

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 23, No. 4, 2003

3차원 전열해석 및 생애비용 분석을 통한 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능 향상 방안 평가

강승희*, 송승영**

*이화여대 과학기술대학원 건축학과(full21c@ewha.ac.kr)

**이화여대 건축학과(archssy@ewha.ac.kr)

Insulation Performance Evaluation of the Curtain Wall Anchoring Unit by 3D Heat Transfer Simulation and Life Cycle Cost Analysis

Kang, Seung-Hee*/ Song, Seung-Yeong**

*Dept. of Architecture, EIST, Ewha Womans University(full21c@ewha.ac.kr),

**Dept. of Architecture, Ewha Womans University(archssy@ewha.ac.kr)

Abstract

It is very important to improve the insulation performance of curtain wall anchoring unit since it is composed of materials with high thermal conductivity, such as aluminium, steel and so on. This study aims to evaluate the heating energy performance and economical efficiency of various alternatives which are different in position and material of insulation. As results, alternative of inserting the urethane washer & pad and coating the anchoring unit with urethane foam can improve the heating energy performance and L.C.C(Life Cycle Cost) by 6.33% and 0.95%, respectively, as compared with the existing case.

Keywords : 커튼월(Curtain wall), 앵커링 유닛(Anchoring unit), 단열(Insulation), 생애비용(LCC), 전열해석(Heat transfer simulation), 초고층 주상복합(High rise residential complex)

기호 설명

C_{hanch} : 연간 난방 에너지비용 (원)

Q_{hanch} : 연간 손실열량 (MJ)

ϵ : 난방 설비 효율

$UnitC_d$: 열량당 사용요금(원/MJ)

C_E : 생애기간 동안의 난방 에너지비용(원)

PW : 현재 계수

- C_{EI} : 연간 난방 에너지비용(원)
- e : 가격상승율
- I : 이자율
- n : 생애기간(년)

1. 서론

커튼월은 건식 조립식 벽체로서 철골조 건물의 외벽으로 사무용 고층 건물에 널리 설치되고 있다. 1990년대 중반 이후 주상복합을 중심으로 한 고층 주거시설의 건축이 활발해지면서 특히 일부에 불과했던 커튼월을 적용한 주거용 건물이 급속히 증가되고 있는 상황이다.

고층 주거용 건물은 주거의 사용특성상 내부발열이 적어 상대적으로 난방부하의 비중이 매우 크며, 외피부하 지배형 건물이 되어 외피 단열성능이 전체 에너지 소비에 미치는 영향이 매우 크다는 특징이 있다. 그리고 난방을 위한 온수배관이 바닥에 설치되므로 사무용 건물과는 달리 슬라브와 커튼월 연결부에서의 전도열전달이 상당량 이루어진다. 하지만 구조체와 커튼월의 연결에 사용되는 앵커, 패스너, 멀리온, 볼트, 너트 등의 부재로 대부분 알루미늄 및 철 등과 같은 열전도율이 매우 높은 금속성 재료가 사용되고 있음에도 불구하고 별다른 단열조치가 되어 있지 않아, 구조체와 커튼월을 연결하는 부위는 열교가 되고 있어 에너지 손실 및 결로 등의 많은 문제를 유발하고 있다. 이와 같은 문제는 구조체와 커튼월간 연결부위(본 연구에서는 커튼월 앵커링 유닛이라 한다)에서의 단열성능을 향상시킴으로써 방지가 가능할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능 향상을 위한 여러 가지 대안을 제안하고 이들에 대한 전열해석을 실시하여 각 대안별 난방 에너지성능 및 생애비용 분석을 통해 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능 향상에 도움을 주고자 하였다.

본 연구의 방법 및 범위를 연구 순서에 따라 정리하면 그림 1과 같다.

2. 단열성능 향상을 위한 대안 설정

커튼월 앵커링 유닛의 성능 평가를 위해 실제 시공 중인 주상복합 건물(2004년 6월 완공 예정인 A사 B주상복합 건물)에서의 사례를 토대로 기존안과 대안을 작성하였다. 커튼월 앵커링 유닛이 설치되는 부위는 그림 2와 같은 기준층 안방의 외

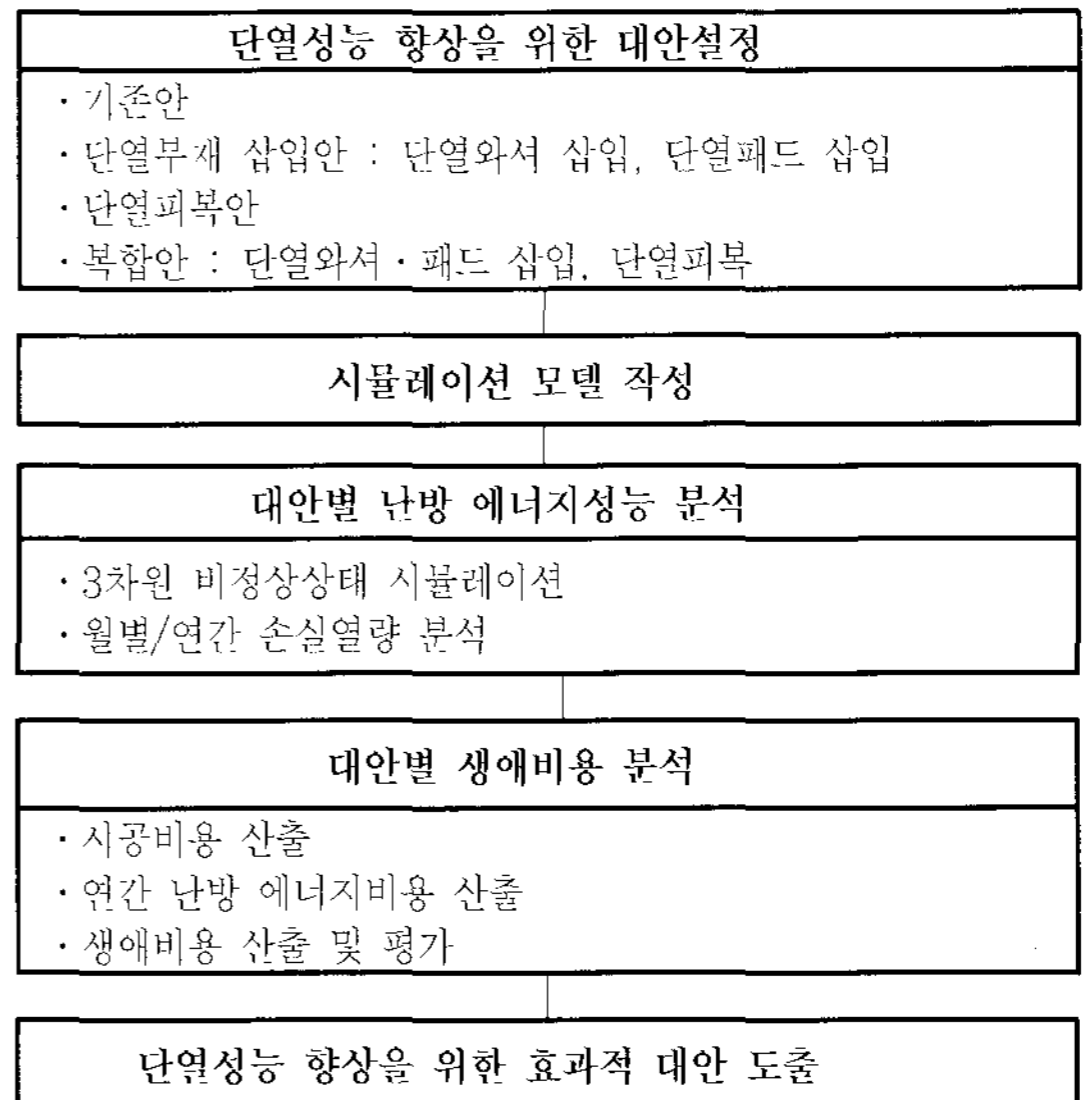


그림 1. 연구의 방법 및 범위

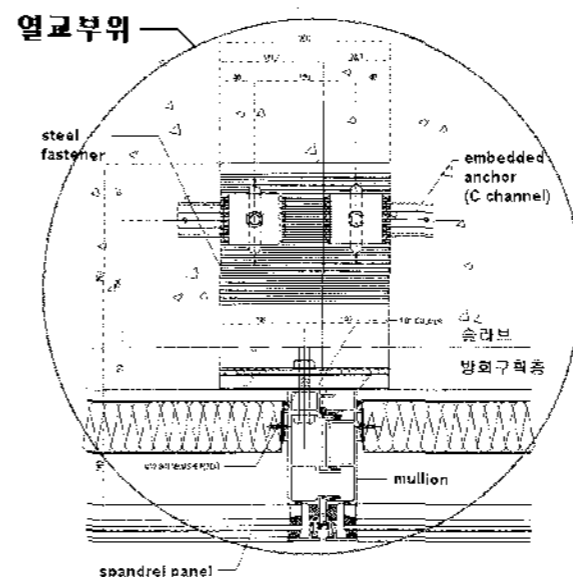


그림 2. 평가대상 부위 평면 상세도



그림 3. 단열와셔 및 패드의 형상 예

피부위로 하였으며, 커튼월 패널 부착용 멀리온과 패스너 및 슬라브를 중심으로 하여 평가대상 부위를 설정하였다.

커튼월 앵커링 유닛의 단열성능을 향상시키기 위해서는 우선 앵커링 유닛 자체내에서의 단열, 앵커링 유닛과 바닥 마감층간 단열의 두가지 방안이 있을 것이다. 앵커링 유닛 자체내에서의 단열을 위해서는, 패스너와 T볼트 및 너트간 단열을 위한 단열와셔 삽입, 패스너와 C채널 및 슬라브간 단열을 위한 단열패드 삽입 등의 방안이 있을 수 있다. 여기에서 단열와셔와 패드는 단열성능 및 구조성능 확보가 가능하고 성형과 구입이 용이한 재료라야 할 것이며, 경질 우레탄 등이 적용 가능할 것으로 판단된다. 한편 앵커링 유닛과 바닥 마감층간 단열을 위해서는 앵커링 유닛 외부를 우레탄 폼 등의 스프레이형 단열재로 단열피복하는 방안이 있을 수 있다. 이상과 같은 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능 향상 방안과 기존안의 개요는 표 1과 같고, 그림 3은 단열와셔와 패드의 형상 예를 나타낸 것이다.

3. 3차원 전열해석을 통한 대안별 난방 에너지성능 평가

3.1 평가 순서 및 방법

본 연구에서는 대안별 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능 평가를 위해 시뮬레이션 모델을 작성한 다음 각 대안들에 대한 월별 연간 전열해석 시뮬레이션을 실행하였다. 해석 프로그램으로는 Physibel을 사용하였으며 3차원 비정상상태 해석을 위해 서브 프로그램인 Voltra 버전3.0w를 사용하였다.

3.2 시뮬레이션 모델 및 조건

시뮬레이션 대상 기간은 월별의 1년간으로 하였으며, 서울 지역의 기상자료¹⁾를 사용하였다.

기존안을 기준으로 표 2와 같이 시뮬레이션 조건을 설정하였으며 실제 난방운전시의 단열성능 평가를 위해 난방용 온수의 공급 스케줄을 표 3과 같이 하였다. 시뮬레이션에 적용된 구조체 재료 물성치²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾는 표 4와 같다.

표 1. 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능 향상 방안

구분	기존 앵커링 유닛	단열성능 향상 방안
개념도		
평가대상 부위크기	1,280 mm × 980 mm × 1,420 mm	
적용 커튼월 시스템	Unit system	
	Metal curtain wall	
	Embedded anchor system	
비고	와셔, 패드 단열재료	경질 우레탄
	피복 단열재료	우레탄 폼

3.3 대안별 난방 에너지성능 분석

기존안, 단열와셔 삽입안, 단열패드 삽입안, 단열피복안, 복합안(단열와셔+단열패드+단열피복)의 월별손실열량은 모두 같은 변화 패턴을 보였다.(그림 4 참조) 서울 지역의 최한월인 1월의 경우 손실열량이 가장 큰 기존안의 경우 85,557kJ이며 손실열량이 가장 적은 복합안은 79,759kJ로 5,798kJ(6.78%)의 차이가 난다. 연간 손실열량은 표 5에서와 같이 복합안이 463,701kJ로 기존안 대비 -6.33%의 증감율을 보여 손실열량이 가장 적은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 단열피복안 478,219kJ(-3.40%), 단열패드 삽입안 485,996kJ(-1.82%), 단열와셔 삽입안 494,206kJ(-0.17%), 기존안 495,024kJ 순으로 나타났다. 연간 손실열량이 가장 큰 기존안과 가장 적은 복합안의 단면내 온도분포는 그림 5와 같다.

표 2. 시뮬레이션 조건

구분	값	
실내 온도	동계(12~2월)	20℃
	춘추계(3~5, 9~11월)	23℃
	하계(6~8월)	26℃
난방용 온수 공급 온도	65℃	
실내측 표면 열전달율	5.8 W/m ² ℃	
실외측 표면 열전달율	동계(12~2월)	34.0 W/m ² ℃
	춘추계(3~5, 9~11월)	28.4 W/m ² ℃
	하계(6~8월)	22.7 W/m ² ℃

표 3. 난방용 온수 공급 스케줄

운전월	총 운전 시간/일	운전 시간대
1월	7시간	4~6, 11~13, 17~20
2~5월, 10~12월	4시간	4~6, 17~19

표 4. 재료 물성치

구분	재료명	열전도율 (W/m℃)	비열 (J/kg℃)	비중 (kg/m ³)
구조재	철근콘크리트	1.3103	836.77	2,242.58
	기포콘크리트	0.114	1,173	650
단열재	경질우레탄	0.138	2,416	1,144
	우레탄 폼	0.0267	1,589.86	24.03
	글래스 울	0.0419	657	48.2
	암면	0.036	838	50
앵커링 유닛	갈바늄	45.30	500	7,830
	알루미늄	221	896	2,740
미장·마감재	석고 보드	0.326	1,130	940
	모르타르	0.93	921	1,950
기타	santoprene rubber	0.1456	2,287	833
	유리	0.779	800	2,540

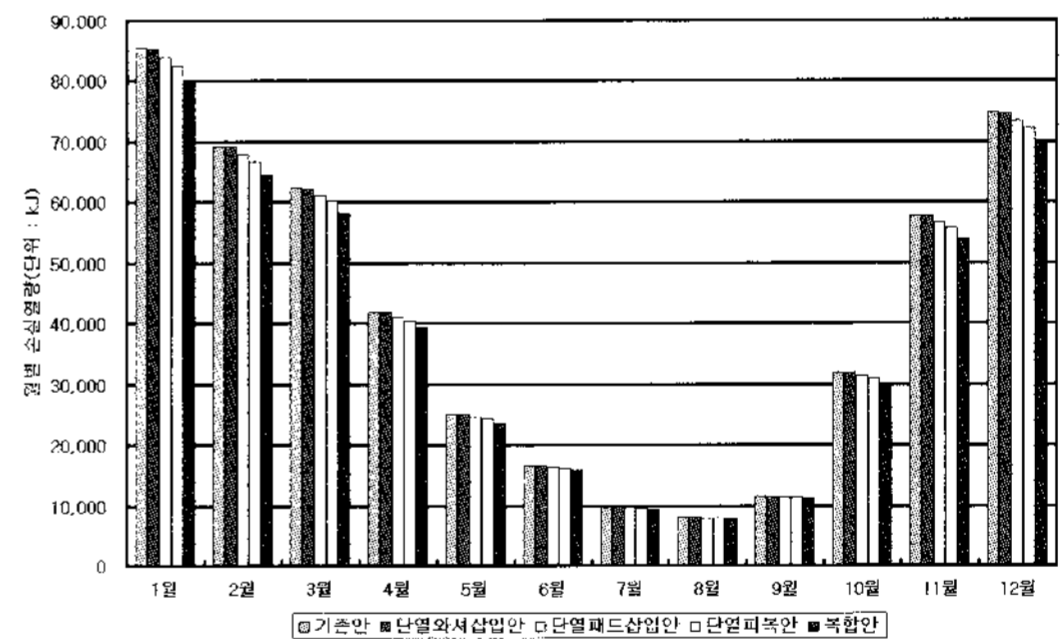


그림 4. 월별 손실열량 비교

표 5. 연간 손실열량 및 증감율

	기존안	단열와셔 삽입안	단열패드 삽입안	단열 피복안	복합안
손실열량 (kJ)	495,024	494,206	485,996	478,219	463,701
증감율 (%)	-	-0.17	-1.82	-3.40	-6.33

- 1) 공기조화냉동공학회, 건물의 공조부하계산용 표준 전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구에 관한 최종보고서, 통상산업부, 1996.9, pp.331~454.
- 2) ASHRAE, 2001 Handbook Fundamentals, ASHRAE, 2001

- 3) 한국화학시험연구원 물성측정자료.
- 4) 이택식·이재현·이준식, 열전달, 회중당, 1992
- 5) 송승영 공동주택 외피 접합부 열교부위의 최적 단열 상세 결정 방법에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교, 1998

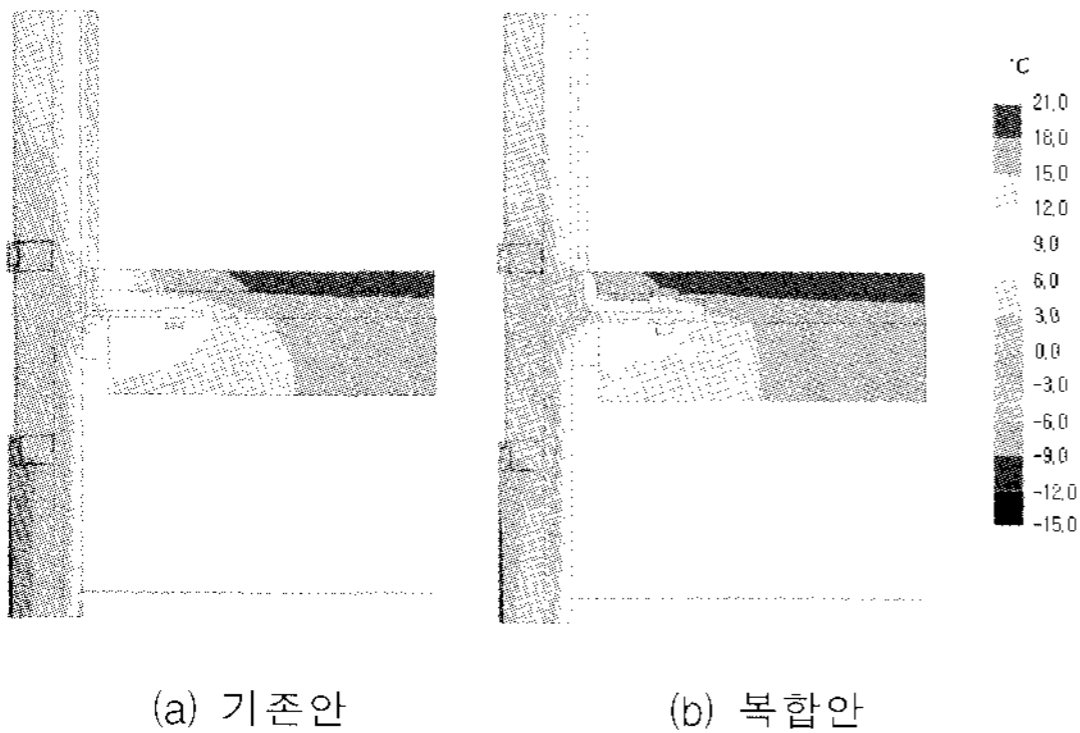


그림 5. 단면내 온도분포(3차원 정상상태 전열해석 별도 실시, 조건: 외기온도 -15°C, 실내온도 20°C, 운수공급 없음)

4. 대안별 생애비용 평가

기존안과 각 대안을 대상으로 시공비용, 난방 에너지비용 및 생애비용을 산출하고 생애비용 추이를 분석하였다.

4.1 시공비용

시공비용은 시뮬레이션 모델을 기준으로 각 자재별 물량 및 단가산정 후 각 대안별 공사비를 산출하였다. 단가 산정에 있어 콘크리트, 암면, 석고보드, 우레탄 스프레이는 한국물가협회의 건설공사 일위대가⁶⁾를, 모르타르는 건설자재연구소의 자료⁷⁾를, 와셔와 패드 및 커튼월 유닛의 단가는 생산 업체의 자료⁸⁾를 기준으로 하였다. 시공비용 산정에 적용된 각 자재별 단가(재료 및 제작비, 시공비 포함)는 표 6과 같으며 시공비용 산출 결과는 표 7과 같다. 시공비용에 있어서 각 대안별

6) 한국물가협회, 건설공사 일위대가 종합적산자료, 통권22호, 2003.
 7) 건설자재연구소(<http://www.jajae.co.kr>), 2003.
 8) (주)삼우EMC, (주)일웅의 단가 자료, 2003.
 9) 연간 에너지비용 산출시 난방 뿐만 아니라 냉방도 고려하는 것이 가장 정확한 비용 산출이 될 것이지만, 주거용 건물의 경우 냉방보다 난방이 에너지비용에 기여하는 정도가 현저히 크다는 점과 주상복합 건물에는 냉방 시스템으로 개별식 시스템 냉방 설비가 주로 설치되어 일률적인 냉방 에너지비용 산출이 어렵다는 점을 고려하여 난방 에너지비용을 대상으로 하였다.

비용 차이는 단열성능 향상을 위해 추가 적용되는 단열재에 의해 결정된다.

표 6. 자재별 단가

자 재	단 가	비 고
철근콘크리트	444,290원/m ³	
경량기포콘크리트	33,910원/m ³	
모르타르	45,720원/m ³	
암면	35,000원/m ²	50T
석고보드	2,090원/m ²	바탕용, 치장용 공통단가
커튼월 유닛	709,770원/unit	연결 철물, 설치비, 설계비 포함 가격
경질우레탄와셔	100원/개	일반 경도 기준
경질우레탄패드	3,420원/개	일반 경도 기준
우레탄스프레이	7,470원/m ²	30T 기준

표 7. 대안별 시공비용 및 증감율

case	시공비용(원)	기존안 대비증감율 (%)
기존안	793,389.62	-
단열와셔 삽입안	793,589.62	0.03
단열패드 삽입안	796,809.62	0.13
단열피복안	793,412.48	0.003
복합안	797,032.48	0.16

4.2 난방 에너지비용

(1) 평가 순서 및 방법

앞서 수행된 3차원 비정상상태 전열해석으로 구해진 각 대안별 연간 손실열량에, 시뮬레이션 모델에 적용되는 난방설비의 효율과 열량당 사용 단가를 적용하여 월별 및 연간 난방 에너지비용을 계산하였다.⁹⁾ 대부분의 주상복합 건물에 적용되는 난방 시스템은 지역난방 방식이었으며 각 세대별 소비열량 및 유량에 의해 요금이 산정되고 있다.

(2) 연간 난방 에너지비용

연간 난방 에너지비용은 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다. 여기에서, 연간 손실열량은 표 5와 같으며 난방 설비 효율은 85.5%¹⁰⁾, 열량당 사용요금¹¹⁾은 표 8을 적용하였다. 계산 결과, 연간 난방 에너지비용은 표 9와 같이 산출되었으며, 복합안이 가장 적고, 단열피복안, 단열패드 삽입안, 단열와셔 삽입안, 기존안의 순으로 점차 증가하는 것으로 나타났다.

$$C_{hanch} = \frac{Q_{hanch}}{\epsilon} \times UnitC_d \quad (1)$$

(3) 생애기간 동안의 난방 에너지비용

식 (2)¹²⁾를 이용, 생애기간 동안의 난방 에너지비용을 계산하였다. 여기에서, 가격상승률은 4.13%¹³⁾, 이자율은 5.23%¹⁴⁾, 생애기간은 40년¹⁵⁾을 적용하였다.

$$C_E = PW \times C_{El}, \quad PW = \frac{\frac{1+e}{1+i} \{ (\frac{1+e}{1+i})^n - 1 \}}{\frac{1+e}{1+i} - 1} \quad (2)$$

10) 열교환기 전열 효율은 일반화하기에는 곤란한 점이 있을 수 있으나, 실용상 보통 열교환기에서의 전열손실 5%, 배관계 손실 10%를 적용하고 있는 것으로 조사되었다. (한국지역난방공사 기술운영처 자료 및 설비설계사무소 설계자료) 이를 토대로 세대 인입시까지의 난방설비 효율을 85.5%로 적용하였다.
 11) 한국지역난방공사 열요금표(2003.2.1 시행), 집단에너지사업법 제17조(공급규정).
 12) A. J. Dell'Isola and S. J. Kirk, Life Cycle Costing for Design Professionals, McGraw-Hill Book Co., NewYork, 1981, p.20.
 13) 1997.1.1~2001.12.1 동안의 서울지역 주택·난방용(중앙) 도시가스 소매가 평균 인상률.
 14) 2003년 상반기 3년 만기 우량채권 이자율의 평균, 증권협회와 (주)한국채권평가주식회사 자료 참조.
 15) 2003년 개정된 서울시 조례의 재건축 기한을 토대로 생애기간을 40년으로 설정하였다.

표 8. 주택용 열량당 사용요금

기본요금	사용요금		열량당 요금
계약면적㎡당 49.02원	춘추절기 (3~5월, 9~11월)	39.92원/Mcal	9.77원/MJ
	하절기 (6~8월)	35.93원/Mcal	8.58원/MJ
	동절기 (12~2월)	41.92원/Mcal	10.01원/MJ

표 9. 연간 난방 에너지비용(단위 : 원)

	기존안	단열와셔 삽입안	단열패드 삽입안	단열 피복안	복합안
연간	6,382.11	6,371.50	6,265.22	6,164.73	5,976.76
증감율	0.00%	-0.17%	-1.83%	-3.41%	-6.35%

4.4 대안별 생애비용 비교평가

(1) 생애비용 평가 개요

본 연구에서는 생애비용 평가시 커튼월 앵커링 유닛이라는 특정 부위를 대상으로 하므로 유지보수비용 및 철거비용 등을 제외하고 시공비용과 에너지비용 만을 대상으로 하였으며, 그 결과는 표 10과 같다.

표 10. 생애비용 (단위 : 원)

구분	초기시공비용	생애기간 동안의 난방 에너지비용	생애비용
기존안	793,389.62	207,329.30	1,000,718.92
단열와셔삽입안	793,589.62	206,984.70	1,000,574.32
단열패드삽입안	796,809.62	203,531.98	1,000,341.60
단열피복안	793,412.48	200,267.34	993,679.82
복합안	797,032.48	194,160.99	991,193.47

(2) 대안별 생애비용 평가

생애비용은 복합안이 가장 낮은 것으로 나타났다. 기존안과 비교하였을 때 생애기간 동안의 난방 에너지비용은 13,168원(-6.35%) 감소하고

생애비용은 9,526원(-0.95%) 감소하여 다른 대안들보다 생애비용 측면에서 우수하였다.(표 11 참조) 단열와셔 삽입안과 단열패드 삽입안은 기존안에 비해 생애비용 측면에서 큰 차이를 보이지는 않았다. 한편 단열 피복안은 7,039원(-0.70%)의 비용이 줄어들어 복합안을 제외하였을 때 생애비용 측면에서 가장 기여도가 큰 것으로 나타났다. 이는 복합안을 제외한 나머지 세 개의 단열성능 향상 대안 중 시공비용이 가장 저렴하고 에너지성능이 우수하기 때문이다.

표 11. 기존안 대비 대안별 비용 증감

구 분		초기시공비용	생애기간 동안의 난방 에너지비용	생애비용
단열와셔 삽입안	증감액(원)	200.00	-344.60	-144.60
	증감율(%)	0.03	-0.17	-0.01
단열패드 삽입안	증감액(원)	3,420.00	-3,797.32	-374.32
	증감율(%)	0.43	-1.83	-0.04
단열 피복안	증감액(원)	22.86	-7,061.96	-7,039.10
	증감율(%)	0.003	-3.41	-0.70
복합안	증감액(원)	3,642.86	-13,168.32	-9,525.45
	증감율(%)	0.46	-6.35	-0.95

5. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 난방 에너지성능 측면에서는 복합안, 단열 피복안, 단열패드 삽입안, 단열와셔 삽입안, 기존안의 순서로 월별 손실열량이 증가하였다. 단열와셔 삽입안은 기존안에 비해 0.05~0.23%정도만의 에너지성능 향상을 보이지만 단열피복안은 1.64~3.61%로 성능이 향상되며 단열부재 삽입안과 피복안을

함께 적용한 복합안의 경우는 단열 피복안의 약 2배에 해당하는 성능 향상이 이루어져서 복합안의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 특히 연간 손실열량에서는 복합안이 기존안 대비 31,324 kJ이 절감되어 -6.33%의 증감율을 보였다.

(2) 시공비용 측면에서, 각 대안들 중 시공비용이 가장 적은 경우는 적용 단열재 단가가 가장 저렴한 단열피복안으로 나타났다. 평가대상 부위에서 기존안에 비해 0.003%의 비용 상승만 있어 복합안 제외 시 시공비용이 가장 높은 단열패드 삽입안과 비교했을 때 많은 차이가 발생하였다. 시공비용의 차이는 단열성능 향상을 위해 추가 적용되는 단열재료에 의해 좌우되므로 단열성능 대비 비용효율이 보다 우수한 단열재료를 적용할 수 있다면 시공비용을 보다 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 생애비용 측면에서는, 복합안이 기존안에 비해 -0.95%의 비용 증감율을 보이며 가장 우수한 것으로 나타났다. 복합안의 경우 시공비용 면에서는 가장 불리하였지만 생애기간 동안의 에너지비용 감소가 커 생애기간 전체를 볼 때에는 비용이 가장 낮았다. 그 다음으로 우수한 대안은 단열피복안인 것으로 나타났다.

본 연구에서는 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능 향상을 위한 대안들을 제시하고, 각 대안들에 대한 전열해석과 생애비용 분석을 실시하였다. 본 연구에서 제안한 커튼월 단열 앵커링 유닛이 실용화되기 위해서는 결로방지성능, 구조성능, 시공성능 등에 대한 추가적 연구와, 단열성능 대비 비용효율이 우수한 타 단열재료에 대한 추가 검토 등이 필요할 것으로 판단되며, 이에 대한 연구를 계속 수행할 예정이다.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (과제번호 KRF-2002-003-D00414)

참 고 문 헌

1. 고병민, 초고층 건축물의 커튼월, 대한건축학회 초고층 주거시설 시공기법 세미나, 2001. 9.
2. 대한설비공학회, 설비공학편람, 대한설비공학회, 2001.
3. 송승영, 공동주택 외피접합부 열교부위의 최적 단열 상세 결정 방법에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교 대학원, 1998.2.
4. 이택식·이재현·이준식, 열전달, 희중당, 1992.
5. ASHRAE, 2001 Handbook Fundamentals, ASHRAE, 2001.
6. Behr, R. A., On-Site Investigations of Spandrel Glass Micro-environments, Building and Environment, Vol.30, No.1, 1994.