

공동주택 성능개선의 효과분석에 관한 연구

A Study on the Analysis of Retrofit Effects in the Apartment House

○ 김기훈* 박진철** 박찬식*** 송국섭****

Kim, Ki-hoon Park, Jin-chul Park, Chan-sik Song, Gook-sup

Abstract

In planning a building retrofit, energy conservation, thermal comfort and economic benefits should be considered. In this study, retrofit effects of exterior insulating method on preventing condensation, saving energy were analyzed through the heat transfer simulation, energy simulation in the apartment house retrofitted by exterior insulating method cheaper than other retrofit methods.

The results of this study show that the retrofit using exterior insulating method can prevent the condensation at the corner walls and save about 20% of annual heating load and decrease 400~1400kWh of gas consumption.

키워드 : 성능개선, 외단열, 결로, 전열해석, 에너지 시뮬레이션

Keywords : Retrofit, Exterior Insulation, Condensation, Heat Transfer Simulation, Energy Simulation

1. 서론

국내의 경우 80년대 이후 정책적으로 공동주택의 공급이 급속히 증가되어 왔으며, 건물경년 경과에 따라 노후된 건물들이 나타나고 있어 성능개선에 대한 필요성이 점차로 증대되고 있다.

한편, 건물 노후화에 따른 성능개선은 건물의 에너지절약측면, 거주자의 쾌적성측면 및 경제적 측면을 종합적으로 고려하여 계획하는 것이 바람직하며, 국내에서도 이러한 노력이 건물 개보수 시장에서 서서히 전개되고 있다.

건물의 다양한 성능개선 방안 중 외단열공법은 단열강화를 통한 에너지절약효과와 열교부위 제거

를 통한 결로발생 억제효과로 인해 거주자의 쾌적성 향상에 기여할 수 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 국내 H사의 외단열 공법으로 개수를 시행한 안산지역의 노후 공동주택을 대상으로 표면결로 대응성능을 해석한 후, 개수 전후에 걸친 에너지소비량을 비교분석함으로써 단열공법에 따른 성능개선효과를 종합적으로 분석하고자 하였다.

2. 외단열 개수에 따른 벽체 부위별 온도분포해석

2.1 대상건물 개요

대상건물은 경기도 안산지역에 위치하고 있는 4층 15개동 294세대의 공동주택이며, 개수 이전 지붕 및 외벽체의 누수로 인해 거주자들의 민원이 발생함에 따라 1998년 10월 지붕보수공사와 함께 외벽을 외단열 공법으로 보수한 건물로 1999년 7월 약 9개월이 경과하고 있는 건물이다.

*정회원, 전 (주)대우건설기술연구소 주임연구원

**정회원, 경민대학 건축설비과 교수, 공학박사

***정회원, 중앙대학교 공과대학 건축학과 교수, 공학박사

****정회원, 부천대학 건축과 교수, 공학박사

본 연구는 (주)효성 드라이브트의 연구비 지원에 의해 99년 4~8월 중앙대 건설산업기술연구소에서 이루어졌습니다.

2.2 Simulation 개요

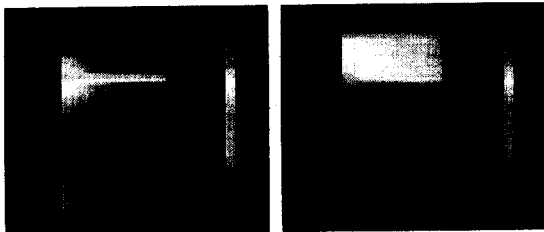
농설기 벽체 접합부의 부위별 온도분포를 해석하고자, 전열해석 S/W PHYSIBEL의 KOBRU86 프로그램을 이용하여 2차원 정상상태 조건하에서 벽체의 부위별 온도분포를 해석하였다.

대상부위는 단열재 단락이 발생되어 결로의 발생이 가장 빈번한 ①외벽과 내벽의 접합부, ②측벽과 외벽의 접합부, ③발코니 부위 접합부의 3가지 모델로 설정하였으며, 구조체 재료의 물성치는 문헌자료 및 실험데이터를 활용하여 입력하였다.

외기입력조건은 서울지방 난방설계용 외기조건인 -11.9°C 를 입력하였고, 실내조건은 관련문헌을 토대로 24°C 를 농설기 실내온도로 가정하여 입력하였으며, 정상상태에서의 전열상태를 Simulation 하였다.

2.3 Simulation 결과 및 분석

1) 내·외벽체 접합부 온도분포



(a) 개수 이전 (b) 개수 이후
그림 1. 내·외벽체 접합부의 전열해석 결과

표 1. 실내측 벽체의 표면온도 (단위 : $^{\circ}\text{C}$)

	개수 이전	개수 이후
실내측 표면온도	17.92	21.35

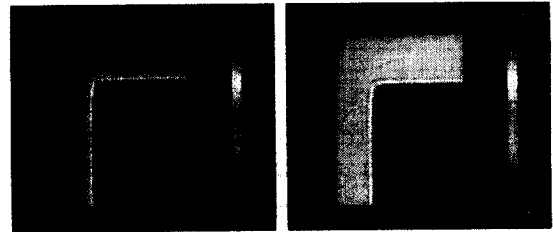
외벽체와 실내의 간벽이 접하는 부위에서의 실내측 벽체 표면온도는 개수 이전 17.92°C , 이후 21.35°C 로 실내공기 24°C , 50%의 조건에서는 결로가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 17.92°C 의 표면온도는 거주자들의 생활패턴에 따라 충분히 형성될 수 있는 25°C , 60%의 실내조건

에서는 결로가 발생하는 온도로 확인되었다.

반면, 개수 이후에서는 실내측 표면온도가 21.35°C 로 높게 상승하였으며, 21.35°C 의 표면온도는 공동주택에서 일반적으로 거의 형성되지 않는 24°C , 90% 이상에서만 결로가 발생하게 되므로 결로에 따르는 위험은 거의 없음을 알 수 있었다.

(2) 측벽 접합부 온도분포

측벽과 외벽이 접하는 부위에서는 앞서 분석한 내·외벽 접합부와는 달리 개수 이전과 이후에서 큰 차이를 보이지 않았는데 이러한 이유는 벽체의 구성층에서 찾아볼 수 있다. 즉, 측벽의 구성층은 콘크리트 부재 내에 단열재가 형성되고 석고보드로 마감되어 있는 내단열 형태이고 이와 접하는 외벽의 구성층은 조적벽 사이에 단열재가 설치된 중단열 형태임에 따라 벽체 접합부에서는 열저항치가 다소 높은 석고보드만을 경계로 단열재의 단락이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 개수 이전 (b) 개수 이후
그림 2. 측벽 접합부의 전열해석 결과

표 2. 실내측 벽체의 표면온도(단위 : $^{\circ}\text{C}$)

	개수 이전	개수 이후
실내측 표면온도	20.62	21.34

건물에서의 결로는 단열재가 연결되지 않아 열저항이 급격히 떨어지는 열교부위에서 발생하게 된다. 따라서 본 Simulation 대상부위와 같은 구성층의 벽체라면 접합부에서도 열저항치가 저하되지 않게 되므로 내단열 시공에서도 결로는 발생하지 않음을 알 수 있었다.

그러나, 그림 2.로부터 개수 전·후에 걸쳐 벽체 내부의 온도차가 약 10℃에 이룸에 따라 대상 부위로의 열손실이 상당히 감소함을 알 수 있으며, 이러한 것은 표면결로의 여부와 관계없이 난방부하의 감소에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(3) 발코니 부위 접합부 온도분포

발코니의 경우 서비스 면적임에 따라 외벽 단열기준을 적용하지 않고 비단열 상태로 유지하는 것이 현실이며, 이로 인해 공동주택에서 가장 많은 결로가 발생하는 곳이 발코니를 경계로 한 접합부이다. 발코니 부위 접합부의 온도분포 해석결과는 표 3. 및 그림 3.과 같다.

표 3. 실내측 벽체의 표면온도(단위 : ℃)

	개수 이전	개수 이후
실내측 표면온도	5.82	18.28

표 3.으로부터 동일한 외기조건하에서 실내측 벽체의 표면온도는 개보수 이전 5.82℃ 및 이후 18.28℃로 외단열 적용시 개수 이전에 비해 실내측 표면온도가 약 10℃ 이상 크게 상승하고 있음을 알 수 있다. 발코니 부위는 외벽의 단열이 이루어지지 않음에 따라 외기로부터의 열저장이 거의 없게 된다. 이에 반해 동절기 실내온도는 24℃ 이상으로 유지됨에 따라 30%이하의 실내습도 조건에서도 결로가 발생하게 된다.

그러나 외단열이 시공된 경우에는 단열재의 열저항이 증가함에 따라 표면온도가 18.28℃로 높아짐으로써 결로는 발생하지 않음을 알 수 있었다.



(a) 개수 이전 (b) 개수 이후

그림 3. 발코니 부위 접합부의 전열해석 결과

3. 외단열 개수에 따른 에너지 소비량 해석

3.1 Simulation 개요

(1) 건물 Zoning

대상건물은 일반 사무소 건물과 달리 주거용으로 사용되는 공동주택임에 따라 설정온도나 사용기간 등은 유사한 반면, 세대위치, 실별 사용스케줄 및 실내 발열조건 등에 따른 부하의 영향은 서로 달라지게 된다. 따라서 최상층과 최하층 및 측면세대에 미치는 외기의 영향을 고려하기 위하여 먼저 대상건물을 최상층, 최하층 및 중간층 세대로 구획한 후 다시 측면세대와 중앙부 세대로 구별하여 9개 세대를 별도로 Simulation하였다.

또한 같은 세대 내에서도 실별 사용스케줄과 발열량이 달라질 수 있음에 따라 각 실별로 세대를 구획하여 상호 열전달을 정확하게 해석하였다.

(2) 난방기간 및 실내발열 스케줄

실내에서 발생하는 열에 대한 정확한 데이터를 입력하기 위하여 대상건물의 실제 거주자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 30평형 피만의 30개 세대를 대상으로 하였으며, 가족수, 난방기간 및 생활습관 등에 관해 질문하였다.

① 난방기간

일반적으로 난방기간은 모든 세대에서 다소 차이를 보이게 된다. 설문조사 결과 응답세대의 응답분포가 정규분포를 이룸에 따라 본 Simulation에서는 응답세대의 80% 이상이 난방을 하고 있는 11월 1일에서 3월 31일까지를 난방기간으로 가정하여 입력하였다.

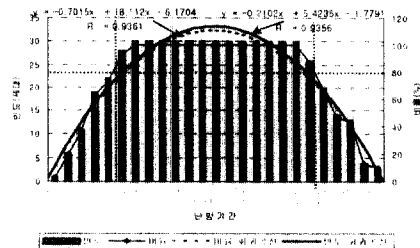


그림 4. 난방기간 응답분포

2. 보유 실내발열기기 분포

세대 내부에 구획한 각 실에서 발생하는 각종 기기의 발열량 및 발열시간을 입력하기 위하여 대상세대의 실내발열기기 및 기기 보유장소를 조사한 후, 조사결과를 바탕으로 실내발열 데이터를 입력하였다.

표 4. 기기 발열 입력조건

공간	종류	발열량	산출단거	
안방	인체	· 현열52, 잠열28kcal/h	24℃ 정좌 진공청소기1400W 형광등30Wx2EA	
	기기	· 85.37W/m ²		
	조명	· 3.66W/m ²		
작은방 1	인체	· 현열55, 잠열36kcal/h	24℃ 가벼운 작업 PC50W, 모니터65W 형광등30Wx2EA	
	기기	· 8.19W/m ²		
	조명	· 4.27W/m ²		
작은방 2	인체	· 현열55, 잠열36kcal/h	· 24℃ 가벼운 작업 · 책상용 스탠드27W · 형광등30Wx2EA	
	기기	· 3.70W/m ²		
	조명	· 8.23W/m ²		
거실	인체	· 현열 52, 잠열28kcal/h	· 24℃ 정좌 · 25"TV160W · 형광등30Wx4EA	
	기기	· 12.43W/m ²		
	조명	· 9.32W/m ²		
주방	인체	· 현열 58, 잠열56kcal/h	· 24℃ 작은 동작 · 가스레인지160W · 전자레인지620W · 500ℓ 냉장고76W · 전기밥솥650W · 형광등20Wx2EA & · 백열전구60Wx1EA	
	기기	· 7.87W/m ² · 30.48W/m ² · 3.74W/m ² · 31.96W/m ²		
	조명	· 4.92W/m ²		
	인체	· 현열67, 잠열103kcal/h		· 24℃ 착석작업(공장) · 10kg세탁기540W · 백열전구60W
	기기	· 26.55W/m ² · 2.17W/m ²		
욕실	조명	· 11.1W/m ²	· 백열전구60W	
계단	조명	· 5.56W/m ²	· 백열전구60W	
방문대	조명	· 12.8W/m ²	· 백열전구60W	

3. 거주자 스케줄

거주자들의 생활패턴에 대한 전형적인 표준을 찾기 위하여 주거공간에서 발열이 일어날 수 있는 행동패턴으로 크게 외출, 취침, 조리, TV시청, 청소 및 세탁을 하는 시간을 평일, 토요일, 일요일로 구분하여 질문하였으며, 그 결과로부터 가장

빈도가 높은 수준을 대상세대의 표준 스케줄로 가정하여 인체, 기기 및 조명발열 기본 데이터로 입력하였다.

3.2 건물 최대부하 및 에너지소비량

(1) 건물 최대 냉·난방부하

각 세대별 건물 최대 냉·난방부하를 개수 전후로 비교한 결과는 표 5.와 같다.

표 5. 세대별 최대 냉·난방부하

대상세대	냉방부하 (kW)		난방부하 (kW)		냉방부하 감소비율 (%)	난방부하 감소비율 (%)
	전	후	전	후		
서측최하층	2.211	2.155	3.201	3.086	2.53	3.59
서측중간층	2.033	1.975	1.599	1.465	2.85	8.38
서측최상층	2.597	2.406	2.802	2.394	7.35	14.56
중앙최하층	2.033	1.982	2.862	2.747	2.51	4.02
중앙중간층	1.867	1.815	1.234	1.100	2.79	10.86
중앙최상층	2.334	2.163	2.371	1.988	7.33	16.15
동측최하층	2.224	2.173	3.205	3.090	2.29	3.59
동측중간층	2.047	1.994	1.598	1.464	2.59	8.39
동측최상층	2.570	2.399	2.865	2.481	6.65	13.40

표 5.에 나타난 바와 같이 성능개선 이후 건물 최대 냉방부하는 2.5~7.3%의 절감효과를 나타냈으며, 최대 난방부하는 3.6~16.2%의 절감효과를 보였다.

특히 동절기에 있어서 최상층 세대의 경우, 지붕을 통한 열손실량이 크게 줄어들어 전체 난방부하의 약 15%가 절감되는 것으로 나타났다. 그러나, 최하층 세대의 경우 바닥을 통한 열손실로 인해 부하 절감정도는 4% 정도의 작은 값을 보였고, 측벽세대에 있어서도 측벽단열을 시공하지 않았음에 따라 8% 내외의 절감율만을 나타냈다.

한편, 벽체 및 지붕성분만을 별도로 분석한 결과인 표 7.에 따르면 벽체를 통한 냉방부하의 경우는 동서측 측벽세대에서 약 20%의 부하가 감소되고 있으며, 중앙부 세대에서는 약 50% 감소

되고 있음을 알 수 있었다.

난방부하 측면에서도 최상층의 경우 20% 이상의 높은 열량이 지붕단열을 통해 절감되었으며, 중간층 세대에서도 벽체의 추가단열로 인해 외벽을 통한 열손실량은 최소 17%에서 최대 38%까지 절감되었다. 그러나, 최하층의 경우 바닥을 통한 열손실이 상당함에 따라 최하층 세대의 바닥단열을 추가로 할 경우 더 큰 부하가 절감될 것을 예상할 수 있었다.

표 6. 지붕 및 외벽성분별 최대냉·난방부하

대상세대	성분	난방부하 (kW)		감소 비율 (%)	난방부하 (kW)		감소 비율 (%)
		전	후		전	후	
서측최하층	· 벽체	0.281	0.225	19.9	-0.683	-0.569	16.7
	· 지붕	0	0	0	0	0	0
	· 바닥	0.223	0.223	0	-1.781	-1.781	0
서측중간층	· 벽체	0.271	0.213	21.4	-0.720	-0.586	18.6
	· 지붕	0	0	0	0	0	0
	· 바닥	0	0	0	0	0	0
서측최상층	· 벽체	0.451	0.359	20.4	-1.384	-1.115	19.4
	· 지붕	0.355	0.256	27.9	-0.490	-0.351	28.4
	· 바닥	0	0	0	0	0	0
동측최하층	· 벽체	0.094	0.043	54.3	-0.343	-0.228	33.5
	· 지붕	0	0	0	0	0	0
	· 바닥	0.223	0.223	0	-1.781	-1.781	0
중앙중간층	· 벽체	0.090	0.038	57.8	-0.355	-0.221	37.7
	· 지붕	0	0	0	0	0	0
	· 바닥	0	0	0	0	0	0
중앙최상층	· 벽체	0.209	0.126	39.7	-0.889	-0.630	29.1
	· 지붕	0.319	0.231	27.6	-0.514	-0.430	22.4
	· 바닥	0	0	0	0	0	0
동측최하층	· 벽체	0.285	0.234	17.9	-0.686	-0.571	16.8
	· 지붕	0	0	0	0	0	0
	· 바닥	0.223	0.223	0	-1.781	-1.781	0
동측중간층	· 벽체	0.270	0.217	19.6	-0.719	-0.585	18.6
	· 지붕	0	0	0	0	0	0
	· 바닥	0	0	0	0	0	0
동측최상층	· 벽체	0.445	0.362	14.2	-1.383	-1.123	18.8
	· 지붕	0.319	0.231	27.6	-0.554	-0.430	22.4
	· 바닥	0	0	0	0	0	0

(2) 건물 연간 에너지소비량

본 절에서는 개수에 따른 세대별 연간 에너지 소비량의 증감을 분석하였다.

표 7. 세대별 연간 에너지소비량

대상세대	냉방에너지 (MWh)		난방에너지 (MWh)		냉방 절감비율 (%)	난방 절감비율 (%)
	전	후	전	후		
서측최하층	2.553	2.458	4.030	3.775	3.72	6.33
서측중간층	3.334	3.262	2.143	1.864	2.16	13.02
서측최상층	4.096	3.768	4.748	3.862	8.01	18.66
중앙최하층	2.361	2.274	3.363	3.116	3.68	7.34
중앙중간층	3.231	3.166	1.409	1.142	2.01	18.95
중앙최상층	3.736	3.415	4.022	3.186	8.59	20.79
동측최하층	2.503	2.410	4.089	3.834	3.72	6.24
동측중간층	3.334	3.268	2.130	1.855	1.98	12.91
동측최상층	4.010	3.685	5.137	4.296	8.10	16.37

Simulation 결과, 세대별 난방에너지 소비량은 바닥을 통한 지중열손실이 발생하는 최하층 세대를 제외하고는 중간층 세대에서 약 12%, 최상층 세대에서 약 20%의 높은 절감량을 나타냄에 따라 성능개선을 통한 난방에너지의 절감효과는 우수한 것으로 분석되었으며, 이와 동시에 최하층의 경우 바닥을 통한 열손실을 차단할 수 있는 대책이 필요한 것으로 나타났다.

또한 최대부하 분석결과와 마찬가지로 연간 에너지소비량에 있어서도 지붕을 보수한 최상층 세대에서 가장 많은 에너지를 절감할 수 있으며, 측벽세대의 경우 중앙부 세대에 비해 절감량이 작음으로 미루어 볼 때 측벽단열을 추가로 할 필요성이 있음을 알 수 있다.

3.3 개수에 따른 열원관련 에너지 소비량

건물에 사용된 에너지를 전기와 가스로 분리하여 그 소비량을 비교해 보면 표 8.과 같다.

표 8. 에너지 종류별 소비량 (단위 : MWh)

대상 세대		조명		기기		난방		펌프	급탕	계		Site Energy	Source Energy
		전기	기	전기	가스	전기	가스			전기	가스		
W1	전	0.9	2.1	0.3	6.8	0.1	13.7	3.4	20.5	23.96	30.78		
	후	0.9	2.1	0.3	6.3	0.1	13.7	3.4	20.1	23.45	30.23		
W2	전	0.9	2.1	0.1	2.9	0.0	13.7	3.1	16.6	19.65	25.79		
	후	0.9	2.1	0.1	2.3	0.0	13.7	3.0	16.0	19.06	25.16		
W4	전	0.9	2.1	0.3	8.3	0.0	13.7	3.2	22.0	25.25	31.72		
	후	0.9	2.1	0.2	6.9	0.0	13.7	3.2	20.6	23.84	30.23		
C1	전	0.9	2.1	0.2	5.8	0.0	13.7	3.2	19.5	22.68	29.11		
	후	0.9	2.1	0.2	5.3	0.0	13.7	3.2	19.0	22.17	28.57		
C2	전	0.9	2.1	0.1	1.8	0.0	13.7	3.0	15.5	18.54	24.60		
	후	0.9	2.1	0.1	1.2	0.0	13.7	3.0	15.0	17.95	23.95		
C4	전	0.9	2.1	0.2	7.3	0.0	13.7	3.2	21.0	24.17	30.57		
	후	0.9	2.1	0.2	6.0	0.0	13.7	3.2	19.7	22.83	29.15		
E1	전	0.9	2.1	0.3	6.9	0.1	13.7	3.3	20.6	23.84	30.36		
	후	0.9	2.1	0.3	6.4	0.1	13.7	3.2	20.1	23.33	29.82		
E2	전	0.9	2.1	0.1	2.8	0.0	13.7	3.1	16.6	19.62	25.76		
	후	0.9	2.1	0.1	2.3	0.0	13.7	3.0	16.0	19.03	25.13		
E4	전	0.9	2.1	0.3	8.7	0.0	13.7	3.2	22.4	25.69	32.19		
	후	0.9	2.1	0.2	7.4	0.0	13.7	3.2	21.1	24.35	30.77		

표 8.로부터 외단열로 외단열 및 지붕추가단열을 시행한 개보수공사에 의해 전기에너지 및 급탕에 사용된 가스에너지는 차이가 없음을 알 수 있으며, 난방에 사용된 가스소비량 절감에 의해 최소 400kWh, 최대 1400kWh의 난방에너지가 감소됨을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 세대내 열교부위에 대한 전열해석 Simulation 결과, 개보수를 통해 부위별 벽체 표면온도는 내

외벽 집합부 약 3℃, 축벽 집합부 약 1℃, 발코니 부위 집합부 약 12℃ 이상 상승됨에 따라 결로발생이 방지될 수 있고 이로 인해 거주자들의 건강과 쾌적성 향상에 기여할 수 있음을 확인하였다. 또한 이러한 결과는 벽체의 실내측 표면온도 상승에 따른 외피열손실량이 줄어들어 동절기 난방부하 절감측면에서도 효과를 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

(2) 개수에 따른 건물 에너지절약 효과를 분석한 결과, 건물 최대 냉방부하 2~7%, 난방부하 4~16%의 절감을 나타냈고, 연간 냉방에너지 2~8%, 난방에너지 6~20%의 절감을 나타냈다.

(3) 열원관련 에너지소비량 분석결과, 외단열 개수에 의해 최소 400kWh, 최대 1400kWh의 가스 소비량이 절감됨을 알 수 있었다.

연구결과로부터 외단열공법을 활용한 성능개선의 효과를 확인할 수 있었으며, 시공성, 경제성 등 폭넓은 분야에서의 종합적인 접근이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 송국섭 외, 그린빌딩의 에너지 소모량 평가 및 환경성능 분석, 1998.
- (2) 유형규, 「사무소건물의 OA기기 발열특성에 관한 연구」, 중앙대학교 석사학위 논문, 1998.
- (3) 통상산업부, 건물의 공조부하계산용 표준전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구에 관한 최종보고서, 1996.
- (4) 한국건설기술연구원, 공동주택의 열성능 향상방안에 관한 연구(1), 1993.
- (5) LBL, DOE-2 BASICS, Version 2.1E.
- (6) LBL, DOE-2 REFERENCE MANUAL, PART 1, Version 2.1.
- (7) LBL, DOE-2 REFERENCE MANUAL, PART 2, Version 2.1.
- (8) LBL, DOE-2 SAMPLE RUN BOOK, Version 2.1E.
- (9) PHYSIBEL, PHYSIBEL Software Guidelines 98.05.25.
- (10) PHYSIBEL, KOBUR86 manual 98.08.13.