

# 공동주택 외단열공법 적용현황 및 에너지 성능평가에 관한 연구



글 박철용 \ R&D팀 차장 \ 전화 02-3433-7731 \ E-mail cypark@ssyenc.com

본 내용은 당사와 SH공사, 현대산업개발, SK건설의 2012년 공동 연구 최종보고서를 요약한 것으로 외단열공법의 시공기술에 대해서는 고려대학교와 위탁연구를 진행하였고, 내단열공법과 외단열공법의 에너지 성능비교는 EAN 테크놀로지과 위탁연구를 진행하였다.

## 1. 서론

국토교통부에서는 건물부문에 있어서 선진국 수준의 저탄소 건축물 구현을 위하여 2020년까지 건축물 온실가스 배출량(BAU)의 31% 감축 및 2025년부터 모든 신축건물에 대해 제로에너지를 의무화하는 내용의 녹색성장 추진전략을 발표하였다. 본 전략의 구체적인 실천과제로 에너지절약설계기준에서는 외벽의 열관류율 기준을 단계적으로 30% 이상 향상시켜 궁극적으로 독일 패시브 하우스 수준에 해당하는 수준까지 강화할 예정이며, 친환경 주택 건설기준 및 성능에 의한 에너지 절감을 기준 또한 2009년 20% 이상 절감에서 2011년 30% 이상 절감으로 향상시켰으며, 이 또한 단계적으로 강화할 예정이다. 또한 건축물 에너지 효율등급 인증 제도의 평가방법을 표준주택 대비 에너지 절감률이 아니라 에너지 사용량으로 변경하여 제로에너지 하우스를 평가할 수 있도록 할 예정이다.

이러한 국가정책에 발맞추어 SH공사에서는 2024년까지 패시브 공동주택 건설을 시작으로 2030년까지 에너지 제로하우스를 목표로 한 80% 에너지 절감형 단열기술을 개발하여 적용하고자 계획 중이다. 이러한 에너지 절감형 패시브형 공동주택 건설을 위해서는 현재와 같은 내단열 공동주택의 경우 내부발열이 적어 난방

부하의 비중이 상대적으로 크고, 열교에 의한 에너지 손실량이 많으므로 열교현상을 최소화하고 축열효과까지 기대할 수 있는 외단열 적용이 무엇보다 중요하다.

따라서 본연구에서는 기존 외단열공법의 적용현황을 조사하고 외단열 공동주택의 에너지 성능을 분석하여 이를 바탕으로 공동주택에 외단열공법의 적용 가능성과 합리적인 외단열 시공방법을 제안함으로써 향후 공동주택에서 외단열공법의 적용 가능성을 검토하기 위한 기초자료로 활용함을 목표로 한다.

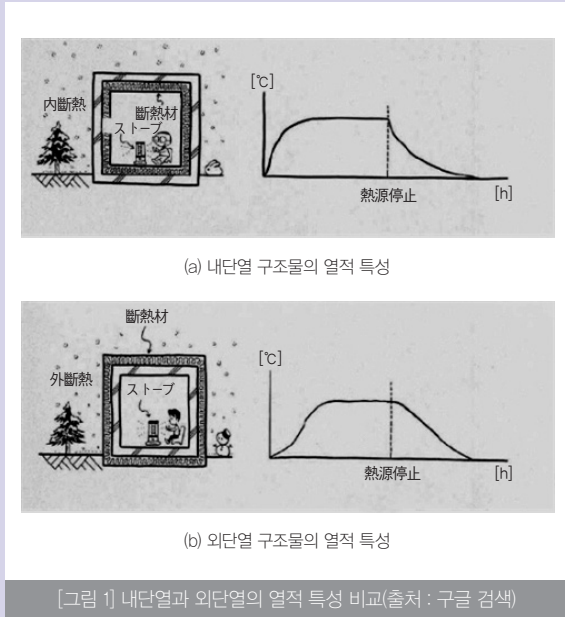
## 2. 외단열공법의 이론적 고찰

본장에서는 외단열공법의 기초자료로서 내단열공법 대비 외단열공법의 특징, 현행 적용기준, 외단열공법에 사용되고 있는 단열재의 종류, 외단열공법의 시공방법 등 일반적인 사항들을 검토해 봄으로써 외단열공법을 적용함에 있어서 검토되어야 할 기준 수립을 위한 기초연구를 진행하였다.

### 2-1. 외단열공법의 개요

국내에서는 대부분 내단열 방식으로 [그림 1-(a)]와 같이 건물내에 단열재를 시공하고, 건물 외부 콘크리트가 노출되어 있는 형태를 가지기 때문에 단열재를 시공한 후 내부 마감이 필요하며 따라서 실내공간이 그만큼 줄어들 뿐 아니라 마감재만으로는 축열효과를 얻을 수 없어 난방열을 쉽게 뺏길 수 있는 구조인데 반하여 건축물 외벽에 단열재를 시공한 후 외부에서 마감재를 시공하는 외단열공법은 [그림 1-(b)]와 같이 실내공간을 넓게 사용할 수 있을 뿐 아니라 실내공간의 콘크리트가 축열효과를 발휘하여 난방열을 오래 품고 있

고, 벽체와 슬래브 접합부를 통한 열교현상도 방지할 수 있기 때문에 열 쾌적성 및 에너지 절감 측면에서 뛰어난 효과가 있다.



## 2-2. 국내외 외단열공법 관련 규정

국내의 경우 '건축물의 에너지절약설계기준'에서 외단열 시공을 건축부문의 권장사항으로 하고 있으며, 전체 외벽면적에 대한 창면적비가 50% 미만일 경우에 한하여 에너지절약계획서의 에너지성능지표(EPI, Energy Performance Index) 점수 산정 시 전체 외벽면적에 대한 외단열 시공면적 비율에 따라 배점을 부여하고 있다. 또한, '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'에서 모든 외피 부위의 단열성능을 단순히 열관류율로만 규정함으로써 열교부위에 대한 고려 자체를 못해주고 있으며, 열교제거를 위한 적극적이고 구체적인 기준 및 제도가 전혀 마련된 바 없어 열교발생으로 인한 많은 에너지 손실이 초래되고 있는 실정이다.

일본의 차세대 에너지절약기준은 현행 기준 대비 20% 에너지 절감형 주택의 구현을 목적으로 건축물의 요구성능을 높이기 위한 기준의 강화(안)을 설정하여 단열 및 기밀 성능 기준의 강화, 일사 유입 방지기준으로 구성하고 있다. 미국은 건축물의 에너지절약을 위한 기준 및 제도 개발을 지속적이며 장기적으로 추진하고 있으며, 가장 보편적으로 적용되고 있는 기준은 미국냉난방공조기술자협회(ASHRAE) 기준을 많이 채택하고 있다. 독일은 에너지절약 목표치를 효과적으로 달성하기 위해서 법적 기본 의무조치만으로는 한계가 있음을 인식하여 에너지절약기술의 개발지원 및 건축주에게 인센티브의 부여 등 자발적 에너지절약 극대화를 추

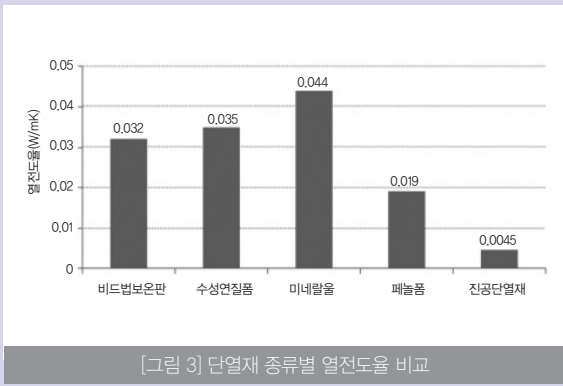
구할 수 있는 정책 수립과 제도 개선작업을 추진하여 1995년 강화된 기준을 공포하였다.

이 외에 스위스, 프랑스, 덴마크, 노르웨이, 폴란드, 체코, 스페인, 이탈리아 등 거의 모든 유럽국가들은 건물에너지성능평가 시 열교부위의 전열량을 외피 전열량 평가에 포함하도록 하고 있고, 특히 프랑스, 덴마크, 노르웨이 등에서는 신축 및 기존 건축물에서의 선형 열관류율 값의 상한치를 제시하여 열교부위의 전열량을 제한하고 있으므로 이 값을 만족하기 위한 외단열 적용이 일반화되어 있으며, 중국에서도 에너지절약을 위해 2004년부터 신축 공동주택의 외단열 적용을 의무화하고 있는 것으로 조사되었다.

## 2-3. 단열재의 종류

지금까지 외단열공법에서 주로 사용되었던 단열재는 비드법보온판(열전도율 0.032~0.037W/mK)이 대부분이었는데, 곡면부 시공도 용이하고 이음매가 없이 시공이 가능한 뿔칠공법에 사용되는 수성연질우레탄폼(열전도율 0.035W/mK)도 저층 규모에서 사용되고 있으며, 최근에는 내화규정 강화에 따라 미네랄울(열전도율 0.044W/mK)과 페놀폼(열전도율 0.019W/mK)이 대두되고 있고, 에너지절감 극대화를 패시브 주택을 목표로 할 경우 진공단열재(열전도율 0.0045W/mK)까지 적용되고 있다.





## 2-4. 외단열공법의 종류

외단열공법은 일반적으로 콘크리트 구조체 → 단열재 → 보강배쉬 함침 베이스 코팅재 → 마감재로 구성되며, 구조체에 단열재를 고정하는 방법에 따라 습식공법과 건식공법으로 구분할 수 있다. 습식공법은 접착제만을 이용하여 단열재를 고정하는 방법으로 [그림 4 - (a)] 접착식과 [그림 4 - (b)] 앵커식으로 구분할 수 있고, 건식공법은 [그림 4 - (c)]와 같이 PVC 트랙에 단열재를 끼워서 시공하는 방법으로 단열재의 들뜸을 방지하기 위하여 접착제를 일부 사용하게 된다.



## 2-5. 외단열 시공을 위한 가설공법

외단열 시공을 위한 가설공사는 골조공사가 끝난 후, 대표적인 장비로 외부비계를 설치하거나 곤도라를 설치하여 작업자가 고소작업을 통해 외단열 작업을 실시하였다. 외부비계의 경우 설치가 용이하고 경제적인 장점이 있으나 층고가 높아질수록 지속적인 비계 투입으로 인한 비용증가 뿐만 아니라 하부의 하중부담이 증가하는 문제점이 있기 때문에 최근 건물의 고층화 추세를 감안할 때 작업의 제한이 발생하게 된다. 곤도라 시스템의 경우에도 탑승인

원의 제한으로 작업량이 한정적일 뿐만 아니라 고층이 될수록 바람에 의한 영향을 많이 받아 추가적인 작업시간이 필요할 수 있다. 이와 같이 기존 가설장비는 시공성 불량이나 공기 지연의 요소가 될 수 있기 때문에 보다 경제적이고 공기 지연을 발생시키지 않는 방안을 모색할 필요가 있다. 기존 가설시스템의 장단점을 분석한 결과는 <표 1>과 같다.

표 1 외단열 시공을 위한 기존 가설공법의 특징

구분	장점	단점
외부비계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가격이 저렴함</li> <li>• 쉽게 조립이 가능함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 층고가 높아질수록 하중부담 증가</li> <li>• 갱동활용 증가로 인한 활용성 감소</li> </ul>
곤도라 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설치가 용이함</li> <li>• 하중부담이 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상하좌우 이동의 제약</li> <li>• 자재 적재량 및 탑승인원 제한적</li> <li>• 요철이 심할 경우 작업성 저하</li> <li>• 층고가 높아질수록 안전성 저하</li> <li>• 기후 및 풍속 영향을 크게 받음</li> </ul>



최근 에너지절감을 위한 외피의 단열성능 향상을 위한 방법으로 외단열공법이 부각되면서 가설시스템에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 특히 기존에 외벽 커튼월 시스템에서 사용되고 있는 Working Platform System(WPS)이나 초고층 건축물에서 주로 이용되고 있는 Auto Climbing System(ACS) 등이 대안으로 검토되고 있지만 일정 층수 이상 되지 않을 경우 경제성이 떨어지고 외벽에 요철이 많을 경우 시공성도 떨어지는 단점이 있으며, 아직까지 공동주택에 활용한 사례가 거의 없다는 한계도 안고 있다. 이러한 상황에서 최근 공동주택의 외벽 시공 시 사용되는 갱동을 활용하여 그 하단에 작업발판을 매달아 외단열 시공을 할 수 있는 Jack Climbing System(JCS)이 개발되어 적용성이 검토되고 있다.



[그림 6] 외단열 시공을 위한 최근 가설공법(출처 : 구글 검색 및 콘솔SWC)

이와 같이 현장에서 콘크리트를 타설하고 양생시킨 후 외단열 공사를 진행하는 습식공법이 아닌 외벽자체를 PC 또는 경량콘크리트 판넬 등과 같은 건식부재로 구성하여 외단열을 일체로 시공하는 방법에 대한 연구 및 적용성 검토도 활발히 이루어지고 있는데, 모듈화된 공법으로 공기를 단축할 수 있고, 크레인으로 양중 후 바로 설치가 가능하므로 가설시스템이 필요하지 않다는 장점이 있지만 골조와의 접합부 처리방법과 층수가 높아질수록 자재 운반 및 양중 계획이 면밀하게 검토되어야 한다는 것이 단점으로 지적되고 있다.



[그림 7] 건식 외단열 시공전경(출처 : OC)

### 2-6. 외단열공법의 화재 확산 방지설계

외단열공법에서 내화성은 구성재료의 내화성과 외단열공법으로서의 내화성을 고려할 수 있는데, 독일 및 유럽에서는 전자와 후자를 복합적으로 고려하여 적용하도록 규정하고 있다.

표 2 Fire Behaviour of EIFS(독일)

적용범위	재료의 종류
0 ~ 7m	제한없음
7 ~ 22m	내화재료를 사용할 필요는 없지만 내화시스템이어야 함
22 ~ 100m	내화재료를 사용할 것

#### (1) Reaction to fire performance

등급	내용
A1	No substantial flame spread
A2	
B	Resisting for more than 10 min.
C	
D	
E	Resisting for 2 min.
F	No reaction to fire performances are determined

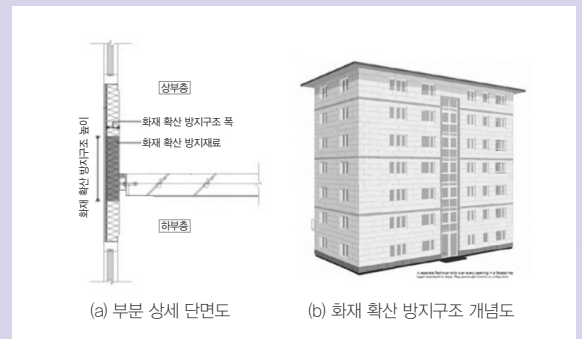
#### (2) Smoke production

등급	내용
S1	Small smoke production(Stringent criteria)
S2	Average smoke production
S3	Big smoke production(No limitation required)

#### (3) Flaming droplets / particles

등급	내용
d0	No flaming droplets / particles
d1	Flaming droplets / particles persisting not longer than 10 sec.
d2	No limitation

국내에서는 2010년 해운대 주상복합 외벽 화재사건을 계기로 기존 '건축물 내부 마감재료의 난연성능 기준'을 '건축물 마감재료의 난연성능 기준'으로 개정하여 내부 마감재 뿐만 아니라 외부 마감재에 대해서도 외기에 접하는 면에 대하여 화재 확산 및 가스 유해성 검사시험을 하도록 규정하였으며, 2012년 9월에 또 한번의 개정을 통하여 외벽에 준불연재료 이상을 사용하되, 외벽을 [그림 8]과 같이 국토교통부 장관이 고시하는 화재 확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연재료를 사용할 수 있도록 규정함으로써 독일 및 유럽연합의 기준과 유사한 성능을 확보하도록 기준을 대폭 강화하였다.



[그림 8] 외단열공법의 화재 확산 방지구조(출처 : 구글 검색)

표 4 습식공법 및 콘도라 적용 현장

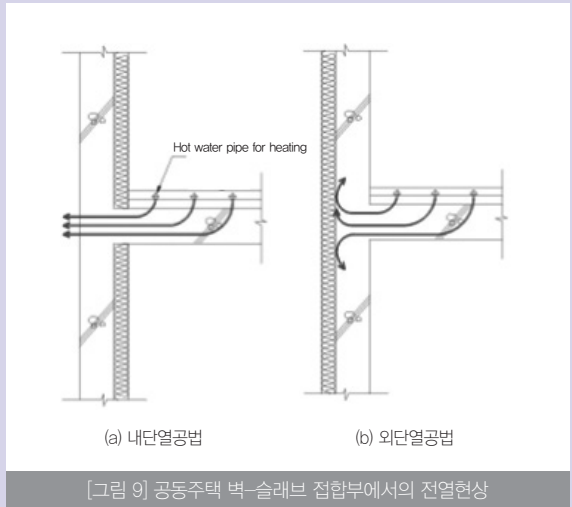
용인 신봉동 동일하이빌		
	건축용도	공동주택
	건축규모	28개층 13개동
	시공방법	콘도라
	시공년도	2009년
	적용공법	외단열 습식공법
시공순서		
		
① 프라이머 도포	② 단열재(EPS) 부착	③ Fastner 부착
		
④ 매쉬 시공	⑤ 줄눈 시공	⑥ 마감재 부착

표 5 트렉공법+외부비계+콘도라 적용 현장

분당 미켈란 셰르빌		
	건축용도	주상복합
	건축규모	38층 4개동
	시공방법	외부비계+콘도라
	시공년도	2003년
	적용공법	외단열 트렉공법
시공순서		
		
		
① 트렉 설치	③ 마감재 시공	

#### 4. 외단열공법의 에너지 성능검토

공동주택의 경우 상업용 건물과 달리 난방부하의 비중이 크기 때문에 에너지절약을 위해서는 단열이 무엇보다 중요하다. 기존 국내 공동주택에 많이 적용되어 있는 내단열공법의 경우 단열재가 불연속되는 벽과 슬래브, 인접 세대와의 사이 벽, 축벽 등에서 열교가 발생하여 많은 열손실이 유발된다. 반면, 외단열 시스템의 경우 구조체의 외부에 단열재를 설치하여 단열재 불연속 부위의 열교발생을 근본적으로 차단할 수 있으며, 콘크리트 벽체 등 구조체가 단열재 내측에 위치하고 있어 축열효과로 인해 난방효율이 향상된다.



본연구에서는 [그림 9]와 같이 단열공법에 따른 공동주택의 에너지 성능평가를 위해 국내 규정과 여건을 반영한 표준주택을 선정하여 외단열 공동주택과 기존 내단열 공동주택과의 단열조건에 따른 에너지성능을 비교 및 평가하였으며, 정확한 에너지 사용량 도출을 위해 단열재의 불연속으로 인해 열교가 발생하는 부위를 선정하여 추가적인 전열해석(Therm)을 통해 손실열량과 열용량 차이를 도출하고 이를 에너지 분석(Visual-DOE)에 포함시켰다. 또한 외피면적의 증가로 인해 추가적인 열손실 발생이 예상되는 최상층 및 최하층 세대를 에너지 분석에 포함하여 동 단위의 에너지 성능을 비교 및 분석함으로써 보다 현실적인 평가가 가능하도록 하였다. 최종적으로 표준주택으로 선정한 공동주택의 동 단위 난방에너지 요구량 및 1차에너지 요구량을 산출하였으며, 단열공법에 따른 에너지 성능을 비교 및 분석하였다.

단열설계기준은 <표 6>과 같이 일반적으로 법적기준을 상회하여 설계되고 있는 건설사 기준과 패시브 주택의 단열설계기준에 해

당하는 SH공사 기준을 이용하였으며, 주동의 형태, 단열기준 및 단열공법에 따라 <표 7>과 같이 8가지 경우를 대상으로 에너지 해석을 수행하였다.

표 6 건축물 부위별 단열기준[W/mK]

건축물 부위		법적기준	건설사기준	SH기준
거실외벽	외기직접	-	0.36	0.12
	외기간접	-	0.49	0.12
최하층 거실바닥	외기간접	바닥난방	0.43	0.34
		바닥비난방	0.58	0.47
최상층 지붕	외기직접	-	0.2	0.1
공동주택 축벽			0.27	0.21
창문			2.1	1.4
현관문			2.8	1.8

표 7 분석대상 선정

구분	주동형태	형별성능 기준	단열공법	비고
1	판상형	건설사기준	내단열	<ul style="list-style-type: none"> <li>판상형 4호조합 20개층 기준</li> <li>탑상형 Y자형 4호조합 20개층 기준</li> </ul>
2			외단열	
3		SH기준	내단열	
4			외단열	
5	탑상형	건설사기준	내단열	
6			외단열	
7		SH기준	내단열	
8			외단열	

열교부위의 열손실량을 검토하기 위해 2차원 정상상태 전열해석 프로그램인 THERM6.3을 사용하였으며, 표준타입으로 설정한 공동주택에서 열교발생이 예상되는 5곳을 선정하여 전열해석을 수행한 결과 <표 8>과 같이 건설사 단열기준의 경우 약 58~90%, SH공사 단열기준의 경우 약 78~93% 정도로 외단열의 열관류율이 감소하는 것으로 나타났다.

표 8 전열해석 분석결과[W/mK]

구분	열교발생 부위	내단열	외단열	감소율	
1	건설사 기준	세대간벽	1.85	0.29	84% 감소
2		외기직접	0.64	0.27	58% 감소
3		축벽	1.62	0.21	87% 감소
4		최상층	1.56	0.16	90% 감소
5		슬라브	1.76	0.29	84% 감소
6	SH 기준	세대간벽	1.41	0.12	91% 감소
7		외기직접	0.49	0.11	78% 감소
8		축벽	1.41	0.12	91% 감소
9		최상층	1.38	0.1	93% 감소
10		슬라브	1.34	0.12	91% 감소

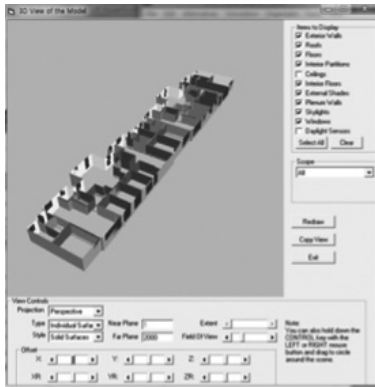


[그림 10] 축벽에서의 열교 분석결과(건설사기준)

표준주택의 에너지 성능을 검토하기 위하여 동적에너지 시뮬레이션 프로그램인 Visual-DOE를 사용하였으며, 내단열과 외단열을 비교하는 것이므로 System 부하와 Plant 부하는 동일하기 때문에 Space 부하만을 구하여 비교하였다. 그 외 해석조건으로는 창호의 열관류율은 1.4W/mK, 내부 발열조건은 건축물 에너지효



올등급 운영규정(2007.09)에 제시된 내부발열량, 기상데이터는 Visual-DOE에서 제공하고 있는 서울지방 기상데이터, 실내 설정 온도는 냉방 26℃, 난방 20℃, 그리고 난방공간의 환기회수는 법 적기준인 0.7회/h로 설정하였다.



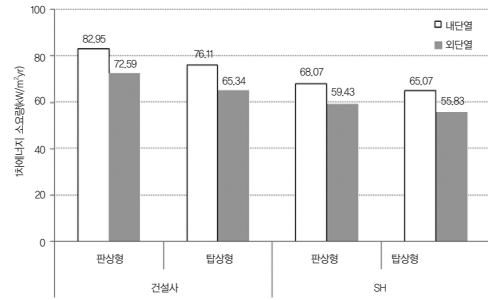
(a) 내단열공법



(b) 탑상형 평면 모델링

[그림 11] 해석모델

열교부위의 열손실량을 고려한 동적에너지 시뮬레이션 수행결과 <표 9> 및 <그림 12>와 같이 판상형 주동은 내단열 대비 외단열 이 연간 12% 정도, 탑상형 주동은 14% 정도의 1차에너지 소요량 이 절감되는 것으로 나타났다. 건설사의 단열설계기준을 대상으 로 SH공사의 단열설계기준을 분석하면 판상형 주동의 경우 내단 열은 18% 정도, 내단열 대비 외단열은 28% 정도 절감되는 것으 로 나타났고, 탑상형 주동의 경우 내단열은 14% 정도, 내단열 대 비 외단열은 26% 정도 절감되는 것으로 나타나 단열기준을 강 화할 경우 1차에너지 소요량을 대폭 절감할 수 있는 것으로 나타 났다. S



[그림 12] 1개동의 1차에너지 소요량 분석결과