단위를 중심으로 에너

표 2. 현주택에 대한 불만사항

응 답	응답수	백분율	누계
실간온도차	124	23.1	23.1
바닥온도높고 실내온도낮음	3	0.6	23.7
바닥온도낮고 실내온도높음	68	12.7	36.4
일사량부족	74	13.8	50.2
실온변동폭이 심해서	82	15.3	65.1
난방공급시간 불균일	3	0.6	66.1
온수공급부족	4	0.7	66.8
난방시간부족	2	0.4	67.2
불만없음	176	2.8	100.0
-	36	100.0	100.0

지 손실과 직접적인 관계가 있는 건물외피 및 관련 구조체를 검토하였으며, 난방배관 설비 부문의 경우 열량을 발생시키는 보일러 및 온수분배헤더 그리고 난방코일 피치간 온도편차 및 각실간 유량의 균등분배 정도의 현황을 집중 분석하였다.

먼저 현 주택에서 발생하는 개괄적인 불만사항을 분석해 보면 표2와 같이 분석되었다.

개괄적인 불만사항 중 각실간의 유량불균등 분배에 의한 온도차에 대한 불만사항이 23.1%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 일간 실온의 변동 폭이 크다는 불만사항이 15.3%로 두번째를 차지하고 있다. 또한 실내온도는 높는데 비해 바닥표면 온도가 낮아서 불만이라는 사항도 12.7%로 무시할 수 없는 비율을 나타내고 있다.

열원기기가 가동되는 시점에서 바닥표면 온도의 경우 입주자들의 37.1% 정도가 보통 이하의 반응을 보이고 있으며, 실내온도는 22.9%가 보통 이하의 반응을 보이고 있다. 난방기기의 가동이 중단된 후의 시점에서는 이에 대한 비율이 더욱 높아져서 바닥은 93%, 실내는 74.8%~92.5%가 보통 이하의 반응을 나타내고 있다.

2.2.1 건물 구조체 부문

건물부문에서 나타나는 현상을 중심으로 결함에 대한 발생원인을 외기와 면한 구조체

및 개구부 주변에서의 단열성능, 열교현상, 결로현상에 의한 사항으로 분석하고, 이에 따른 측정부위를 설정하였다. 주호단위 내에서도 공급된 에너지가 손실되지만, 총체적 의미에서 에너지 손실량을 유도하기 위하여 본 연구에서는 그 영향을 무시하였으며, 건물부문의 중요 검토부와 내용은 다음과 같다.

- 건물 모서리 부분의 시공상 문제점 검토
- 단열재 관련 시공상 정확도 및 밀실도 검토
- 이질재 접합부위 관련 시공상 문제점 검토
- 개구부 종류 및 시공정도에 따른 에너지 손실현황 검토
- 야간단열막(커텐 등) 유무별 손실열량 현황
- 전후면 발코니 부분의 덧창 유무에 따른 에너지 손실현황 파악

2.2.2 난방배관 설비 부문

난방을 중단한 3~4시간이 경과했을때 바닥표면 온도변화에 대한 입주자의 느낌을 조사한 결과는 표3과 같다.

거주자들의 약 65.2% 이상이 서늘하게 느끼고 있다. 따라서 재료의 축열성을 이용하는 여열방열의 경우 축열효과가 크지 않으며, 그 효과가 3~4시간 정도도 유지되지 못하고 있음을 추정할 수 있다. 현행의 난방 시스템을 중심으로 따뜻함을 느낄 수 있는 효율적인 여열방열 지속시간은 “적정 온돌구조체 선정을 위한 실험연구”¹⁾에서 각종의 바닥 구조체 모두 약 2시간 전후인 것으로 나타나

표 3. 난방중단 3~4시간 후 바닥표면 온도에 대한 전반적 느낌

응답	응답수	백분율	백분율누계
차다	25	4.7	4.7
약간차다	143	26.7	31.4
미지근하다	181	33.8	65.2
보통이다	149	27.8	93.0
약간따뜻하다	32	6.0	99.0
따뜻하다.	6	1.0	100.0
-	536	100.0	100.0

연속난방의 적용등 아래와 같은 내용의 추가 검토와 대책이 필요한 것으로 사료된다.

- 실별 유량의 분배 정도
- 난방배관제 피치간 온도편차
- 난방배관 시스템의 하자 발생 정도 및 문제점
- 난방배관 시스템의 열효율 비교평가
- 난방배관 시스템별 공급수 및 환수간 온도하강 현상

3. 결함사항 분석

본장에서는 설계시 목표한 성능유지를 위하여 결함사항을 추적하고 그 사항에 대한 발생원인을 공사관리 측면과 시공 측면 등 2가지로 구분하여 분류 하고자 한다. 또한 건물 구조체 및 난방설비 시스템에 대해 시공 경과년수별로 나타나는 노후화의 정도를 병리학적으로 조명하여 열화도의 진행속도를 줄일 수 있는 그 근본원인을 밝히고자 하며, 각 부문별로 분류한 결함사항들은 다음과 같다.

3.1 건물 구조체 부문

그림 1과 그림 2는 건축부문에서 보편적으로 발생하는 각 부위별 결함사항을 적외선 카메라로 접사 촬영한 것이다.

개구부 주변 구조체를 측정된 화면을 통하여 분석한 결과, 천정면 및 벽사이(그림 1의 3번부위), 그리고 창틀과 그 주변 구조체 사

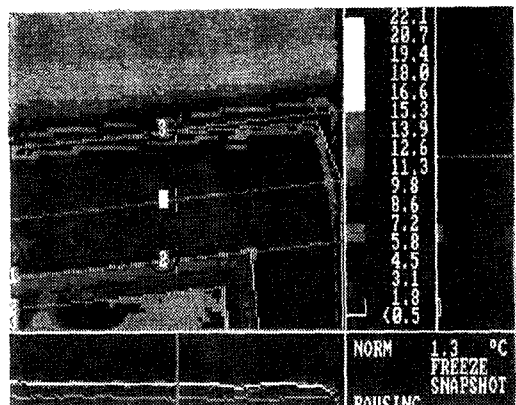


그림 1. 벽체의 열교 측정화면

이에서(그림1의 2번부위) 열교가 집중적으로 발생하고 있다. 또한 주목할 만한 사항으로는 개구부 주변의 응력집중 방향과 유사하게 열교현상이 나타나고 있다(그림1의 A부위). 여기서 열교(heat bridge)란 열손실이 발생되는 부위를 뜻한다.

따라서 이에 대한 문제점들을 고려하여 설계나 시공작업을 수행할 필요가 있는 것으로 사료된다. 다음의 표3은 적외선 카메라를 이용하여 측정된 화면들을 정리하여 건물 구조체 부문별로 정리한 주요 결함부위를 나타

낸다.

3. 2 바닥난방 배관설비 부문

난방코일 직상부를 측정된 결과, 일부 세대에서 바닥표면의 온도분포가 고르게 나타나고 있지 못한 것으로 나타나고 있다. 그 한 예가 그림2에 나타나 있다. 이에 대한 원인으로는 바닥미장이나 배관재의 수평시공 및 용접상태 불량 등에 기인한 것으로 추정된다. 다음의 표4는 바닥 난방배관 설비부문에 관련한 주요 결함부위를 나타낸다.

표 4. 건물구조체 부문별 결함부위

구 분	부 위	결함발생 현상	조 치 방 법	
건물구조체 부문	바닥구조체	-방바닥과 외벽체간 접합부	열교발생 결로현상발생	○ 단열구조보완 ○ 정밀시공
	외벽구조체	-구조체간 접합부 · 외벽과 내벽 · 외벽과 축벽 · 외벽과 천정면	열교발생 결로현상발생	○ 단열방법의개선 ○ 일체화시공유도 ○ 정밀시공
		-벽체와 보사이	열교발생 결로현상발생	○ 정밀시공
		-전열기구 접속구 주변	열교발생	○ 단열강화 ○ 정밀시공
	창호구조체	-개구부 주변 구조체	열교현상 결로발생 침기현상발생	○ 단열구조개선 ○ 정밀시공유도
	최 상 층 천정구조체	-창틀과 창틀간 접합부 -천정면 단열	열교현상	○ 단열구조보완

표 5. 바닥난방 배관설비 부문별 결함부위

구 분	부 위	결함발생 현상	조 치 방 법	
바닥난방배관설비 부문	바닥미장부	-바닥미장면 수평시공 -배관재 수평시공	온도확산 불량 열효율저하	○ 정밀시공유도
	배관시공부	-배관재 수평시공 -용접부위 상태 · 용접상태 · 용접부위 수평상태 -배관 분기점	열효율 저하 실간 온도차 확대에 따른 열효율 저하	○ 정밀시공유도

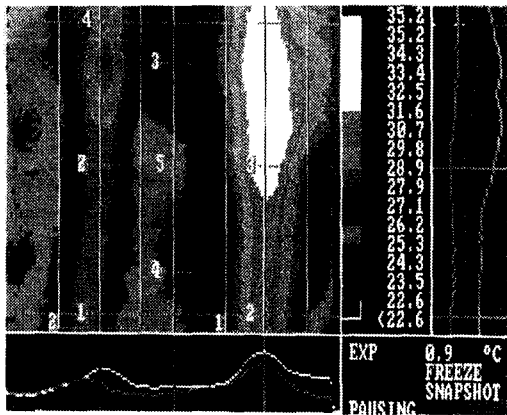


그림 2. 바닥표면 온도분포 화면

4. 건물부분 개선시안 검토

결함사항들이 집중적으로 발생하는 관련부위를 대상으로 주거성능의 향상을 유도하면서 에너지의 사용효율을 개선하기 위하여 건물 구조체 부분에서는 단열재의 개선, 단열공법의 개선, 창호설치 방법의 개선 및 발코니 활용 방안과 바닥난방 배관설비 부분에서는 실별 유량균등분배를 위하여 유량산정 프로그램을 개발하고, 각실별 코일배관 분기방법의 개선과 피치간 온도편차를 줄이기 위하여 유도한 개선안은 다음과 같다.

4.1 건물 구조체 부분

1) 단열재 개선

실측 전단지의 외벽의 경우 개구부 주변 구조체에서 결함사항들이 집중 발생하고 있다. 따라서 현행의 습식공법 하에서 발생하는 열교나 결로와 같은 에너지 결함사항의 발생을 극소화 하고, 초기목표 단열성능을 유지하기 위해서는 현행의 유리면을 공장 생산 시킬때 필름으로 밀봉하여 제작하도록 유도하는 것이 적절한 것으로 사료된다.

2) 단열공법 개선

단열 시공법 별로 구조체 내외부의 온도 편차는 외단열, 내단열 및 중단열 구조체의 순서로 분석되었다. 외단열 구조체의 경우, 현재 시공성, 재료 및 시공비의 원가측면상 적

용하기에는 난점이 있으므로, 중단열을 내단열 구조체로 변경시키는 것이 가장 효과적인 것으로 평가되었다.

3) 창호의 설치방법 개선

현행의 경우 구조체 접촉면과 개구부의 창문틀간 접촉면의 시공재료 특성상 현장에서 부재 상호간의 정교한 평활도를 유도하는 것은 용이하지 못하기 때문에, 단열재를 이용하여 결로 방지턱을 설치하는 것이 현장의 적용성을 높이면서 실내환경 성능의 향상을 유도할 수 있다.

4) 발코니 활용방안

발코니 전면에 샷쉬를 설치하여 비 난방공간으로 활용하면 단창의 발코니 전면 샷쉬 설치시 26.8%²⁾ 이상의 에너지 절감효과를 유도할 수 있다. 따라서 이에 대한 법규 등 제약적인 요인에 대한 재 해석이 필요한 것으로 사료된다.

4.2 바닥난방 배관설비 부분

1) 실별 유량균등 분배

유량을 산정할 때 사용하는 Darcy-Weisbach의 이론식은 그 구성이 유속을 가정하도록 구성되어 있기 때문에, 유량 및 저항값의 정밀도가 떨어지는 난점이 있으며, 또한 유량-마찰 손실표를 이용한 수작업으로 계산상 오차가 증가하여 유량의 분배현황이 정확하게 파악되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 유량의 정확한 분배현황 파악이 가능하도록 유속을 산정할 수 있는 이론식의 개발 및 이에 따른 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 그 내용은 다음과 같다. 폐쇄회로에서 유속을 결정하는 이론식 및 실험식 등은 여러가지가 있으나, 일반적으로 Hazen-Williams의 이론식이 기본적으로 적용되며 이에 근거한 유속 V 는 다음과 같다.

$$V = 0.35464 \times C \times d^{0.68} \times S^{0.54} \quad (\text{m/sec})$$

V : 유 속

C : Hazen-Williams 계수(130)

d : 배관재의 내경(m)

S : 유체의 마찰저항($\text{m} \times \text{Aq/m}$)

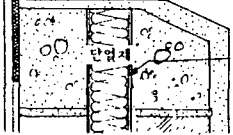
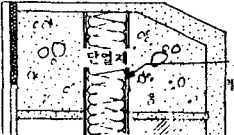
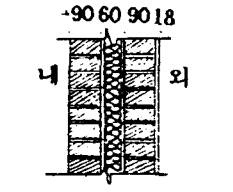
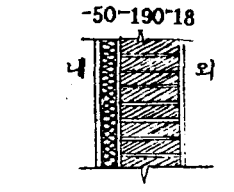
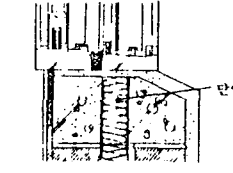
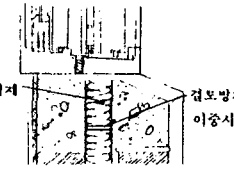
그러나 현재의 유속산정 이론식은 관마찰 저항과 관경 d 의 함수관계로 구성되어 있는데 마찰저항은 유속에 의해 산정되는 함수이므로, 유속이 이론식 양편에 위치하는 모순이 발생하게 된다. 따라서 정확한 유체의 저항값을 산정하기 위해서는, 반드시 정확한

유속산정이 선행되어야만 한다.

Hazen-Williams 이론식을 유속에 대하여 Mies 등 여러 학자들의 실험식을 종합하여 정리하면 다음과 같다.

$$V = \left(0.35464 \times C' \times \frac{\mu^{0.13} \times \rho^{0.54}}{d^{0.05}} \right)^{18.182}$$

표 5-1. 건축부문 개선시안

		현행안	개선안	성능향상	비고
외벽단열	단열재 시공방법	 외벽체 단열재로 유리면 사용	 공법좌동, 유리면양측에 폴리에틸렌 필름 밀봉사용	K값 강화 (0.002 향상) 내부결로방지에 따른 구조체 내 구연한 증가	작업효율 향상
	구조체 시스템	 0.5B 이중 벽돌 조 중단열구조체 적용	 중단열구조체를 1.0B내단 열 구조시스템으로 변경	K값 동일 온열 환경 개선 구조체내구성증가 내부결로방지	기존PC 구조체 기사용
능개선	개구부 인방시공	 콘크리트 인방에 단열재삽입, 제작	 인방높이 기준으로 0.5cm 정도매립위치변경	열교방지, 침기 방지, 결로방지에 따른 구조체 내구성 증대	결로방지턱 제작으로 열교 및 결로현상 방지
	에너지절감방안	발코니 전면에 샷시창문 미설치	발코니 전면에 샷시창문 설치	발코니 단창 샷시 설치시 26% 이상의 에너지절감 효과기대 차음성능개선	전용면적의 증가에 따른 현행법규 위배

$$C' = \left(C \times \frac{0.316}{2000g} \right)^{0.84}$$

- g : 중력가속도 (9.8 m/sec²)
- μ : 유체의 동점성 계수
- ρ : 유체의 밀도
- C : (130: 동관의 경우)

2) 배관분기법 개선

실간의 온도차를 줄이기 위해서는 온수 분배기를 중심으로 분기되는 각 회로망 별로 저항값이 유사하도록 배관시스템이 구성 되어야 한다.

현행 연탄보일러 시스템의 경우에 대해서도 온수분배기(Header)를 적용하여 공급 주관에서 독립적으로 먼저 분기 시키는 시스템을 적용할 때, 조건이 열악한 북측방의 열효율 향상도 가능할 것이다.

3) 피치간 온도편차 개선

난방 배관재를 온돌바닥에 매설시킬때 배관재 직상부와 피치간에서 온도편차가 발생하는 것은 현행 난방시스템의 특성상 당연한 현상이지만, 편차폭을 축소시킬 수 있는 방향으로 시스템 설계가 수행되어야 한다. 따라서 축열량, 유체저항 및 배관재의 관수량 등

표 6. 바닥난방 배관설비 부문별 개선시안

	현행	개선내용	성능향상	비고	
유량산정기법	유량산정시 수작업으로 유량분배현황 파악	○ 유량산정정량화기법개발 - 유속산정식의 개발에 의한 유량산정용 컴퓨터 프로그램 개발	유량산정정량화로 실간유량분배현황 정밀검사가 가능 실무부서업무무효율 증대		
분기법 개선	주공급관에 서각실분배 주관분리	○ 공급주관에서 각실분기수 1개소 추가하여 북측방 먼저 유량공급 유도 - 북측방 단독공급 또는 Header의 개념으로 변화	북측방 열성능 향상으로 실간온도차 축소-열성능 18% 이상 향상	천안성정시범사업 지구를 대상으로 한 실측 실험결과를 근거로 함.	
피치간 온도차 개선	기존피치 기준에 메탈라스 #300 사용	○ 좌동에 와이어메쉬 #8~6" 적용 - 바닥균열보강용으로 기사용 중인 메탈라스대신에 와이어메쉬 #8~6" 대체, 밀착 시공		바닥구조체의 변경 및 피치기준변경, 분기법의 동시개선 시원가절감 유도 가능	
		○ 바닥구조체변경			
		기존구조체			개선구조체
		미장물탈 40 자갈층 60 누름물탈 30 유공 스치로폴 20 (150)			미장물탈 40 자갈층 60 - 무공 스치로폴 20 (120)
피치기준 200, 230, 250	250, 280, 300 북측방 200 적용				

을 조정하여 구성하고, 균열 보강재로 사용 중인 메탈라스 #300을 와이어메쉬 #8~6"로 변경시킬때 배관재의 피치간 온도편차 축소가 가능하다.

이상과 같이 배관설비 부문별 개선시안의 내용 및 예상효과는 표5와 같다.

5. 결 론

건물 구조체 및 바닥난방 배관부문에 대한 설계시의 초기설정 시스템 성능과 현장에서 시공되어 사용중인 각 부문별 성능간 편차를 극소화하여 에너지를 절감시키고, 주택의 열환경을 향상시키기 위한 결론은 다음과 같다.

5. 1 설계개선 측면

1) 단열공법 개선

단열 시공법별로 외기 및 실내온도의 변화와 재료자체의 축열성을 고려한 구조체 내외부에 걸리는 온도편차는 외단열, 내단열 및 중단열 구조체의 순서로 분석되었다. 외단열 구조체의 경우, 시공, 재료 및 시공비의 원가측면상 적용하기에는 난점이 있으므로, 중단열을 내단열 구조체로 변경시키는 것이 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

2) 발코니 활용방안

발코니 전면에 샷쉬를 설치하면 26.8%이상의 에너지 절감효과를 유도할 수 있다. 따라서 이에 대한 범규 등 제약적인 요인에 대한 재해석이 필요한 것으로 사료된다.

3) 배관분기법 개선

실간의 온도차를 줄여 에너지 사용효율의 향상을 유도하기 위해서는 온수분배기를 중심으로 분기되는 각 회로망별로 저항값이 유사하도록 배관시스템이 구성되어야 한다. 현행 연탄보일러 시스템의 경우에 대해서도 온수분배기를 설치하여 온열환경이 가장 열악한 북측방은 독립적으로 먼저 분기시키는 시스템을 적용할때 열효율 향상이 가능하다.

4) 피치간 온도편차 개선

난방배관재를 바닥에 매설시킬때 배관재 직상부와 피치간에서 발생하는 온도편차는 축

열량, 유체 저항 및 배관재의 관수량 등을 조정하여 구성하고, 바닥균열 보강재로 사용 중인 메탈라스 #300을 와이어메쉬 #8~6"로 변경시킬때 배관재의 피치간 온도편차 축소가 가능하다.

5. 2 시공개선 측면

1) 단열재 시공법 개선

스치로폴을 사용한 축벽의 경우 실측 전단에 걸쳐 외벽의 경우 개구부 주변 구조체에서 결함사항들이 집중발생하고 있어 현행의 습식 공법하에서 발생하는 열교나 결로와 같은 에너지 결함사항의 발생을 극소화하고, 초기목표 단열성능을 유지하기 위해서는 현행의 유리면을 공장생산 시킬때 필립으로 밀봉하여 제작하도록 유도하는 것이 바람직하다.

2) 창호의 단열성능 개선

현행의 경우 구조체 접촉면과 개구부의 창문틀간 접촉면의 시공재료 특성상 현장에서 부재 상호간의 정교한 평할도를 유도하는 것은 용이하지 못하기 때문에, 단열재를 이용하여 결로방지턱을 설치하는 것이 현장의 적용성을 높이면서 실내 환경성능의 향상을 유도할 수 있다.

향후 건물 구조체에서 현재의 각종 난방 시스템과 연계하여 최적의 단열공법 연구와 주택의 열설비에 대한 에너지 사용진단과 결함사항에 대한 개선연구가 계속되어 주택의 에너지사용 효율을 증대해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 이정호, "적정온돌구조체 선정을 위한 실험연구", 대한주택공사 연구보고서, 1988.
2. 이효범, "자연형 태양열 부착온실시스템의 디자인방법에 관한 연구", 연세대 석사, 1986.
3. 백춘기 외, "공동주택 에너지 사용진단 및 결함사항 개선연구", 대한주택공사 연구보고서, 1989.