

실측치를 통한 사무소건물 슬래브축열 공조시스템의 적정 축열시간 검토

정재훈[†]
호서대학교 건축공학과

Consideration of Appropriate Thermal Storage Time of Air-Conditioning System with Slab Thermal Storage in an Office Building by Use of Measurement Value

Jae-Hoon Jung[†]

Department of Architectural Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

(Received July 31, 2010; revision received August 25, 2010)

ABSTRACT: In this paper, the appropriate thermal storage time of an air-conditioning system with slab thermal storage was considered by use of summer measurement values. Two standards of heat extraction rate and criterion function were established as the standard that evaluates appropriateness. When heat extraction rate was a standard, zero hour and seven hours were obtained as appropriate thermal storage time, in the case of evaluation by energy consumption and running cost individually. Also, when criterion function was a standard, the difference between energy consumption and running cost was small, it was because the weight function to room air temperature deviation was much bigger than heat extraction rate.

Key words: Slab thermal storage(슬래브 축열), Appropriate thermal storage time(적정 축열시간), Measurement value(실측치), Heat extraction rate(공조기 처리열량), Criterion function(평가함수)

기 호 설 명

c_p : 용적비열 [$J/m^3 \cdot K$]
 h : 시간 [hour]
 IC : 적산 비용 [Won]
 J : 평가함수 [-]
 Q : 취출풍량 [m^3/s]
 r : 가중함수 [-]
 t : 시각 [-]

u : 공조기 처리열량 [W]

그리스 문자

θ : 온도 [$^{\circ}C$]

하첨자

0 : 운전개시
 f : 운전종료
 ra : 공조기 흡입공기
 s : 설정
 sa : 공조기 취출공기

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-540-5775; fax: +82-41-540-5778

E-mail address: jungjh@hoseo.edu

1. 서론

냉난방 최대부하를 삭감하기 위해 예전부터 사용되어온 수축열, 빙축열 시스템의 축열조 대신 콘크리트의 열용량을 활용하여 바닥슬래브와 보, 기둥, 벽체 등 건물 구조물의 축열체 이용 가능성에 관한 연구가 진행되어 왔다.^(1,2) 최근에는 건물의 구조물 중 특히 바닥슬래브를 주요 축열체로 하여 천정의 플레넘에 실내기를 설치하고 덕트 내 댐퍼의 개폐에 의해 야간에는 슬래브에 축열하고 주간에는 실내에 냉·온풍을 취출하는 플레넘내 공기순환식 슬래브축열 공조시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 열용량이 큰 바닥슬래브를 축열체로 하는 슬래브축열 공조시스템은 하절기 및 동절기의 최대부하삭감, 심야전력이용에 따른 전력부하평준화에 유효하다. 또한, 슬래브축열 공조시스템은 바닥슬래브를 축열체로 하기 때문에 축열조 및 열반송시스템의 불필요로 인해 초기비용을 절감할 수 있으며, 복사열에 의한 열적 쾌적성도 기대할 수 있다.

슬래브축열 공조시스템에 관한 실험적 연구로는, 슬래브축열 시스템 운전에 따른 시간별 슬래브온도, 실내공기의 수직온도분포 및 공조기 처리열량 등을 검토한 Shinkai et al.⁽³⁾의 연구, 축열시간별 실내 수직공기온도분포, PMV값 계산을 통해 열적쾌적성에 대해 검토한 Lim et al.⁽⁴⁾의 연구, 슬래브축열 운전 시간에 따른 콘크리트 슬래브의 축·방열 특성 및 축열성능에 대해 검토한 Jung and Shin⁽⁵⁾의 연구 등이 있다. 또한, 슬래브축열 시스템에 관한 시뮬레이션 연구로, 공조기부하 시뮬레이션을 통해 슬래브축열의 운전방법, 실내발열 및 건물의 열적 사양 등이 슬래브축열 공조시스템의 성능에 미치는 영향을 검토한 Roh and Udagawa⁽⁶⁾의 연구, 오피스 건물의 기준층을 대상으로 대류방사열평형식을 사용하여 축·방열성능의 평가법을 제안하고 기본적인 케이스에 대한 축열효과량을 산정한 Ishino⁽⁷⁾의 연구 등이 있다.

한편, 축열조를 사용하여 축·방열량을 조절하는 수축열, 빙축열 시스템과는 달리 방열제어에 있어 난점을 지닌 슬래브 축열시스템의 경우, 축열중의 열손실, 에너지소비 및 비용 등 여러 요소를 고려하여 효과적인 운용이 필요하다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 Jung and Shin⁽⁵⁾의 연구에서 얻은 실측 데이터를 근거로 슬래브축열의 적정 축열시간에 대하여 검토하였다. 적정성을 평가하는 기준으로 두

가지를 설정하였다. 첫째는 주·야간의 공조 및 축열에 의한 에너지소비량의 합이 최소라는 평가기준이며, 둘째는 Jung⁽⁸⁾의 연구에서와 같이 주간 공조시 설정온도로부터의 실내온도 편차와 전체 에너지소비량의 합이 최소라는 평가기준이었다. 이들 두 가지 평가기준을 실측데이터에 적용하여 해당 건물의 슬래브축열 공조시스템의 적정 축열시간이 어느 정도인지 검토하였다.

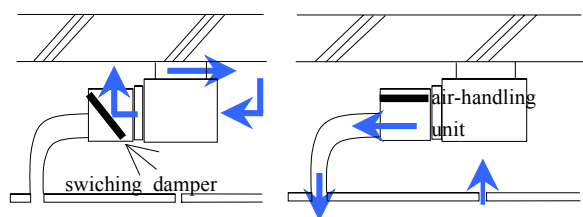
2. 측정개요 및 검토대상 데이터 선정

슬래브를 향해 공기를 분출하여 축열하는 슬래브 축열 공조시스템의 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 주간에는 공조기로부터 취출된 공기가 실내 공기와 열교환한 후 천장 플레넘 내로 돌아와 공조기로 흡입되며, 야간에는 변환댐퍼에 의해 송풍방향이 바뀌어 슬래브 하면에 냉·온풍을 취출하여 축냉·축열한다.

2.1 측정개요

Jung and Shin⁽⁵⁾의 연구에서는 하절기 실측치를 통하여 슬래브축열 공조시스템의 축열성능에 대하여 검토하였다. 측정대상건물은 일본 동경에 위치한 지하 1층, 지상 8층의 연면적 약 4,000 m²의 사무소 건물로, 측정은 기준층인 5층 사무실에서 이루어졌다. 대상건물의 5층 평면도를 Fig. 2에 나타내었다. 측정대상 부분은 검게 칠해진 4.8 m×7.1 m 부분이다.

측정은 하절기인 2002년 7월 8일(월)부터 8월 10일(토)까지 5주간 실시되었으며, 축열운전은 운전종료 시각을 오전 8시(심야전력 종료시각)로 하여 8시까지의 축열시간을 주마다 변경하여 실시하였다. 설정축열시간은 하루 0시간(무축열), 2시간, 5시간, 10시간의 네 가지 경우였다. 축열이 종료된 8시부터



(a) In the nighttime (b) In the daytime
Fig. 1 The schematic of air-conditioning system with slab thermal storage.

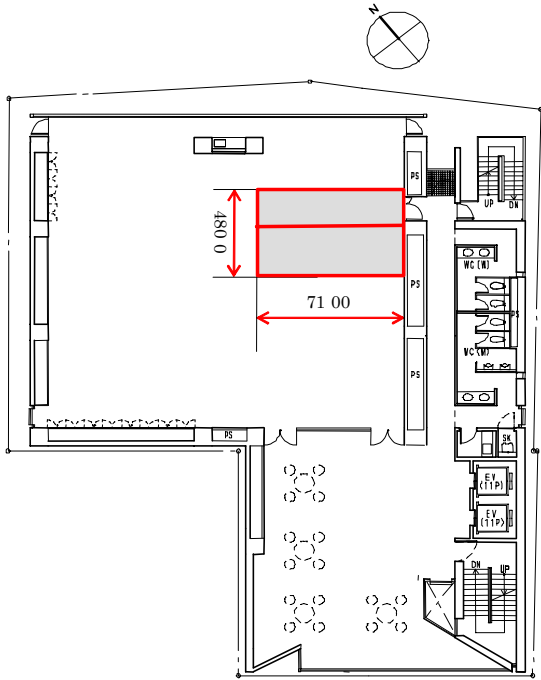


Fig. 2 The measuring object floor plan.

집무가 시작되는 9시 30분까지는 무운전 상태였으며, 근무시간인 오전 9시 30분부터 오후 6시 30분까지는 실내온도가 설정온도를 유지하도록 공조운전을 실시하였다.

측정항목은 바닥슬래브온도, 공조기 주변온도 및 실내온도였다. 바닥슬래브온도의 측정 포인트를 Fig. 3에 나타내었다. 측정대상 존 슬래브 내에는 가로 630 mm, 세로 850 mm, 상하 45 mm 간격으로 상중하 3점(③~⑤)에 열전대가 매설되어 있어, 5분 간격으로 측정데이터가 전송된다.

슬래브 내 온도 외에 슬래브 상하 표면온도(②, ⑥), 슬래브 상하 주변공기온도(①, ⑦)도 측정하였다.

공조기 주변온도의 계측 지점을 Fig. 4에 나타내었다. 측정대상 공조기는 2대였으며 공조기의 덕트 9개중 7개가 측정대상이었다. 그림의 VC1, VC2는 실내기를, CH-RA, VC-RA, VC-ST, VC-SA는 각각 천장리턴온도, 공조기 흡입온도, 축열용 취출온도, 공조용 취출온도를 나타낸다.

또한, 실내공기온도로는 바닥으로부터 1100 mm 높이의 실 중앙 공기온도를 측정하였다.

2.2 적정 축열시간 검토대상 데이터 선정

평일 데이터 중, 공조시의 실온이(설정온도 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 내로 유지되고 축열시간 이외의 다른 조건에 큰 차

가 없는 데이터를 선정하였다. 최종적으로 전체 25일분 데이터 중 내부발열 및 사무실 사용 조건이 평소와 달랐던 것으로 판단된 7일분의 데이터를 제외한 18일분의 데이터를 검토대상으로 선정하였다. 선정대상 일자를 Table 1에 회색부분으로 나타내었다.

참고로 측정 대상기간인 2002년 7월 8일(월)부터 8월 10일(토)까지의 5주간의 외기온을 Fig. 5에 나타내었다.

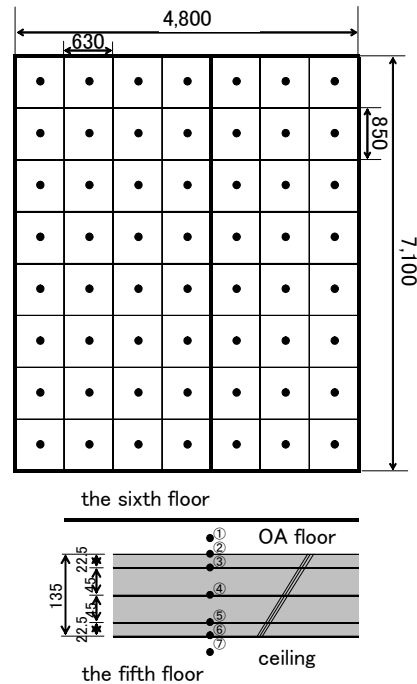


Fig. 3 The measurement points of floor slab temperature.

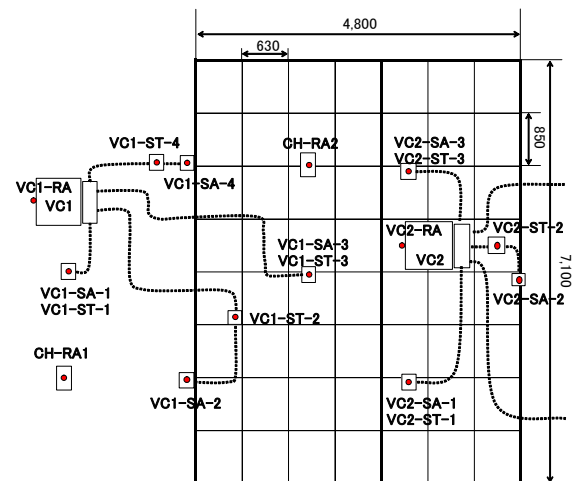


Fig. 4 The measurement points of air temperature around the air handling units.

Table 1 Examination object days

Thermal storage time	Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.
5 hours	July 8	July 9	July10	July11	July12
10 hours	July15	July16	July17	July18	July19
2 hours	July22	July23	July24	July25	July26
0 hour	July29	July30	July31	Aug. 1	Aug. 2
5 hours	Aug. 5	Aug. 6	Aug. 7	Aug. 8	Aug. 9

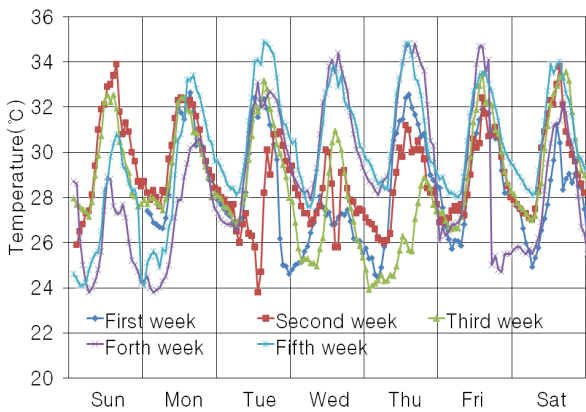


Fig. 5 Outdoor air temperatures during the measurement period.

3. 적정 축열시간 추정

3.1 공조기 처리열량에 의한 검토

실측대상실에 대한 0시간, 2시간, 5시간, 10시간 축열에 따른 1일 적산처리열량을 Fig. 6에 나타내었다. 축열시의 공조기 처리열량은 축열시간이 늘어날수록 증가하며, 공조시의 처리열량은 축열시간이 길어질수록 감소한다. 이는 축열시간이 많아질수록 주간에 방열되는 열량이 증가하기 때문이다. 또한, 1일 전체 공조기 처리열량으로 보면 무축열의 경우가 약 16.8 kWh로 가장 적고, 2시간 축열(17.6 kWh), 5시간 축열(17.8 kWh), 10시간 축열(25.3 kWh)의 순으로 에너지소비량이 증가하는 결과로 나타났다.

다음으로 슬래브축열 공조시스템이 한국전력공사의 축열조정계약제도를 적용받아 저렴한 심야전력의 사용이 가능할 경우를 가정하여 비용에 의해 평가하였다. 전기요금은 한국전력공사의 전기요금기준⁹⁾ 중 계약전력이 300~1000 kWh인 산업용전력(을) 중, 고압A, 선택Ⅱ를 적용하여 여름철 7, 8월의 주간 106.8

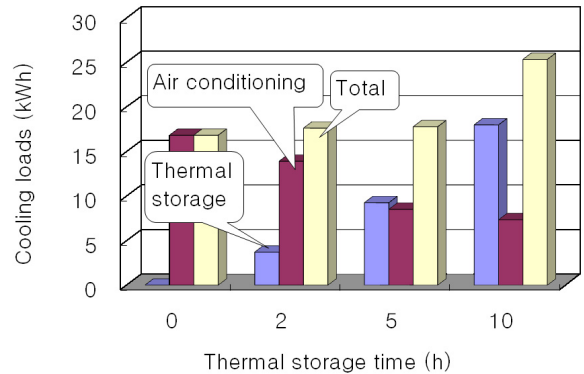


Fig. 6 Integrated cooling loads by thermal storage time per day.

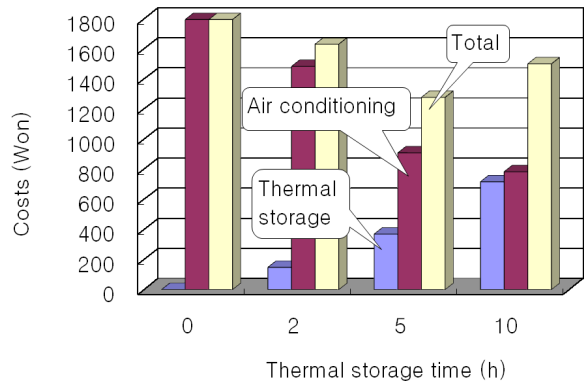


Fig. 7 Integrated costs by thermal storage time per day.

원/kWh, 심야 39.9원/kWh로 하여 검토하였다. 축열시(주간) 및 공조시(심야)의 1일 적산비용을 Fig. 7에 나타낸다. 비용으로 평가했을 경우에도 축열시 및 공조시의 축열시간에 따른 비용의 증감 경향은 에너지소비량으로 평가했을 때와 동일하나, 총비용으로 보면, 5시간 축열의 경우가 1278원으로 비용이 최소이며, 10시간, 2시간, 무축열의 순으로 비용이 증가하고 있다. 심야전력 요금을 고려할 때, 무축열이 가장 비용이 많이 소요되는 결과가 되었다.

이상의 결과로부터 에너지소비량에 의한 평가로는 무축열이, 심야전력요금을 고려한 비용에 의한 평가로는 5시간 정도의 축열이 적정 축열시간일 것으로 추정된다. 한정된 수의 데이터나 적정 축열시간을 추정하기 위하여 가로축에 축열시간을, 세로축에 비용을 취하여 0시간, 2시간, 5시간, 10시간 축열의 각각의 경우에 대하여, 심야전력요금을 고려했을 경우의 1일 적산비용을 플롯하였다. 또한, 이들 각 점의 2차 근사곡선을 작성하여 Fig. 8에 나타내었다. 근사식은 다음과 같다.

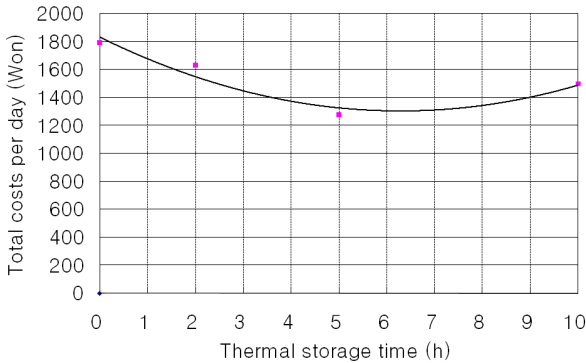


Fig. 8 Approximated curve of integrated costs by thermal storage time.

$$IC = 13.3h^2 - 194.0h + 2013.0 \quad (1)$$

식(1)에 의하면, 심야전력요금을 고려하였을 경우, 적정 축열시간이 약 7시간임을 알 수 있다.

3.2 평가함수에 의한 검토

제 3.1장에서는 각 실측 케이스에 있어서 집무시의 실온이 설정온도로 유지되었다는 가정 하에 공조기의 처리열량을 비교하고 처리열량의 1일 적산치가 최소가 되도록 적정 축열시간을 추정하였다. 그러나 공조운전을 개시한 오전 9:30 직후부터 일정 시간동안 설정온도로부터의 실온편차가 축열운전시간에 따라 달라질 것으로 생각된다. 따라서 축열시간과 공조개시 전후의 실온에 대하여 검토하였다. 단, 해당 건물의 경우, 공조기의 온도센서가 집무실이 아닌 플레넘 내 실내기의 흡입구에 장착되었으므로 공조기 흡입구온도를 실온 대신으로 사용한다. 검토 대상일 중 월요일의 공조개시시각 전후의 취출공기 온도 및 흡입공기온도를 Fig. 9에 나타내었다. 공조 운전은 09:30부터 시작되었으며 공조기의 설정온도는 24℃로 되어 있다. 무축열의 경우, 공조개시시 흡입구온도는 약 27℃이며, 설정온도와 약 3℃의 차가 있다. 때문에 취출공기온도를 12℃ 정도까지 낮추었고 흡입구온도가 설정온도인 24℃가 되기까지 약 30분이 소요되었다. 무축열의 경우와 대조적으로 10시간 축열의 경우, 공조개시시인 09:30에 일단 공조를 개시하나, 흡입구온도가 설정온도보다 낮으므로 운전을 정지한 후, 30분 정도 지난 10:00경부터 공조운전을 재개하였음을 알 수 있다. 한편, 2시간 축열과 5시간 축열의 경우는 공조개시시부터 각각 약 30분, 15분 정도, 흡입구온도와 설정온도와의 편차

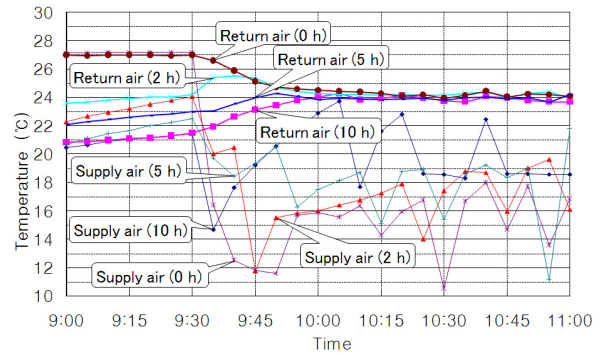


Fig. 9 Temperature variations of supply air and return air in air-conditioning start time.

가 크다.

이상으로부터 공조개시시각부터 수십 분간 공조기 흡입구온도(혹은 실온)의 설정온도로부터의 편차는 축열운전시간에 따라 크게 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 공조개시부터 수십 분간의 실온 편차를 고려한 평가가 필요할 것으로 사료된다. 따라서 본 절에서는 공조기 처리열량과 함께 집무시의 공조기 흡입구온도를 고려한 평가를 위하여 평가함수를 작성한다. 평가함수로는 집무시 공조기 흡입구온도의 설정온도로부터의 편차와 공조기 처리열량으로 하였다. 구체적으로 공조기 흡입구온도의 설정온도로부터의 편차의 2승과 공조기 처리열량의 절대치와의 적분을 평가함수로 하고, 이 평가함수 값이 최소가 되는 경우를 적정 축열시간에 근사한 것으로 평가한다. 평가함수 J 및 공조기 처리열량 u 는 다음과 같다.

$$J = \int_{t_0}^{t_f} [r_1(\theta_{ra} - \theta_s)^2 + r_2|u|] dt \quad (2)$$

$$u = c\rho_a Q(\theta_{sa} - \theta_{ra}) \quad (3)$$

평가함수 J 의 값은 공조기의 흡입구온도 θ_{ra} 와 취출구온도 θ_{sa} 를 입력함으로써 얻어진다. 또한, 평가함수의 적분내 제1항은 공조기 흡입구온도의 설정온도로부터의 편차의 2승이며, 제2항은 공조기 처리열량의 절대치이다. 이 평가함수 값이 최소가 될수록 적정 축열시간에 근접한다.

공조기의 흡입구온도항에 대한 가중함수 r_1 값에 대하여는 축열시와 무운전시에는 0.0, 집무시에는 10.0을 사용하였다. 공조기 처리열량항에 대한 가중함수 r_2 는 공조기 처리열량을 에너지소비량으로 평가

하였을 때에는 전 시간대에 1.0×10^{-4} , 비용으로 평가하였을 때에는 집무시에는 1.0×10^{-4} , 축열시에는 주·야간 전력요금비를 고려하여(1.0×10^{-4})/2.7로 하였다. 공조기 처리열량을 에너지소비량으로 평가했을 경우의 흡입구온도향, 공조기처리열량향 및 평가함

수값을 Table 2에, 비용으로 평가했을 경우를 Table 3에 나타내었다. 표 속의 회색부분이 검토대상 일이다.

공조기 흡입구 온도편차의 적분값을 크게 좌우하는 것은 공조개시부터 수십 분간의 값이다. 5시간과

Table 2 Values of criterion function in the case of evaluation by energy consumption

Thermal storage time		Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Average
5 hours	Temperature deviation	457.60	389.69	123.55	14.36	19.69	17.02
	Heat extraction rate	1.37	1.34	1.73	1.91	2.15	2.03
	Criterion function	458.97	391.03	125.28	16.27	21.84	19.05
10 hours	Temperature deviation	10.98	31.47	64.84	28.21	38.95	34.89
	Heat extraction rate	3.30	2.76	2.57	2.63	2.64	2.78
	Criterion function	14.28	34.23	67.41	30.84	41.59	37.67
2 hours	Temperature deviation	9.73	6.22	17.29	3.69	2.23	5.47
	Heat extraction rate	1.98	1.96	1.14	1.80	1.74	1.87
	Criterion function	11.71	8.18	18.43	5.49	3.97	7.34
0 hour	Temperature deviation	16.30	23.83	21.52	417.82	90.87	20.55
	Heat extraction rate	1.73	1.71	1.85	2.43	2.02	1.76
	Criterion function	18.03	25.54	23.37	420.25	93.07	22.31
5 hours	Temperature deviation	2.98	16.38	59.39	298.50	18.57	24.33
	Heat extraction rate	2.53	1.55	1.67	1.99	1.51	1.82
	Criterion function	5.51	17.93	61.06	300.49	20.08	26.14

Table 3 Values of criterion function in the case of evaluation by running cost

Thermal storage time		Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Average
5 hours	Temperature deviation	457.60	389.69	123.55	14.36	19.69	17.02
	Heat extraction rate	0.70	0.67	1.06	1.27	1.48	1.38
	Criterion function	458.30	390.36	124.61	15.63	21.17	18.40
10 hours	Temperature deviation	10.98	31.47	64.84	28.21	38.95	34.89
	Heat extraction rate	1.99	1.51	1.38	1.43	1.46	1.55
	Criterion function	12.97	32.98	66.22	29.64	40.41	36.44
2 hours	Temperature deviation	9.73	6.22	17.29	3.69	2.23	5.47
	Heat extraction rate	1.73	1.69	0.88	1.54	1.48	1.61
	Criterion function	11.46	7.91	18.17	5.23	3.71	7.08
0 hour	Temperature deviation	16.30	23.83	21.52	417.82	90.87	20.55
	Heat extraction rate	1.73	1.71	1.85	2.43	2.02	1.76
	Criterion function	18.03	25.54	23.37	420.25	92.89	22.31
5 hours	Temperature deviation	2.98	16.38	59.39	298.50	18.57	24.33
	Heat extraction rate	1.91	0.93	1.06	1.39	0.91	1.20
	Criterion function	4.89	17.31	60.45	299.89	19.48	25.53

10시간 축열의 경우, 공조기 흡입구 온도의 편차는 월요일부터 수요일까지 요일이 지남에 따라 커지는 경향이 보인다. 월요일부터 주기정상 상태가 될 것으로 생각되는 수요일까지 슬래브에 냉열이 축적되어 축열종료시의 플레넘내 공기온도는 요일이 지남에 따라 낮아지기 때문이다. 무축열의 경우, 월요일의 흡입구 온도편차의 값이 다른 요일에 비해 작은 것은 해당 월요일의 외기온이 다른 요일에 비해 낮았기 때문으로 판단된다. 한편, 2시간 축열의 경우는 공조개시시의 흡입구온도가 설정온도에 가장 가까운 금요일의 편차가 가장 작다. 축열시간별 평균치로 보면, 흡입구온도 향은 2시간 축열이 가장 작고, 무축열, 5시간 축열, 10시간 축열의 순으로 크다.

공조기 처리열량의 향은 무축열의 경우를 제외하면, 월요일이 가장 크다. 토·일요일의 무운전에 의해 월요일의 부하가 증가했기 때문이다. 무축열의 경우가 예외인 것은 전술한 바와 같이 화요일 이후의 외기온이 월요일보다 높았기 때문으로 생각된다. 공조기처리열량향의 값은 제 3.1장에서 확인했던 바와 같이 공조기 처리열량을 에너지소비량으로 평가했을 경우, 무축열의 경우가 1.76으로 가장 작고, 다음으로 2시간, 5시간(1주와 5주의 평균값), 10시간 축열의 순으로 커진다. 한편, 비용으로 평가하면, 5시간 축열의 경우(1주, 5주 평균 1.29)가 가장 작고, 다음으로 10시간 축열, 2시간 축열, 무축열의 순으로 커진다.

공조기 흡입구 온도편차와 공조기 처리열량의향을 더한 평가함수의 값으로 보았을 때, 처리열량을 에너지소비량으로 평가했을 경우 2시간 축열, 무축열, 5시간 축열, 10시간 축열의 순으로 커지며, 비용으로 평가했을 경우는 2시간 축열, 5시간 축열, 무축열, 10시간 축열의 순으로 커졌다. 이것은 공조시의 흡입구온도의 편차에 대한 가중 r_1 이 제거열량에 대한 가중 r_2 에 비해 상대적으로 컸기 때문에 흡입구 온도편차의 영향이 크게 작용한 결과이다.

4. 결 론

본 논문에서는 사무소건물의 슬래브축열 공조시스템의 적정 축열시간에 대하여 하절기 실측치를 사용하여 검토하였다. 공조기 처리열량 및 평가함수를 적정 축열시간을 평가하는 기준으로 사용하였다. 검토 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공조기의 처리열량을 최소로 하는 평가기준

하에 적정 축열시간을 산정한 결과, 처리열량을 에너지로 평가했을 경우에는 무축열이, 비용으로 평가했을 경우에는 약 7시간 축열이 적정 축열시간임을 알 수 있었다.

(2) 공조기 처리열량에 실내온열환경을 고려한 평가함수를 기준으로 했을 때, 2시간이 적정 축열시간이라는 결과가 도출되었다. 이는 공조기 처리열량에 비해 공조시 실온편차에 보다 큰 가중이 주어진 결과이며, 평가함수 내 가중함수의 설정값에 따라 적정 축열시간은 다양하게 변화할 수 있다. 또한, 외기온 변화에 의해서도 적정 축열시간에 변화가 따를 것으로 추정된다.

(3) 주별 운전의 관점에서 볼 때, 토·일요일의 무운전으로 인해 부하가 증가하는 월요일(일요일 밤)의 축열시간이 가장 길어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Ruud, M. D. et al., 1990, Use of building thermal mass to offset cooling loads, ASHRAE Transactions, Vol. 96, No. 2, pp. 820-829.
2. Snyder, M. E. and Newell, T. A., 1990, Cooling cost minimization using building mass for thermal storage, ASHRAE Transactions, Vol. 96, No. 2, pp. 830-838.
3. Shinkai, K. I., Kasuya, A. and Kato, M. H., 2000, Performance Evaluation of Floor Thermal Storage System, ASHRAE Transactions, Vol. 106, No. 1, pp. 311-316.
4. Lim, J. H. et al., 2002, A study on the potentiality for the thermal storage of effect with air-conditioning system, Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 569-574.
5. Jung, J. H. and Shin, Y. G., 2005, An Experimental Study on Thermal Storage Performance of an Air-Conditioning System with Slab Thermal Storage, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 427-435.
6. Roh, H. W. and Udagawa, M. H., 2001, Simulation study on the performance of a fabric heat storage system, Transactions of AIJ, Vol. 544, pp. 31-38.
7. Ishino, H., 2003, A Simulation Study on the Re-

- sponse of Charged and Discharged Thermal Energy in Building Thermal Mass Storage Systems, Proceedings of Eighth International IBPSA Conference, pp. 547-555.
8. Jung, J. H., 2008, An Analysis of the Optimal Thermal Storage Time of Air-Conditioning System with Slab Thermal Storage : An Analysis by the Gradient Method Algorithm, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 10, pp. 702-709.
 9. Korea Electric Power Corporations; www.kepco.co.kr.