

既存單獨住宅의 에너지節約을 위한 改修方案研究

Study on Retrofit Measures for Energy Conservation in Existing Residence

朴相東*, 朴孝洵*, 柳憲馨*, 閔晶鉉*

ABSTRACT

For studying this project, we selected a 2-storied detached house as a sample which was constructed in July 1976, the last year of the 3rd 5-years economic and social development plan and also the middle year between the years of the 1st oil crisis and the 2nd oil crisis, located in Gayang-dong, Daejeon City. The contents and scope of this project was to produce retrofit measures by theoretically analyzing the building energy use between both of pre-retrofit and post-retrofit conditions of this sample house, and to compare and analyze the predicated data with experimented data under pre-retrofit condition.

It is suggested in this report that we have to develop rational and practical retrofit measures for energy conservations in existing residences.

1. 序 論

産業의 發展과 더불어 高度의 經濟成長으로 多樣한 種類의 建築物이 여러 部門에서 急進의 增加되어 왔으며 또한 國民의 住居水準도 현저하게 向上되었고, 國家의 住宅普及의 影響으로 住宅의 數도 增加一路에 있다.

특히 우리나라와 같이 겨울이 춥고 暖房期間이 比較的 긴 狀況下에서는 住宅에서 消費되는 에너지의 量도 全體에너지 消費量中 많은 比重

을 차지하고 있으므로 이미 建設되어 있는 建築物에서도 가장 많은 既存 單獨住宅을 改修하마로서 에너지 消費節約과 그 利用合理化를 積極的으로 推進하는 것이 切實하다고 보며 이에 대한 效果的인 解決策을 講究하여야 하므로 既存 單獨住宅에 改修를 통한 에너지節約이 效果的으로 이루어질 수 있도록 時急히 研究, 提示되어야 하겠다. 예를 들면 改修를 위한 에너지 解析, 基本的인 改修計劃樹立, 斷熱材料의 適正한 選擇方法, 改修施工方法, 新斷熱材料의 開發 및

* 韓國動力資源研究所 建物研究室

普及, 各種 惠澤을 통한 改修施行 誘導, 改修示範을 통한 弘報와 普及등을 積極的으로 推進하는 것 등이다. 그러나 너무 에너지 節約的인 側面에만 置重하면 住宅에서의 快適住居 環境의 造成을 소홀히 取扱하기 쉬우므로 住居環境造成에 特히 留意하여 施行해 나가는 것이 바람직하다고 보며 본 研究에서는 研究對象 모델 既存單獨住宅을 選定하여 에너지 解析과 各種 實驗을 통하여 問題點(斷熱性能, 斷熱構造, 設備 시스템)을 抽出하고 에너지 節約을 위한 改修方案을 提案하는 順序로 同研究를 遂行하였다.

2. 既存 모델單獨住宅의 選定과 概要

既存單獨住宅의 에너지節約을 위한 改修方案을 效果的으로 遂行하기 위하여 研究遂行目的에 付合되는 條件을 몇가지로 區分, 一定한 基準, 즉 1, 2次 石油波動의 中間年度이자 第3次 經濟社會 發展5個年計劃의 마지막 年度에 竣工된 住宅을 設定하여 모델單獨住宅을 選定하게 되었으며 內容은 다음과 같다.

2-1 選定된 모델單獨住宅의 全景



[그림 2-1] 選定된 모델住宅의 全景

2-2 選定된 모델單獨住宅의 概要

<表 2-1> 모델單獨住宅의 概要

內 容	모델單獨住宅의 概要
施工年度	1976.7.28 (竣工)
位 置	충남 대전시 가양동
지붕구조	1層: 평지붕, 2層: 경사지붕
住宅構造	조적조 2層
規 模	28.53 (坪) 1層: 16.97, 2層: 7.84 其他: 3.72
暖房方法	1層: 油類보일러 2層: 煙炭보일러
家族數	1層: 4人, 2層: 3人
화장실위치	1層: 内部, 2層: 外部

2-3 住宅敷地 및 周圍環境

모델住宅의 敷地는 地盤이 견고하고 排水가 容易하며 항상 新鮮한 空氣와 最大의 日射를 받을 수 있는 住居地域이며 또한 主道路에서 약 100 m 거리에 있고 高速터미널에서도 1 km 안팎의 거리에 있어 交通에 便利할 뿐 아니라 騒音과 먼지의 公害로부터 保護받고 있는 快適의 生活 環境條件을 갖고 있다.

2-4 建築構造

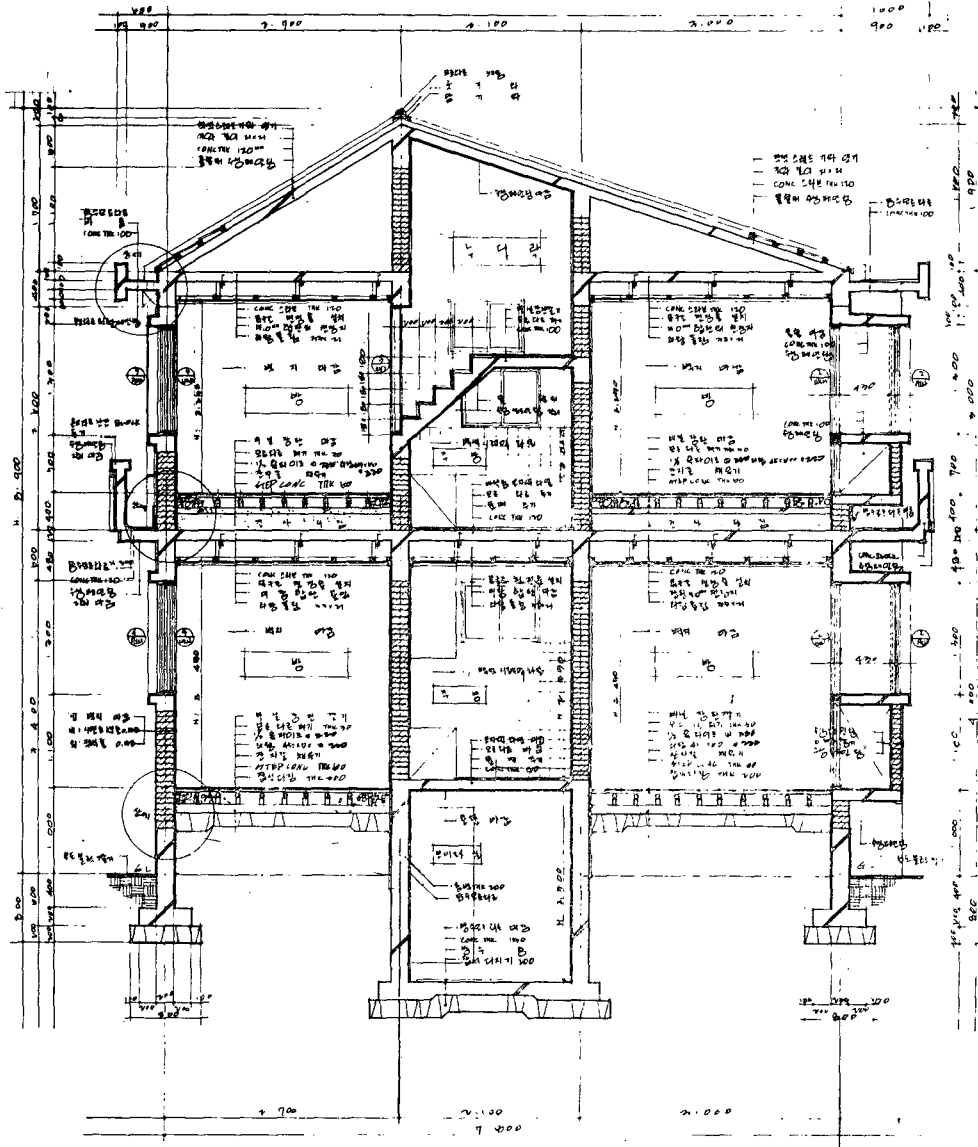
2層 지붕은 傾斜지붕, 1層 지붕은 平지붕으로 되어 있으며 赤벽돌로 된 2層 組積造 建物로서 全面 一部에는 花崗石으로 化粧되어 있고 非暖房空間一部에는 모자익타일과 세라믹타일로 施工되어 있다.

2-5 設備構造

暖房形式에서 1層의 居室은 對流를 이용한 對流式 放熱器 (radiator)가 設置되어 있으며 各房은 輻射를 利用한 溫水溫突로 되어 있다. 또한 1層은 中央集中式 油類用 보일러가 사용 되었으며 分離主管式 混合型으로 되어있고 2層

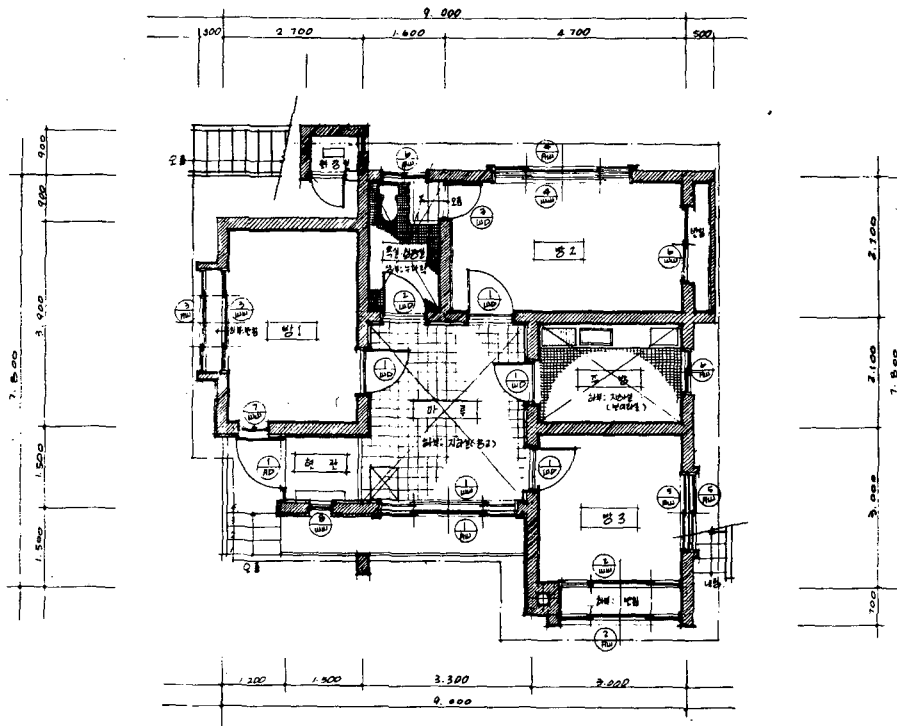
은 煙炭보일러가 設置되어 있다. 그리고 廚房이나 화장실에서 使用하는 溫水는 따로 溫水탱크가 마련되어 있지 않아 보일러가 運轉되지 않을시는 使用하기 어렵게 되어 있으며 방2는 하나의 溫水 供給管에 2개의 還水管이 設置되어 있는 것이 調査結果 밝혀졌다.

3. 모델住宅의 設計圖

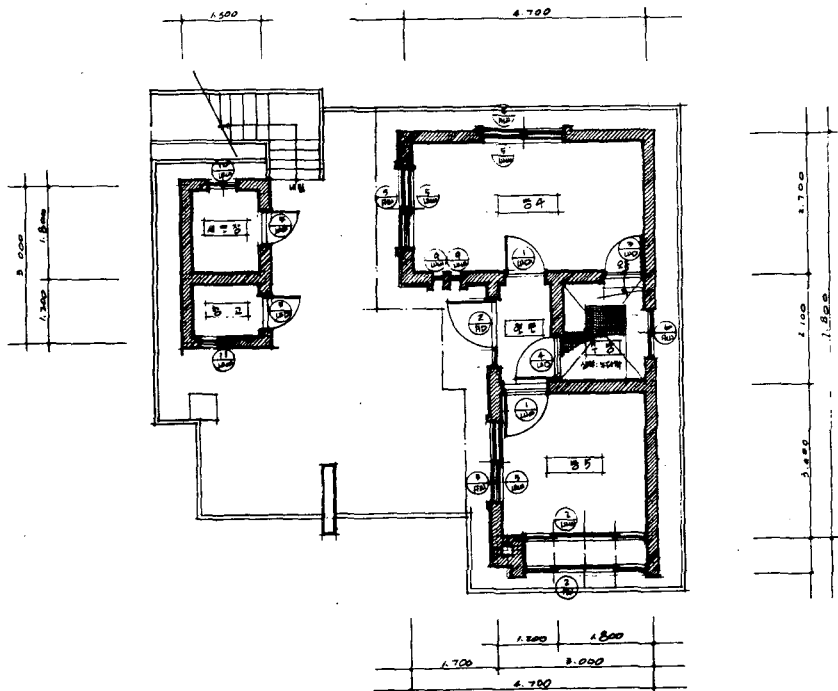


[그림 3-1] 縱 斷面圖

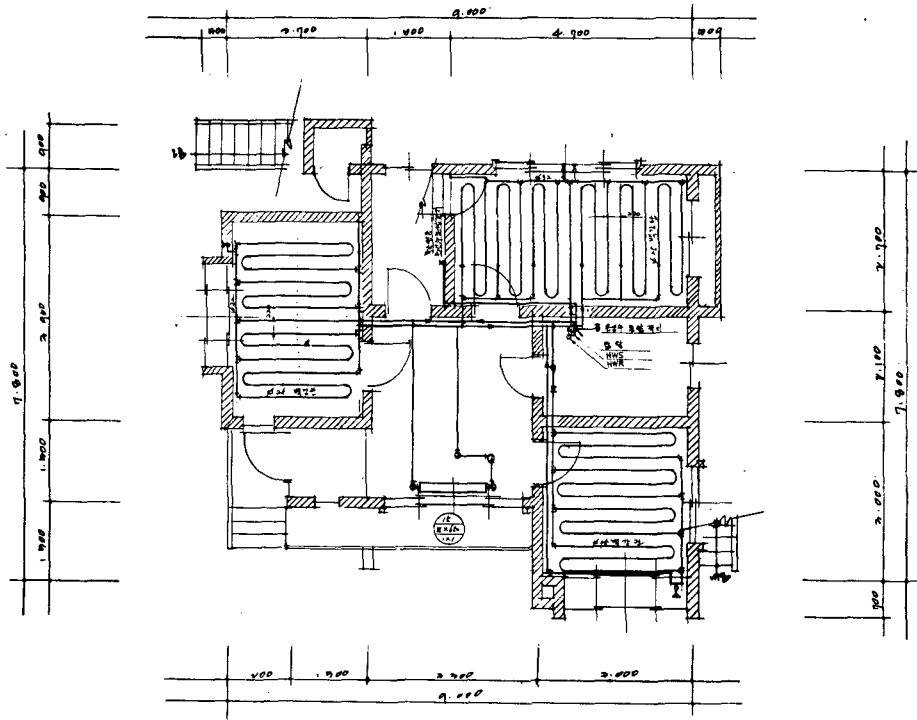
既存 單獨住宅의 Energy 節約을 爲한 改修方案 研究



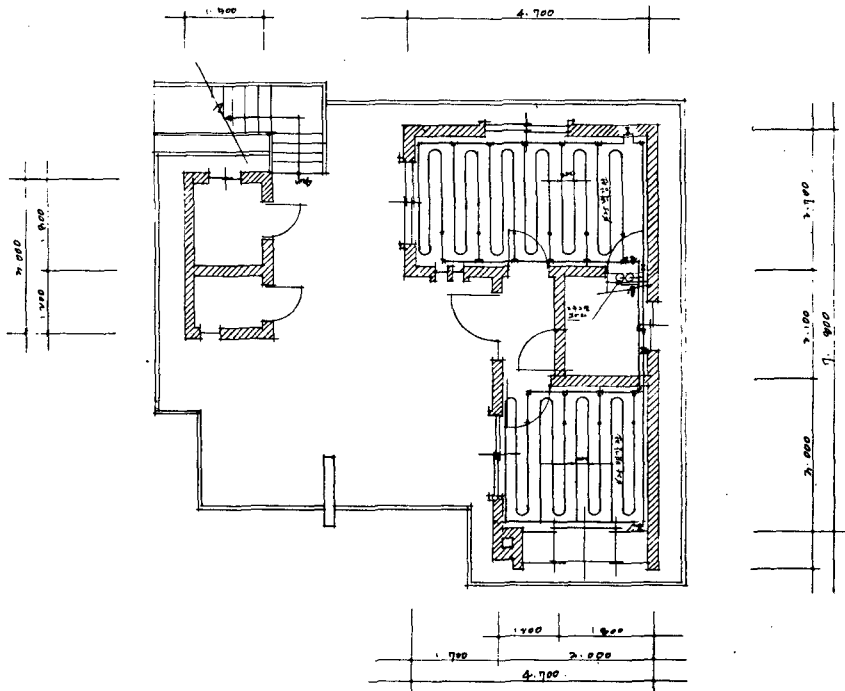
〔그림 3-2〕 1層 平面圖



〔그림 3-3〕 2層 平面圖



[그림 3-4] 1層 暖房配管圖



[그림 3-5] 2層 暖房配管圖

4. 모델住宅의 斷熱缺陷分析

住宅에서의 에너지 節約을 위한 斷熱材와 施工方法도 많이 開發되게 되었으며 建築法으로 까지도 規制値를 規定 強化하여 施行하게 되었으나 施工時에 施行者의 斷熱材材料의 變更 및 故意的인 斷熱材의 未施工, 또한 斷熱施工時의 施工未熟등 여러가지 施行上의 問題點으로 要求하는 斷熱效果가 형식에만 그치고 있는 實情이다. 본 研究에서는 對象모델 住宅의 출입문, 창문, 바닥, 천정, 벽, 보일러 配管등 各 部位別로 赤外線카메라(AGA Thermovision 750)를 利用 測定分析하여 본바에 의하면 창호부분에서는

氣密性的의 未治이, 바닥部分에서는 斷熱材 未施工으로 熱損失이 많이 나타났으며 外部에 면해있는 天井部分인 경우와 壁體의 경우에도 적지 않은 損失이 測定되었다. 또한 보일러 部分에서는 보일러자체의 保温의 결여가 있었을 뿐 아니라 配管등에 있어서는 斷熱材가 設置되어 있어도 斷熱材 사이의 이음매가 허술하며 熱損失의 原因이 되고 있으며 配管에 裝置된 各種 附屬機具와 連結部分에도 斷熱材가 考慮되지 않아 配管을 통한 熱損失이 크게 있음이 나타났다.

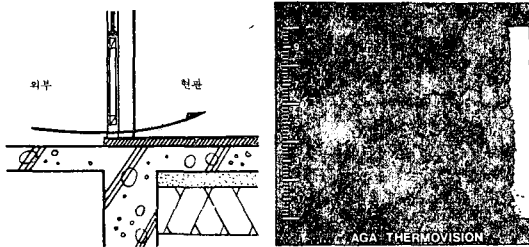
[그림 4-1~4-7] 는 모델住宅의 斷熱缺陷部位의 단면도, 測定部位, 缺陷部位와의 溫度測定比較를 보여주고 있다.

가. 出入門 氣密 缺陷

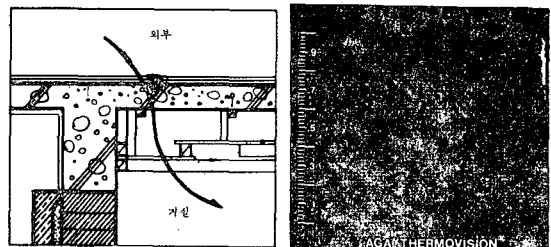
實驗條件 날씨 : 흐림 外氣 : 0
內氣 : 11.1

나. 天井 斷熱 缺陷

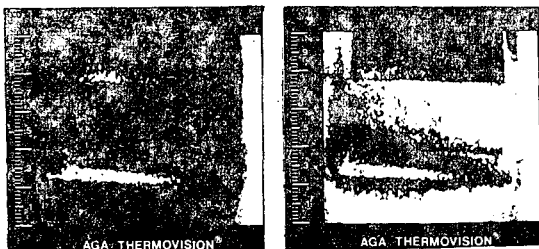
實驗條件 날씨 : 흐림 外氣 : - 1
內氣 : 11.7



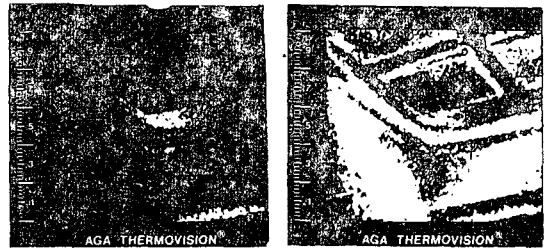
(a) 出入門 斷面圖 (b) 測定部位



(a) 天井 斷面圖 (b) 測定部位



(c) 斷熱 缺陷部位 (d) 缺陷部位 溫度比較 $\Delta T = 0.8 \text{ } ^\circ\text{C}$



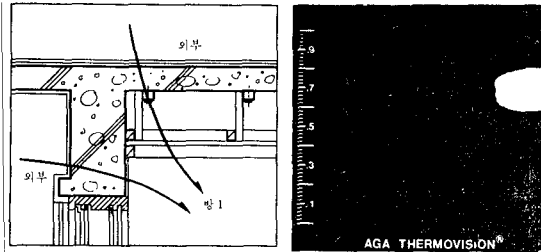
(c) 斷熱 缺陷部位 (d) 缺陷部位 溫度比較 $\Delta T = 0.6 \text{ } ^\circ\text{C}$

[그림 4-1] 현관출입문

[그림 4-2] 현관천정

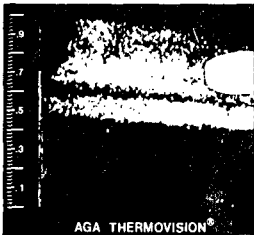
다. 外壁과天井 斷熱 缺陷

實驗條件 날씨 : 흐림 外氣 : 2.2
內氣 : 12.1

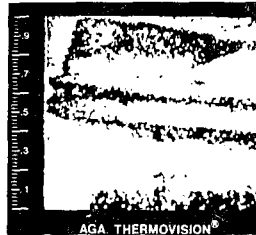


(a) 外壁과天井 斷面度

(b) 測定部位



(c) 斷熱 缺陷部位

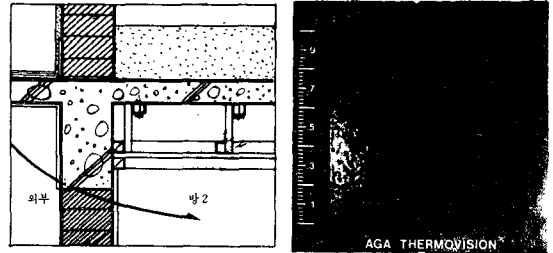


(d) 缺陷部位 温度比較
 $\Delta T = 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$

[그림 4-3] 방 1 의 外壁과天井

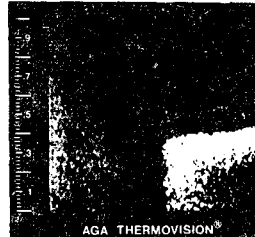
라. 外壁 斷熱缺陷(1)

實驗條件 날씨 : 흐림 外氣 : -1.4
內氣 : 14.2

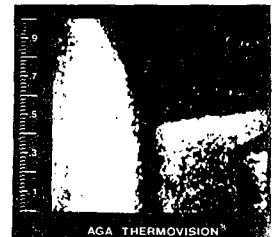


(a) 外壁 斷面圖

(b) 測定部位



(c) 斷熱 缺陷部位

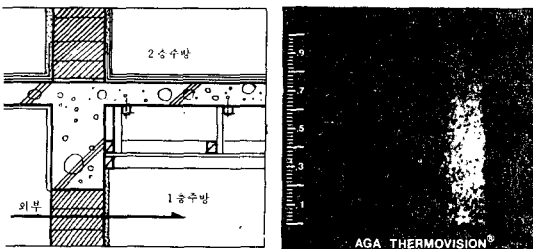


(d) 缺陷部位 温度比較
 $\Delta T = 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$

[그림 4-4] 방 3 의 外壁.

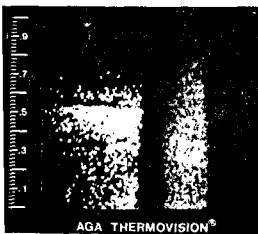
마. 外壁 斷熱 缺陷(II)

實驗條件 날씨 : 흐림 外氣 : -1
內氣 : 12.4

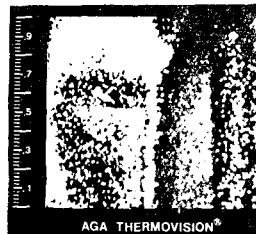


(a) 外壁斷面圖

(b) 測定部位



(c) 斷熱 缺陷部位

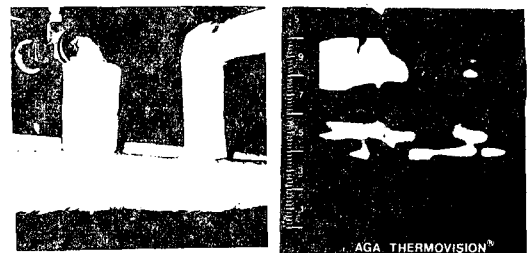


(d) 缺陷部位 温度比較
 $\Delta T = 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$

[그림 4-5] 廚房外壁

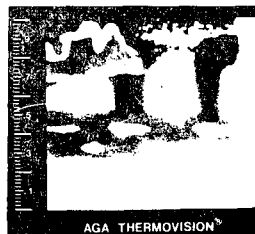
바. 配管 斷熱 缺陷(1層)

實驗條件 날씨 : 흐림 外氣 : -1.3
內氣 : 6.1

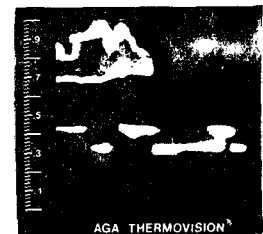


(a) 配管斷熱

(b) 測定部位



(c) 斷熱缺陷部位

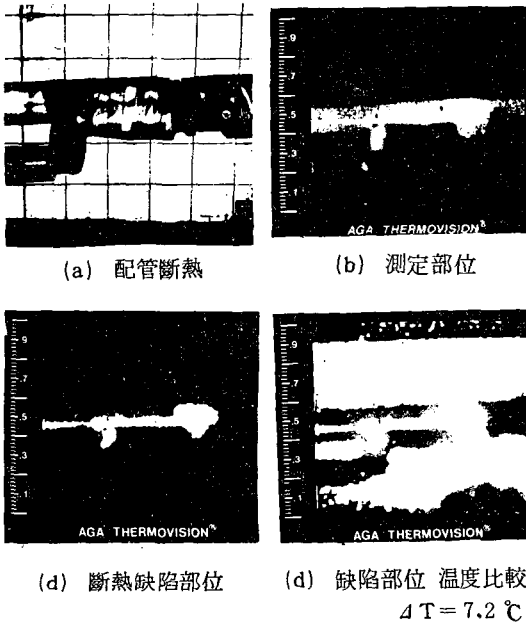


(d) 缺陷部位 温度比較
 $\Delta T = 11.9 \text{ }^\circ\text{C}$

[그림 4-6] 1層配管

사. 配管斷熱缺陷(2層)

實驗條件 날씨 : 흐림 外氣 : -1.7
內氣 : 6.8



[그림 4-7] 2層配管

5. 모델住宅의 實驗과 分析

選定된 모델住宅의 各室 溫度變化와 1층 暖房 및 溫水에 使用된 消費에너지를 일정한 期間 ('81.11.27~12.3) 동안 實驗을 통하여 比較測定 分析하였다.

5-1 各室의 溫度測定比較分析

測定時에 使用된 溫度調節裝置는 1층방 2에 設置하였고 溫度는 20℃에 고정시켜 놓았으며 各室의 溫度와 外氣溫度는 1時間 間격으로 測定하여 平均값을 구하였다.

가. 暖房空間

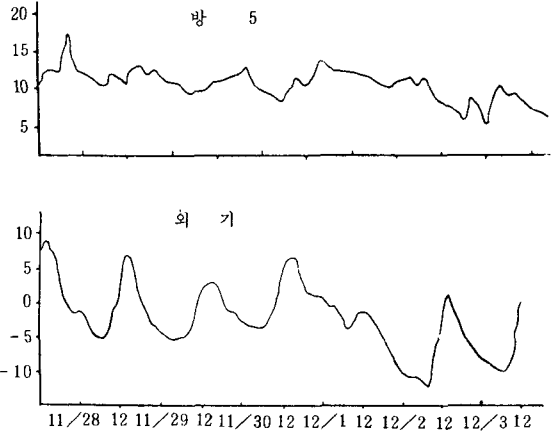
實驗에 의하면 各 暖房空間의 平均溫度가 1층에서 房1은 11.3℃, 방3이 15.8℃ 居室

<表 5-1> 各室의 平均溫度 및 最高·最低 溫度 比較

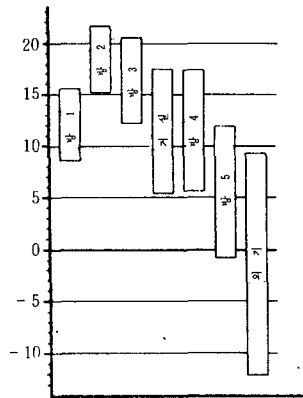
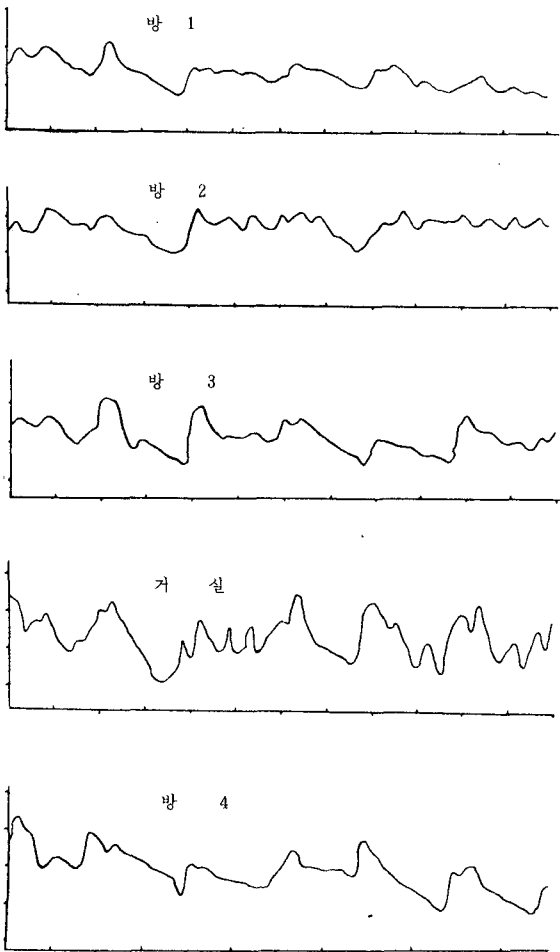
구분	1층	평균온도		2층	평균온도		비 고	
		최저	최고		최저	최고		
난방공간	방 1	11.3℃		방 4	10.6℃		의기 평균온도 -2.2℃ 최고 9.3℃ 최저 -12.1℃	
		8.5	15.5		5.6	17.4		
	방 2	19.0℃		방 5	4.7℃			
		15.1	21.6		-0.9	11.9		
	방 3	15.8℃						
		12.2	20.5					
거실	11.4℃							
	5.4	17.5						
비난방공간	주방	12.5℃		주방	4.4℃			
		9.1	15.4		-0.5	6.6		
	욕실	10.8℃		현관	0℃			
		8.2	16.8		-4.1	5.8		
	지하실(창고)	-0.2℃		다락	0.3℃			
		-6.8	5.5		-1.7	3.4		
	다락	8.8℃		박공	3.9℃			
		6.9	11.3		0.5	8.1		

이 11.4℃로서 각각 방 2의 平均溫度보다도 8.7℃, 3.2℃, 8.6℃ 가 낮은 溫度를 보여주고 있으며 反面 2층은 연탄보일러로서 室內溫度를 任意로 變更시킬 수 없기 때문에 방 4는 10.6℃ 이고 使用하지 않는 방 5는 4.3℃가 되어 아주 낮은 溫度分佈를 보여주고 있다. 방 1과 居室에 있어서는 방 1의 平均溫度가 11.3℃ 이고 居室의 平均溫度가 11.4℃가 되어 室內條件이 비슷한 것 같으나 [그림 5-1]에서 보면 방 1의 溫度變化는 最低 8.5℃에서 最高 15.5℃에 이르러 그차가 7℃나 되며 居室은 最低 5.4℃에서 最高 17℃까지 약 11.6℃의 차이를 갖고 있어 방 1보다도 매우 심한 現象을 보여주고 있다. 그리고 1층의 各房은 방 2에 自動溫度調節裝置가 設置되어있어 固定시켜놓은 溫度이하로

내려갈 때에는 自動적으로 보일러가稼動되며 보일러內의 熱媒의 溫度가 一定한 溫度에 到達하였을 때에는 自動적으로 보일러의 作動이 中斷됨과 동시에 순환펌프가稼動되어 居室을 除外한 各방의 溫度變化가 最大 8.3℃ 이내의 범위에서 故치므로 큰 問題點이 없으나 2층방의 경우에는 2變化의 幅이 커서 12.8℃가 될 뿐 아니라 住居生活를 위한 快適溫度(18℃~21℃)에도 平均溫度가 크게 미달되는 實情이다. [그림5-1]은 實驗期間동안의 各室溫度變化의 흐름을 보여주고 있으며 [그림 5-2]에서는 난방공간의 最高, 最低溫度分佈를 나타내고 있다.



[그림 5-1] 모델住宅 各室의 溫度變化

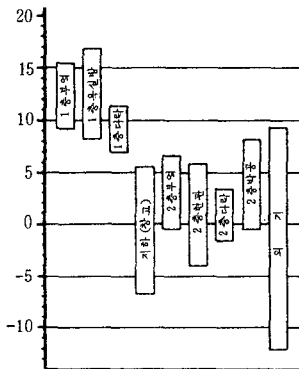


[그림 5-2] 暖房空間의 最高·最低溫度分佈

나. 非暖房空間

非暖房空間의 溫度는 1층과 2층의 溫度變化에서 暖房空間의 溫度에 많은 影響을 받고 있음을 알수가 있는데 1층 廚房과 욕실을 比較해 보면 욕실은 隣接室 暖房空間에서의 熱損失과 가끔 使用하는 溫水에 의하여 溫度의 上昇을 가져오나 廚房은 溫水의 使用은 물론 취사등을 위한 가스렌지와 취사시간동안의 主婦의 人體發生熱로 인하여 浴室보다는 平均溫度가 1.7℃ 높게 나타났다. 2층의 廚房은 炊事を 겸한 연탄

보일러가 設置되어 있고 設備配管이 露出되어 있어 실내온도가 높을 것으로 予想되어 있었으나 意外로 4℃밖에 되지 않았는데 이것은 연탄가스가 제대로 排出되지 않아 外氣로 면한 廚房의 창문을 열어놓고 있고 또한 廚房의 下部에는 通氣口(gallery)가 있기 때문에 여기를 통한 熱損失이 크게 發生되기 때문이라 생각되며, 주방위는 다락으로 되어있으나 다락이 外氣에 通하고 있기 때문에 0.3℃라는 낮은 溫度를 나타내고 있어 이 部分을 통한 熱損失이 역시 많아 廚房의 溫度가 낮게 되었다고 판단되고 있다. [그림 5-3]에서는 非暖房空間의 最低·最高溫度分布를 보여주고 있다.

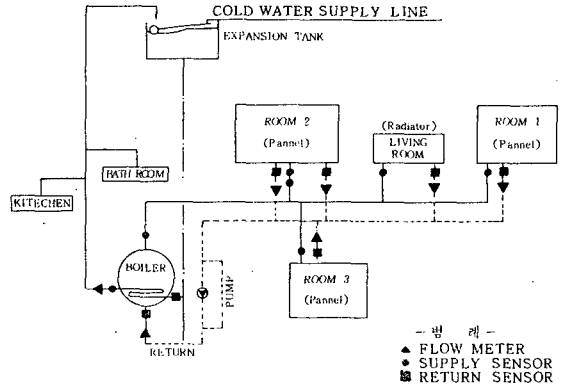


[그림 5-3] 非暖房空間의 最高·最低溫度 分布

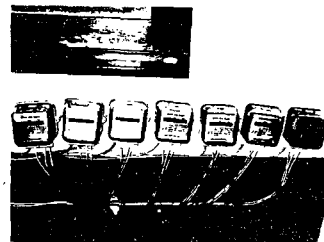
5-2 에너지 使用量 測定分析

모델住宅 1층의 에너지 使用現況을 測定하기 위하여 實驗期間동안 보일러에 總 供給된 에너지와 보일러에서 損失된 에너지를 除外한 總 發生에너지, 그리고 各室로 供給된 에너지의 量을 測定하여 暖房效率와 보일러의 效率등을 測定分析하기 위하여 [그림 5-4]과 같이 Calorie Meter 를 主 溫水供給管, 방1, 방2, 방3, 居室, 浴室 등 7個所에 設置하였다. [그림 5-5]는 設置된 Calorie Meter 의 積算熱量計이고

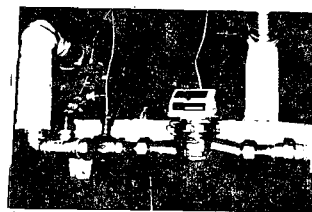
[그림 5-6]는 방1에 連結된 파이프로서 流量計와 關聯된 2개의 溫度감지부 Sensor이며 나머지 2개는 給水, 還水파이프내의 溫水溫度를 測定하기 위한 Sensor가 裝置되어있는 것이다.



[그림 5-4] Calorie Meter 設置圖



[그림 5-5] 設置된 Calorie Meter 積算 熱量計



[그림 5-6] 設置된 流量計와 溫度 感知 Sensor

그리고 1층방2에 自動溫度調節裝置를 20℃에 固定시켜 놓았고 暖房은 基準室內溫度가 固

定시켜놓은 溫度以下로 내려갈 때 自動적으로 보일러가稼動되며 보일러내의 熱媒의 溫度가 20℃에 到達할 때까지 實驗期間('81.11.23 ~ 12.3) 동안 反復測定한 結果 에너지 使用現況

은 <表 5-2>와 같이 測定되었다. 이 結果에서 實驗期間동안 所要된 總供給에너지는 821,900 Kcal (89.3 ℓ) 이고 보일러에서의 總發生 에너지는 597,200 Kcal 이므로 보일러의 效率은

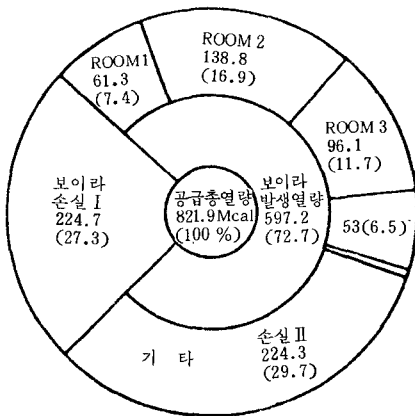
<表 5-2> 모델住宅에 에너지 使用現況

적 요 실험기간	총 공급 에너지	총 발생 에너지	각 실 별 사 용 에 너 지					
			방 1	방 2		방 3	거 실	욕 실 주 방
				1	2			
11.27 ~12.3	821,900 (89.3 ℓ)	597,200	61,300	138,800		96,100	53,000	3,700
				53,400	85,400			

* 경유 1 ℓ = 9,200 Kcal

72.7%가 되며 또한 各室에 使用된 에너지는 349,200 Kcal 가 되어 總發生에너지에 대한 比率는 58.5%에 지나지 않고 있다. 이를 供給 에너지와 使用에너지, 그리고 損失에너지를 百分율로 表示하면 [그림 5-7]와 같이 알기 쉽게 分析되는데 보통 暖房效率은 理論式에 의한 油類보일러의 경우 65%이나 實驗에 의한 結果에서는 總供給에너지가 821,900 Kcal 이고 實際 使用된 에너지가 352,900 Kcal (給湯包含) 이므로 약 43%밖에 되지 않아 모델住宅의 暖

房效率은 低調하게 나타났다. 모델住宅에서의 特異한 點은 各室의 크기나 配管의 길이가 다르지만 에너지가 各室에 고르게 分配되지 못하고 방 2에 集中 供給되고 있어 不均衡을 이루고 있으며 給湯部分에서는 3,700 Kcal 뿐이 使用되지 않아 別로 溫水 使用이 없다는 것을 뜻하나 事實은 設備시스템이 暖房을 위한 보일러가 稼動時에만 溫水使用이 可能하고 稼動되지 않을 때에는 溫水탱크가 未設置되어 있어 저장한 溫水가 없어 適時에 使用이 不可能하므로 적은 에너지가 消費되었다고 판단되고 있다.



[그림 5-7] 모델住宅의 消費에너지 使用現況

5-3 모델住宅의 室內環境

空氣調和의 室內條件의 標準으로서 有效溫度가 使用된다. 有效溫度 (Effective Temperature)란 人體가 느끼는 溫寒 등의 感覺에 대한 溫度, 濕度 및 氣流의 影響을 하나로 묶어서 만든 快感指標이다. 또한 有效溫度는 어떤 溫濕度의 房과 동일한 快感條件의 狀態, 바람이 없는 방의 室溫을 表示하는데 보통 快適條件의 有效溫度는 옷을 입은 狀態로 室內가 무풍조건일 때는 <表 5-3>와 같이 하는 것이 좋다고 하며 바닥패널表面溫度 <表 5-4>의 경우에는 27℃가 보통이고 35℃가 快適한 溫度라고 한다.

〈表 5-3〉 패적조건 (풍속 0.08 ~ 0.13 m/sec)

계절	인	일 본 인	미 국 인
여름	ET=21 ± 2 °C	ET=21.5 ± 2.4 °C	
	RH=40~60%	RH=30~70%	
겨울	ET=18 ± 2 °C	ET=19.5 ± 2.2 °C	
	RH=45~65%	RH=30~70%	

〈表 5-4〉 패널표면온도

종 류	패널표면온도 (°C)		
	보 통	최 고	
바 닥 패 널	27	35	
벽 패 널	플라스틱다듬질	32	43
	철 판 (온수)	71	-
	철 판 (증기)	82	-
천정패널(플라스틱 다듬질)	40	54	
전선 매설 패널	93	-	

〈表 5-5〉 방 2 의 실내온도와 방바닥온도

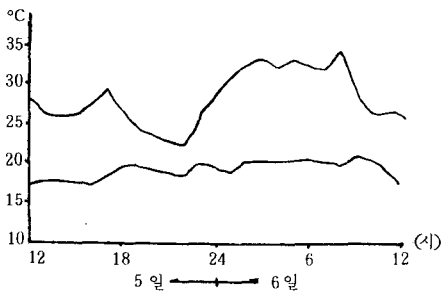
온도	일시	12 월 5 일											비 고	
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
실내온도		17.5	17.9	17.8	17.5	17.2	18.3	19.5	19.6	19.2	18.6	18.7	19.8	
바닥온도		28.1	26.4	26.2	26.1	27.3	29.3	26.7	24.3	23.3	22.8	22.3	26.0	
온도	일시	12 월 6 일											비 고	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
실내온도		19.4	19.0	20.3	20.4	20.2	20.4	20.4	20.3	19.9	20.7	20.2	18.7	
바닥온도		29.9	31.4	32.7	32.7	33.4	32.4	33.2	32.4	32.3	34.5	28.9	26.9	

者들은 큰 不便을 겪었다. [그림 5-8]에서 보면 室內溫度는 12월 5일 22시까지 약 2°C의 범위에서 變化를 보이면서 溫度의 上昇이 있었으나 방바닥은 이때를 고비로 해서 급격한 溫度의 下落을 보였다가 이후부터는 급상승하기 시작하였다. 實驗期間中 特異한 點은 방바닥의 溫度가 27°C 정도 이하로 내려가기 始作하

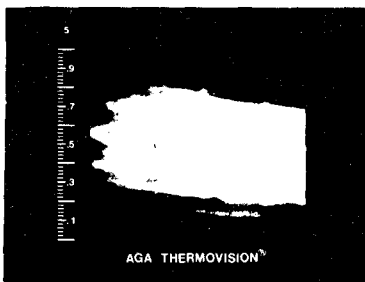
우리나라의 溫突暖房方法은 輻射와 對流에 의한 것이며, 一名 低溫輻射式 暖房法이라고 하는데 이것은 에너지를 經濟的으로 利用하는데서 그 長點이 있으며 방안의 氣溫이 比較的 낮은데에도 輻射熱로 인하여 快適感을 주고 있는 것이다. 또한 밑바닥 全面이 熱源이 되어 낮은 溫度가 室內에 輻射되어 快適感에 對한 均一性이 있으며 우리나라 사람들은 座式生活을 하므로 따뜻한 快感을 直接 밑바닥의 熱傳導에 의하여 얻고있다. 그러나 모델住宅에 대해 室內溫度와 表面溫度를 實驗期間('81.12.5~12.6) 동안 1時間간격으로 測定 <表 5-5> 分析한 바에 의하면 室內平均溫度는 19.1°C로 나타났고, 방바닥의 平均溫度는 28.3°C로 測定되었다. 또한 室內溫度는 最高 20.7°C가 되고 最低가 17.2°C가 되어 變化幅은 3.5°C이므로 별로 크지 않으나 바닥의 溫度는 最高 34.5°C이고 最低는 22.3°C까지 내려가 그 變化幅이 12.2°C가 되어 매우 심한 溫度變化가 있어 實驗期間중 居住

여 最低溫度로 變하는 過程(最低 22.3°C)에서 室內氣溫이 약 17°C~20°C임에도 불구하고 室內生活을 하는데 있어서 크게 不便하였다는 사실이다. 그러므로 先進外國에서와 같이 立式生活人에게는 室內氣溫에 基準을 두어 暖房을 하는 것이 適合하겠지만, 우리나라와 같은 座式生活을 하는 生活方式에서는 室內溫度에 基準을

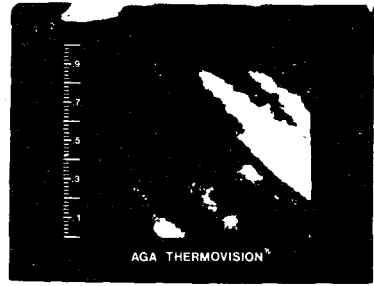
두어 暖房을 하는 것은 不合理한 點이 많다고 생각된다. 따라서 室溫의 快適感을 正하기에 앞서서 室內氣溫을 基準으로 할 것인가 바닥 表面溫度를 基準으로 할 것인가는 人體環境實驗室을 만들어 많은 계층의 사람들을 對象으로 하여 試驗하여야 할 것으로 안다. 또한 實驗期間동안 방 2와 방 3의 방바닥을 거의 같은 時間에 赤外線카메라로 촬영한 바에 의하면 방 2의 방바닥 [그림 5-9]은 配管이 되어 있는 것이 거의 뚜렷이 나타나고 그사이의 部分도 밝게 나타나 바닥表面全體에 에너지가 골고루 放出되고 있음을 알 수 있으나 방 3의 방바닥 [그림 5-10]은 設置된 配管의 溫度差異뿐만 아니라 그사이의 部分 역시 不規則하여 適正치 못하게 施工되었음을 發見할 수 있다.



[그림 5-8] 방 2의 바닥온도와 실내온도



[그림 5-9] 방 2의 바닥 측정



[그림 5-10] 방 3의 바닥 측정

6. 모델住宅의 改修前 暖房負荷

6-1 部位別 熱貫流率

建物構造體의 熱貫流率은

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \sum \frac{1}{Ca} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

[Kcal/m²h°C] 식을 이용하였고 따라서 熱貫流抵抗은 $R = \frac{1}{K} = r_i + \sum r_r + \sum r_a + r_o$.

[m²h°C/Kcal]을 使用하였다.

α_i = 內表面 熱傳達率 [Kcal/m²h°C]

λ = 構造體 各層材料의 熱傳導率 [Kcal/mh°C]

d = 構造體 各層材料의 두께 [m]

Ca = 空氣層의 相當 熱傳達率 [Kcal/m²h°C]

α_o = 外表面 熱傳達率 [Kcal/m²h°C]

6-2 表面熱傳達率은 <表 6-1> <表 6-2>를 利用하였으며 建築構造體의 內部에 공기층을 갖는 경우 空氣層의 熱通過抵抗은 空氣層의 두께보다는 密閉정도에 좌우된다. 完全密閉 (pair class)의 경우 0.18, 半密閉의 경우 0.09 [m²h°C/Kcal]를 취하였다.

<表 6-1> 外表面 熱傳達率

α_o	20 [Kcal/m ² h°C]
$r_o (1/\alpha_o)$	0.05 [m ² h°C/Kcal]

〈表 6-2〉 內表面 熱傳達率

區 分	α_i	r_i
垂 直 面	[Kcal/m ² h°C] 8.0	[m ² h°C/Kcal] 0.125
垂平面(上向)	9.5 "	0.105 "
垂平面(下向)	6.0 "	0.167 "

6-3. 外氣溫度 및 地中溫度는 "主要地域別 氣象資料"(韓國動力資源研究所 에너지分析建物研究室 作成, 1981)中 大田地域의 값을 擇하였으며 室內溫度는 在室頻度가 큰 방은 21℃로 하고 在室頻度가 적은 거실은 18℃로 하였다. 그의 부엌 및 욕실등의 非暖房空間은 溫度를 別途로 計算하였다.

6-4. 非暖房空間의 溫度는 暖房을 하는 空間으로 부터 流入된 熱量과 非暖房空間의 外壁, 天井, 유리창등을 통해 外氣로 流出되는 熱量이 같다는 原則하에서 計算하였다.

6-5 暖房負荷의 計算에서 貫流에 의한 損失熱量은 $Q = K \cdot A (t_i - t_o)$ (Kcal/h) 式을 利用하였으며 換氣에 의한 損失熱量은 $Q = 0.3 nV (t_i - t_o)$ 式을 使用하였다. 自然換氣回數는 室 및 窓의 構造, 用途, 屋外風速, 風向, 室內外溫度差등에 따라 다르나 〈表 6-3〉에 準하여 計算하였다.

Q : 單位 時間當 損失熱量 (Kcal/h)

K : 構造體의 熱貫流率 (Kcal/m²h°C)

A : 構造體의 面積 (m²)

t_i : 室內溫度 (°C)

t_o : 外氣溫度 (°C)

Q : 換氣에 의한 損失熱量 (Kcal/h)

n : 單位 時間當 換氣回數

V : 室의 容積 (m³)

〈表 6-3〉 構造別 自然換氣回數(n)

構 造 別	上 級	中 級	下 級	備 考
콘크리트造, 벽돌造 (스틸샷쉬附)	0.5 >	0.5~1.5	-	1~2 壁 面이 外壁일 때
벽돌造 (木造새쉬附)		1.5~2.5	-	
洋式木造 (木造새 쉬附)	1~2	2~3	-	
和式木造 (木造建 具附)	2~3	3~4	4~6	
木造 天井속	~	3~5	-	

이러한 方法으로 모델住宅의 改修前 暖房負荷는 〈表 6-4〉와 같이 算出하게 되었다. 또한 年間暖房負荷는 暖房負荷 係數 BLC를 구하고 大田地域의 暖房度日(表 6-5)에 따라 計算하였으며 室內發生熱量은 L. A. S. L (Los Alamos Scientific Laboratory)에서 實驗을 통해 發表한 4人 家族基準의 1世帶當 室內發生熱量

〈表 6-4〉 改修前 暖房負荷

층 別	손 실 열 량
1 층	14,231.4 Kcal/h
2 층	9,217.2 "
계	23,448.6 "

※ 暖房負荷 係數 (B. L. C)를 求하기 위하여 通常의 設計溫度 (內氣 : 21°C, 外氣 : -13.9°C)를 基準한 것임.

〈表 6-5〉 大田地域의 月別 暖房度日

구 분	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	計
D 18-18	135	360	537	600	540	411	180	27	2790
D 12-12	-	180	357	420	360	231	-	-	1548

※ 主要地域別 氣象資料(1981. 動力資源研究所 建物研究室)

(2250 ~ 2500 BTU/h)을 택하여 다음 식에 의하여 구하였다.

$$Q_{year} = B.L.C \times D - Day - I.H.S$$

B.L.C: Building Heating Loads Coefficient. (Kcal/D-Day)

D-Day: Heating Degree - Day

I.H.S: Internal Heat Source

윗식에 의하여 D₁₈₋₁₈, D₁₂₋₁₂를 基準하여 모델住宅의年間暖房負荷를 計算한 結果<表 6-6> <表 6-7>와 같이 나타났다.

<表 6-6> D₁₈₋₁₈ 基準 모델住宅의年間 暖房負荷

1층

구분	B.L.C	D-Day	H.M.L	I.H.S	N.M.L	
10	9786.6	135	1,321,191	372,000	949,191	
11		360	3,523,176	360,000	3,163,176	
12		537	5,255,404	372,000	4,883,404	
1		600	5,871,960	372,000	5,499,960	
2		540	5,284,764	336,000	4,948,764	
3		411	4,022,293	372,000	3,650,293	
4		180	1,761,588	360,000	1,401,588	
5		27	264,238	264,238	0	
계			2790	27,304,614	2,808,238	24,496,376

2층

구분	B.L.C	D-Day	H.M.L	I.H.S	N.M.L	
10	6338.5	135	855,698	372,000	483,698	
11		360	2,281,860	360,000	1,921,860	
12		537	3,403,774	372,000	3,031,774	
1		600	3,803,100	372,000	3,431,100	
2		540	3,422,790	336,000	3,086,790	
3		411	2,605,124	372,000	2,233,124	
4		180	1,140,930	360,000	780,930	
5		27	171,139	171,139	0	
계			2790	17,684,415	2,715,139	14,969,276

<表 6-7> D₁₂₋₁₂ 基準 모델住宅의年間 暖房負荷

1층

구분	B.L.C	D-Day	H.M.L	I.H.S	N.M.L
11	9786.6	180	1,761,588	360,000	1,401,588
12		357	3,493,816	372,000	3,121,816
1		420	4,110,372	372,000	3,738,372
2		360	3,523,176	336,000	3,187,176
3		231	2,260,704	372,000	1,888,704
계			1548	15,149,656	1,812,000

2층

구분	B.L.C	D-Day	H.M.L	I.H.S	N.M.L
11	6338.5	180	1,140,930	360,000	780,930
12		357	2,262,844	372,000	1,890,844
1		420	2,662,170	372,000	2,290,170
2		360	2,281,860	336,000	1,945,860
3		231	1,464,194	372,000	1,092,194
계			1548	9,811,998	1,812,000

단) N.M.L = Net Monthly Load

H.M.L = Heating Monthly Load

對象 既存모델 單獨住宅의 部位別 改修方案은 天井에 施工이 容易하고 工事費가 低廉한 우레 아폼 50%를 使用하였고 壁體에는 25% 스티로폴을, 暖房空間의 바닥에는 防濕에 有利한 強化스티로폴 25%를 使用하였으며 非暖房空間의 窓은 2중창으로 하였고 暖房空間 2중窓에는 氣密化 方案을 講究하였다. 이렇게 하여 年間暖房負荷를 改修前 方法과 동일하게 計算한 結果 <表 7-1>와 <表 7-2>와 같이 구하게 되었다.

〈表 7-1〉 改修後 모델住宅의 年間 暖房負荷 (D₁₈₋₁₈ 基準)

1 층

구분	B. L. C	D-Day	H. M. L	I. H. S	N. M. L	
10	5,134.2	135	693,117	372,000	321,117	
11		360	1,848,312	360,000	1,488,312	
12		537	2,757,065	372,000	2,385,065	
1		600	3,080,520	372,000	2,708,520	
2		540	2,772,468	336,000	2,436,468	
3		411	2,110,156	372,000	1,738,156	
4		180	924,156	360,000	564,156	
5		27	138,624	138,624	0	
계			2,790	14,324,418	2,682,624	11,641,794

2 층

구분	B. L. C	D-Day	H. M. L	I. H. S	N. M. L	
10	2,979.6	135	402,246	372,000	30,246	
11		360	1,072,656	360,000	712,656	
12		537	1,600,044	372,000	1,228,044	
1		600	1,787,760	372,000	1,415,760	
2		540	1,608,984	336,000	1,272,984	
3		411	1,224,616	372,000	852,616	
4		180	536,328	360,000	176,328	
5		27	80,449	80,449	0	
계			2,790	8,313,084	2,624,449	5,688,635

〈表 7-2〉 改修後 모델住宅의 年間 暖房負荷 (D₁₂₋₁₂ 基準)

1 층

구분	B. L. D	D-Day	H. M. L	I. H. S	N. M. L
11	5,134.2	180	924,156	360,000	564,156
12		357	1,382,909	372,000	1,460,909
1		420	2,156,364	372,000	1,784,364
2		360	1,848,312	336,000	1,512,312
3		231	1,186,000	372,000	814,000
계		1,548	7,947,741	1,812,000	6,135,741

2 층

구분	B. L. C	D-Day	H. M. L	I. H. S	N. M. L
11	2,979.6	180	536,328	360,000	176,328
12		357	1,063,717	372,000	691,717
1		420	1,251,432	372,000	879,432
2		360	1,072,656	336,000	736,656
3		231	688,288	372,000	316,288
계		1,548	4,612,421	1,812,000	2,800,421

8. 改修前後 暖房負荷 比較

改修前後의 暖房負荷 比較는 年間燃料使用量으로 比較하였다.

8-1 輕油 1ℓ 當 發熱量은 9,200 Kcal로 하고 煉炭 1個當 發熱量은 15,180 Kcal (2號炭基準)로 하였다.

8-2 改修前 既存 모델住宅의 暖房效率을 測定한 結果 1층 油類 Boiler의 暖房效率은 42.9% (測定值)로 하였으며, 2층의 煉炭 Boiler의 暖房效率은 33%로 하였다. (단, 暖房效率中 바닥을 통한 熱損失은 考慮하지 않았음)

8-3 改修後 既存 모델住宅의 暖房效率은 1層 油類 Boiler의 경우 65%, 2層 煉炭 Boiler의 경우 50%로 計算하였다.

8-4 年間 燃料使用量의 計算은 다음식에 의했다.

$$\text{年間燃料使用量} = \frac{\text{年間暖房負荷}}{\text{燃料의發生熱量} \times \text{暖房效率}}$$

〈表 8-1〉 改修前後의 暖房負荷 및 年間 燃料使用量 比較

구 분	비 교	개 선 전	개 선 후	절 감 량	
1 층	단위 시간당 난방부하 (Kcal/h)		14,231	7,466	6,765
	연간 난방부하 (Kcal/year)	D 18-18	24,496,376	11,641,794	12,854,582
		D 12-12	13,337,656	6,135,741	7,201,915
	연간 연료사용량 (drum)	D 18-18	20.5	9.8	10.7
D 12-12		11.15	5.15	6	
2 층	단위시간당 난방부하 (Kcal/h)		9,217	4,333	4,884
	연간난방부하 (Kcal/Year)	D 18-18	14,969,276	5,688,635	9,300,641
		D 12-12	7,999,998	2,800,421	5,199,577
	연간연료 사용량 (연탄 : 장)	D 18-18	1,972	749	1,223
D 12-12		1,054	369	685	
전체	단위 시간당 난방부하 (Kcal/h)		23,448	11,799	11,649
	연간 난방부하 (Kcal/year)	D 18-18	39,465,652	17,330,420	22,135,232
		D 12-12	21,337,654	8,936,162	12,401,492

9. 改修에 따른 投資工事費

改修에 따른 投資工事費 內譯은 〈表 9-1〉와 같다. 改修에 所要된 費用의 算出은 "建設標準품셈 (建設研究社, 金仁植)을 標準하였으

〈表 9-1〉 改修 投資工事費 內譯

개 수 내 역	채 료 비	인 건 비	총 계
벽체 단열공사	650,850	319,654	970,504
바닥 단열공사	220,585	224,522	445,107
천정 단열공사	96,000	-	96,000
목 공 사	90,755	151,531	242,286
창 호 공 사	152,000	-	152,000
설 비 공 사	47,647	31,766	79,413
소 계	1,257,837	727,473	1,985,310
공과잡비(20%)	251,567	145,494	397,061
총 계	1,509,404	872,967	2,382,371

며 建築資材의 價格은 物價情報 (株式會社 綜合物價情報, 1981年 7月)를 參考하였다. 또한 改修前, 後의 燃料節減額 및 投資工事費는 〈表 9-2〉와 같다.

〈表 9-2〉 燃料節減額과 投資工事費 比較

(단위 : 천원)

개 수 후	연료 절 감 액		추가공사비
	D 18-18	1,435.3	
D 12-12	788.1		

10. 斷熱強化에 따른 改修方案

對象모델住宅의 에너지節約을 위한 改修方案에 대해 建築的인 面, 設備的인 面을 實驗과 에너지 解析을 통하여 改修前後의 에너지 使用

量, 節減額, 投資工事費등을 다루므로서 改修效果가 크다는 것이 나타났으나 改修對象住宅에 대해서는 事前에 充分히 分析, 檢討한 후 施行해야 할 것이다. 여기에서는 D₁₈₋₁₈, D₁₂₋₁₂ 로 區分, 提示되는 5 가지의 改修方案을 部位別로 斷熱材의 두께를 強化시켰을 때의 에너지 使用量과 節減量, 改修施行에 所要되는 投資工事費, 그리고 各方案의 投資工事費와 節減額의 關係를 나타내었으며 改修의 效果를 判斷할 수 있도록 하였다. 여기에서 다룬 各方案은 改修投資工事

費가 坪當 81,000 원에서부터 123,000 원으로 상당히 高價로 나타났으나 이것은 外壁일부에 外斷熱工事を 하였고 보일러실과 玄關에 新規出入門을 設置하였으며 커튼박스의 제작으로 改修費가 증대되었다. 그러나 木工事中 반자동립대와 절레받이에 使用된 木材를 그대로 使用한다면 平均 10,000 ~ 20,000 원을 節約할 수 있다고 判斷되며 改修施行誘導을 위한 國家의 政策의인 배려와 뒷받침이 마련되면 이보다도 저렴한 60,000 이하로 改修할 수 있을 것이다.

<表 10-1> 改修投資工事費 및 暖房費 節減額 比較

구 분	개 수 전	개수투자공사비 및 난방비절감액										비 고
		제 1 방안		제 2 방안		제 3 방안		제 4 방안		제 5 방안		
		벽 : 25mm 천정 : 25mm 바닥 : 25mm	벽 : 25mm 천정 : 50mm 바닥 : 50mm	벽 : 50mm 천정 : 50mm 바닥 : 50mm	벽 : 50mm 천정 : 75mm 바닥 : 75mm	벽 : 75mm 천정 : 75mm 바닥 : 75mm						
D 18-18	2,040	2,322	1,389.2	2,382	1,435.3	2,957	1,524.8	3,017	1,547.8	3,511	1,582.	설비보온 공사포함
D 12-12	1,106.2	2,322	766	2,382	788.1	2,957	824.3	3,017	855.6	3,511	874.6	

11. 經濟性的 檢討

改修는 經濟的 妥當성이 뒷받침되어야 하는데 改修에 所要되는 費用과 改修結果 節約되는 暖房燃料費와의 關係를 比較 檢討해 봄으로써 判斷이 될것이다. 經濟性 計算을 위한 式에 必要한 項目으로서 annual payment 와 annual cash flow 가 있다. annual payment (AP) 는 一定 金額을 갚아 나갈 때 필요한 額數로 다음 式으로 구한다.

$$Ap = \frac{b(1+b)^N}{(1+b)^N - 1}$$

여기에서

Ap : 年次 支拂額 (원/년) 으로서 매년 갚

아야할 金額이며

Af : 貸出金額(원), 改修에 所要되는 費用으로 銀行에서 貸出하는 것으로 했다.

b : 貸出金利 (%/년), 1981.12.28 以前의 金利이다.

N : 貸出金 償還年數(년)

annual cash flow (ACF) 는 改修함으로써 每年 節約되는 費用인데 任意의 해 j 年度의 憵은 아래 式에서 구할 수 있다.

$$ACF_j = As(1+e)^j - Am(1+i)^j - Ap$$

여기에서

As : 暖房費 節減額 (원/년), 既存住宅을 改善함으로써 期待되는 燃料節約費用이다.

e : 油價上昇率 (33.7%/년), 1973년부터 1979년까지의年間 平均油價上昇率이다.

○ 資料: Handbook of Korean Economy, 1980. EPB.

Am: 改修施設の維持費 또는 修理費(원/년)
改修施設の 効率は 每年 低下되는데 5년마다 初期 投資費의 5%를 支出하는 것으로 했다.

i : 物價上昇率 (19.3%/년), 1973년부터 1979년까지의 消費者 綜合物價指數의 平均値이다.

○ 資料: 國際經濟統計年報, 1981, 國際經濟研究院

經濟性を 判斷하는 尺度로서 rate of return on investment 와 payback period 등이 있는데 rate of return on investment (投資收益率) r 값은 다음 式으로 구한다.

$$As \sum_{j=1}^L \frac{(1+e)^j}{(1+r)^j} = Ad + Am \cdot L +$$

$$Ap \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j}$$

여기에서

Ad : 初期 投資費(원)

L : 改修施設の 壽命(년), 本計算에서는 20년으로 하였다. 윗식에서 구한 r 값이 現金收益率 d 보다 큰경우 經濟性이 있다고 할 수 있다. payback period는 初期投資費가 몇해후에 報償되느냐 하는 것인데 다음 式을 滿足시키는 p 값의 最小値가 된다.

$$Ad \cdot (1+d)^p + OP \leq \sum_{j=1}^P ACF_j$$

여기에서 OP는 P년도 末에 은행에 갚아야할 總額數를 말하며 아래式으로 구할 수 있다.

$$OP = Af(1+b)^p - Ap \sum_{n=1}^P (1+b)^{n-1}$$

상기식을 컴퓨터를 利用하여 풀어본 結果를 보면 投資收益率(r)은 <表 11-1>와 같으며 投資費에 대한 投資收益率(r)은 現金收益率보다 상당히 높은 水準으로서 經濟性이 있다고 判斷되고 있다. 償還期間은 2~3年으로서 改修施設

<표 11-1> 투자수익을 대 현금수익을 비교

구 분	제 1 방안	제 2 방안	제 3 방안	제 4 방안	제 5 방안	비교
투 자 수 익 률 r	D 18-18	26.9	26.9	27.4	27.6	27.7
	D 12-12	20.9	21.1	21.6	21.8	21.9
현금수익률 d (%/년)	17.4					

<표 11-2> 상환기간 비교선도

구 분	제 1 방안	제 2 방안	제 3 방안	제 4 방안	제 5 방안	비교
D 18-18	2	2	3	3	3	
D 12-12	3	3	3	3	3	

의 壽命 20년에 견주어볼 때 상당히 짧은 기간 안에 償還이 되어 經濟性이 있다고 할 수 있다.

12. 結 論

本 研究의 內容을 요약하면 다음과 같다.

12-1. 選定된 既存모델單獨住宅의 周圍環境이나 立地條件, 建築構造는 良好하나 無斷熱로 되어 있고, 1層의 境遇는 廚房이 直接外部와 통하지 않아 서비스 空間의 利用뿐만 아니라 보일러室에 問題發生時 迅速히 대처하기 어려우며 2層의 境遇에는 화장실이 2層으로 통하는 階段 밑에 있어 利用에 큰 不便을 주고 있다.

12-2 1層보일러室에는 出入門이 없으며 窓門에는 보일러 燃筒이 貫通하고 있어 周圍部分과 出入門으로 熱損失이 많을 뿐 아니라 居室室內溫度에도 많은 影響을 주고 있는 實情이다.

12-3 建築과 設備部分의 各部位別 斷熱缺

陷을 測定 (AGA Thermovision 750) 分析하여 본바에 의하면 窓戶部에는 氣密性이 미흡하고 바닥과 壁, 天井에는 斷熱材의 未施工이 나타났으며 配管部分에는 斷熱材의 接合部와 이음매가 허술하였고 配管에 裝置된 各種 附屬器具와 連結部分에 斷熱材가 未施工되어 있어 熱損失이 많았으며 1層油類 보일러의 境遇에 있어서는 主人房의 室內 平均溫度가 19℃ 였으나 2層 煉炭보일러의 境遇에는 快適한 室內溫度의 維持가 어려웠다.

12-4 1層 油類보일러의 경우 各室暖房空間의 最高, 最低溫度差가 8.3℃ 이었으나 2層 煉炭보일러에 경우는 12.8℃ 가 되어 그 變化의 幅이 커 室溫維持에는 煉炭보일러 方式이 不利하다는 것이 나타났다.

12-5 모델住宅을 對象으로 實驗期間동안 ('81.11.27 ~ '81.12.3) 使用된 에너지를 測定한 結果 보일러의 效率는 약 73%이며 暖房效率는 43%로 一般 暖房效率 65%에 비해 매우 低調하게 나타났다.

12-6 1層 各暖房空間中 房2 (主人房)가 가장 에너지 供給量이 많았으므로 각방에 設置되어 있는 調節밸브를 調節해야 하며 給湯部分이 全體 供給에너지中 차지하는 比率이 0.5%로 가장 낮았으나 給湯部分은 設備시스템이 暖房을 위한 보일러 稼動時에만 溫水使用이 可能하게 되어있기 때문이므로 溫水탱크의 設置가 必要하다.

12-7 1層房2의 室內溫度가 17~20℃로 快適溫度를 거의 維持하고 있음에도 불구하고 방바닥의 溫度가 27℃ 이하로 내려가기 시작하여 最低溫度 22℃ 까지 변하는 過程에서 坐式生活을 하고 있는 室內居住者에게 크게 不便을 주었으므로 오히려 室溫을 낮게 基準을 定하더라도 방바닥의 快適溫度에 基準을 定하는 것이 바람

직하다고 생각되나, 室溫의 快適感을 正하기에 앞서서 室內氣溫을 基準으로 할 것인가 바닥 表面溫度를 基準으로 할 것인가는 人體環境實驗室을 만들어 많은 계층의 人들을 對象으로 하여 試驗하여야 할것으로 判斷된다.

12-8 改修前, 後의 暖房負荷를 暖房度日 D_{18-18} , D_{12-12} 로 區分하여 計算하고 여러가지 斷熱材 두께에 따른 改修投資工事費算出과 改修方案의 提示로 改修投資工事費와 에너지節減額을 比較分析하였다.

12-9 斷熱두께에 따른 改修方案을 D_{18-18} , D_{12-12} 로 區分하여 經濟性을 分析, 檢討한 結果 어떠한 方案을 채택하든 約 3年內 投資工事費가 回收되어 經濟性이 있다고 判斷되었다.

12-10 마지막으로 既存單獨住宅의 改修方案에서 外周部壁에 斷熱材로 施工하되 內斷熱의 長點을 살렸으며 壁部分은 施工 및 改修가 容易하도록 25% 스티로폼을 天井은 工事費가 低廉한 50% 우레아폼을, 바닥은 暖房空間에 단 25% 強化스티로폼을 使用하는 것이 有利한 것으로 判斷되었으며 非暖房空間의 窓은 2重窓으로 改修하도록 하였고 建物の 斷熱性 向上에 취약점이 되고 있는 窓戶에 대하여는 斷熱化 方案과 아울러 紗窗의 氣密性 維持가 必要한 것으로 判斷되었다.

參 考 文 獻

1. 강웅기외, 에너지消費實態調查 및 家庭用 燃料政策, 韓國熱管理試驗研究所, 1979.12.
2. 建築物의 斷熱工法에 관한 研究, 建設部, 1981.10.
3. 建築物에 있어서 Insulation 材의 合理的 利用에 관한 研究, 建設研究所資料, 建設部 國立建設研究所, 1980.12.

4. 김교두 편저, 建築設備핸드북, 국제출판사, 1979.
5. 박윤성의, 建築用 斷熱材의 性能改良 및 效率的 利用에 관한 研究, 고려대학교, 1981.
6. 위용호역, 空氣調和핸드북, 형제사, 1979.
7. 이은종의, 에너지節約型 住宅設計를 위한 研究, 韓國綜合에너지研究所, 1980.12.
8. Gerald. E. Sherwood, New Life for old Dwellings, U.S. Department of Agriculture, 1975.12.
9. Home Retrofit Manual, Energy Resources Center University of Illinois at Chicago Circle, 1970.
10. Juanita M. Kreps, Retrofitting on Existing woodframe Residence for Energy Conservation—An Experimental Study, U.S. Department of Commerce, 1978.7.
11. P.G. Down, Heating and Cooling Load Calculations, Pergamon Press, 1969.
12. Project Retrotech Home Weatherization Manual, U.S. Department of Energy Washington D.C. 1978.8.
13. Ralph F. Jones, ET AL. Brownell, Low Energy Requirement House, Brookhaven National Laboratory Upton, New York, 1970.5.
14. Swedish Council for Building Research, Thermography Testing of the Thermal Insulation and Airtightness of Building, 1980.5.