

실효온도차법에 의한 최대열부하계산용 일사 대기투과율

The Solar Atmospheric Transmittance Data for Peak Cooling Load Calculation using ETD Method

김 두 천* 서 진 석*
D. C. Kim*, J. S. Seo*

Key Words : Atmospheric Transmittance(대기투과율), ETD Method(실효온도차법), Solar Radiation(일사량)

ABSTRACT

A simplified TAC method was developed for the selection of solar atmospheric transmittance data fundamental to the calculation of design solar radiation for the peak cooling load calculation using ETD method. The summer and autumn solar atmospheric transmittance data of the 11 major cities in Korea were obtained.

Based on the simplified TAC method, the atmospheric transmittance data were selected by the TAC 2.5% of July instead of the TAC 2.5% of June through September for summer and the TAC 5.0% of October instead of the TAC 2.5% of October and November for autumn.

Results show that the atmospheric transmittance data at solar noon were in the range of 0.61-0.66 for summer and 0.78-0.82 for autumn except for Pusan and Incheon.

기 호 설 명

d : 윤년의 통산 일수
 e : 균시차 (h)
 h : 태양고도 (deg)
 I : 일사량 (kcal/h · m²)
 I_0 : 태양상수 (kcal/h · m²)
 n : 평년의 통산 일수
 p : 대기투과율

t : 지방 표준시 (h)
 δ : 태양적위 (deg)
 φ : 위 도 (deg)
 ϕ : 경 도 (deg)

하 첨 자

DH : 수평면 직달성분
DN : 법선면 직달성분
SH : 수평면 산란성분
TH : 수평면 전체값

* 육군사관학교 기계공학과

1. 서 론

일사량자료는 공조장치의 용량선정을 위한 최대열부하계산법에서 가장 필요한 설계용 외 기조건중의 한 요소이다.

설계용 일사량자료의 계산방법에는 미국 난방방공기조화학회(ASHRAE)가 채택하고 있는 쾌청일의 일사량계산 모델⁽¹⁾과 일본 空氣調和 · 衛生工學會의 일사 대기투과율에 의한 일사량계산 모델^(2,3)이 있으며, 각각 냉방부하온도차와 냉방부하계수에 의한 CLTD/CLF법과 실효온도차에 의한 ETD법에 기본이 되는 설계용 일사량자료의 산출에 이용되고 있다.

ASHARE 모델에 의한 계산값은 그 지역의 고도와 대기의 청명 정도에 따라 측정값과 상당한 차이가 나므로 이 모델에 대한 보완방법으로 Powell⁽⁴⁾, Iqbal⁽⁵⁾ 등에 의한 청명지수(Clearness Number)가 제안되고 있으며, 이 모델을 이용하고 있는 캐나다에서는 새로운 계산방법으로 WON 모델⁽⁶⁾을 제시하고 있다.

한편 일본 공기조화 · 위생공학회 모델은 장기간의 측정값을 통계처리한 대기투과율을 이용하는 계산방법으로 직달일사량은 Bourger의 식, 산란일사량은 Berlage의 식으로 계산한다. 그러나 최근의 일본 공기조화 · 위생공학회의 편람⁽²⁾에서는 산란일사량의 계산식으로 永田의 식을 채택하고 있으며, 東京을 비롯한 주요지역의 태양시를 기준한 대기투과율이 마련되어 있다.^(2,7)

우리나라에서는 ASHARE모델의 청명지수나 일본 공기조화 · 위생공학회 모델에 필요한 대기투과율에 관한 자료가 거의 없는 실정으로 다만 서울의 대기투과율에 관한 자료⁽⁸⁾가 있는 정도이다. 그러나 이 자료는 태양시 기준이 아닌 지방표준시 기준의 3차 다항식으로 표시되어 있어 사용이 불편할 뿐아니라 일사량자료가 부정확한 1981년 이전의 통계자료로부터 도출한 것이기 때문에 이용하기 곤란하다.

본 연구에서는 일본 공기조화 · 위생공학회 방식의 최대열부하계산법에서 가장 기본이 되는 설계용 일사량 자료의 산출을 위한 일사 대기

투과율을 도출하는 간이법을 개발하고, 이로부터 서울을 비롯한 주요 11개 도시에 대한 태양시를 기준한 하기와 추기의 설계용 대기투과율을 구하였다.

2. 이 론

2.1 수평면 일사량 계산식

日本 空氣調和 · 衛生工學會 방식에 의한 수평면 일사량은 일사가 대기권을 통과하면서 감소되는 정도를 나타내는 대기투과율 P를 이용하여 계산한다.

쾌청일의 법선면 직달일사량은 Bourger의 식으로 구한다.

$$I_{DN} = I_0 \cdot P^{csc h} \dots\dots\dots (1)$$

수평면 산란일사량은 다음의 Berlage의 식으로 구한다.

$$I_{SH} = 0.5 \cdot I_0 \cdot \sin h(1 - P^{csc h}) / (1 - 1.4 \ln P) \dots\dots\dots (2)$$

수평면 직달일사량은 식(1)로 부터

$$I_{DH} = I_{DN} \cdot \sin h \dots\dots\dots (3)$$

따라서 수평면 전일사량은

$$I_{TH} = I_0 \cdot \sin h \{ P^{csc h} (1 - P^{csc h}) / (1 - 1.4 \ln P) \} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 I_0 는 태양상수이며, 1월 1일로부터 계산한 통산일수를 n 라 하면

$$I_0 = 1189 \cdot \left(1 + 0.033 \cos \frac{2\pi n}{365} \right) \text{ (kcal/h} \cdot \text{m}^2) \dots\dots\dots (5)$$

그 지방의 위도와 경도를 φ 및 ϕ 라 하면 지방표준시 t 시의 태양고도 h 는

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \left(t - 12 + e + \frac{\phi - 135}{15} \right) \dots \dots \dots (6)$$

여기서 δ 는 태양적위이고, e 는 균시차로 윤년의 통산일수를 d (1월1일을 1, 12월31일을 366), $\omega = 2\pi d/366$ 라 하면 다음 식으로 구한다.

$$\delta = 0.40928 \sin \left\{ (284 + n) \cdot \frac{2\pi}{365} \right\} \text{ (rad)} \dots \dots \dots (7)$$

$$e = -0.000279 + 0.12277 \cos(\omega + 1.49831) - 0.16546 \cos(2\omega - 1.26155) - 0.005354 \cos(3\omega - 1.15710) \text{ (h)} \dots (8)$$

2.2 순간일사량의 계산 알고리즘

기상대에서 측정한 수평면 전일사량은 1시간 동안의 적산값으로 t 시의 값은 $t-1$ 시부터 t 시까지의 적산값인데, 최대열부하계산에서 필요한 것은 t 시에서의 순간값이다. 그러나 대기투과율 p 의 측정값이 없기 때문에 식(4)로부터 직접 t 시의 수평면 전일사량을 계산 할 수는 없다. 따라서 다음 절차에 따라 정시에서의 순간일사량을 계산한다.

- ① 계산일에 대한 대기권의 일사량, 태양적위 및 균시차를 식(5), (7), (8)로부터 계산한다.
- ② 일출부터 일몰까지의 하루의 매 시각에 대하여 다음을 계산한다. $t-1$ 시와 t 시의 중간 시각인 Fig.1의 a 점에서의 태양고도를 식(6)으로부터 계산한다.

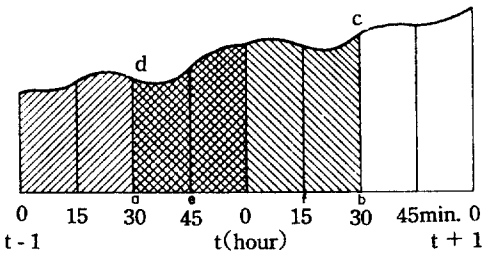


Fig. 1 Relation between observed radiation data and modeled one.

③ 이 태양고도와 대기권의 일사량 및 $t-1$ 시부터 t 시까지의 수평면 전일사량을 식(4)에 대입하여 대기투과율 P 를 구한다. I_{Th} , I_o 및 $\sin h$ 를 알고 P 를 역산하는 알고리즘은 참고문헌⁽⁶⁾에 따른다.

④ 시각 e 에서의 태양고도를 계산하고 ③에서 구한 P 를 이용하여 식(1), (2)로부터 I_{DN} , I_{SH} 를 구한다.

⑤ t 시와 $t+1$ 시에 대하여 절차 ②와 ③을 반복한다.

⑥ 시각 f 에서의 태양고도를 계산하고 ⑤의 결과를 이용하여 식(1), (2)로부터 I_{DN} , I_{SH} 를 구한다.

⑦ ④와 ⑥에서 구한 I_{DN} 과 I_{SH} 의 평균값을 구하면 이것이 t 시에서의 법선면 직달일사량과 수평면 산란일사량이 된다.

⑧ t 시의 태양고도를 계산하고 ⑦을 이용하여 t 시의 수평면전일사량을 구한다. 이 직산분리법에 의해 수평면 적산일사량으로부터 정시의 수평면 전일사량을 구하는 프로그램은 참고문헌⁽⁶⁾의 부록 A1이다.

2.3 설계용 대기투과율의 선정법

냉방부하계산용 수평면 전일사량을 선정하는 방법에는 장기간의 통계기간에 대한 시간별 적산일사량으로부터 구한 순간일사량자료에서 위험율 2.5%의 값을 선정하는 ASHARE 기술자문위원회, TAC(Technical Advisory Committee)에서 권장하는 TAC 2.5%의 값을 구하는 방법과 통계기간에 속하는 모든 날짜의 수평면 전일사량의 누적치의 1일 합계가 가장 큰 것부터 상위 10% 이내에 속하는 것을 추출하여 그 평균값을 구하고, 앞의 절차에 따라 시각별 순간일사량과 대기투과율을 구하는 방법이 있다.⁽⁷⁾

김두천 등⁽⁸⁾은 서울의 1971~1980년의 10년간의 통계기간에 대한 6-9월의 하기와 10-11월의 추기에 대한 설계용 수평면 전일사량을 선정하는 방법을 비교하였는데, 상위 10%의 평균값에 의한 방법은 7% 정도의 오차가 있고 TAC 2.5%법은 정확하기는 하나 방대한 자료를 처리해야 하는 결점이 있으므로 TAC 2.5%법의 통계기간

을 하기는 7월, 추기는 10월만을 기준하여 설계용 일사량을 구하는 간이법을 제시하고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 선정법의 검토

설계용 대기투과율 선정을 위한 TAC 2.5% 간이법을 검증하기 위하여 서울을 비롯한 주요 6대 도시에 대한 1982-1989년의 8년간의 통계 기간에 대한 하기 설계용 일사량을 엄밀법인 6-9월의 TAC 2.5%와 비교하면 Table 1과 같으며, 간이법의 오차범위가 3% 이내로 충분히 적용 가능함을 알 수 있다. 추기의 경우에는 참고문헌⁽⁶⁾의 Table 1과 Table 4에서와 같이 10월에 비하여 11월의 일사량이 비교적 작기 때문에 10-11월의 상위 2.5% 또는 10월의 5% 이내에 11월의 데이터가 포함되지 않으므로 10월의 TAC 5.0%가 추기의 설계용 일사량이 된다.

통계기간은 서울을 비롯한 10개 도시는 1982-1989년의 8년으로 하고, 대전은 일사량 측정을 시작한 1984-1989년의 6년간으로 하였다. 그 이유는 일사량 자료가 정확하지 못하여 1981년에 기상청과 동력자원연구소가 공동으로 측정시스템에 대한 조사분석을 실시하고 그 결과에 따라 표준일사계로 교정작업을 실시하였기 때문이다.

Table 2는 하기의 대표월인 7월의 일평균 수평면 적산일사량을 교정작업 이전과 이후를 비교한 것으로 그 비가 서울을 비롯한 4개 도시는 0.9, 강릉등은 0.6정도의 낮은 값을 보여주고 있다.

3.2 설계용 일사량

하기의 설계용 일사량의 선정법으로는 서울, 대전, 인천, 부산, 광주 및 대구의 6개 도시에는 6-9월의 TAC 2.5%의 엄밀법을, 강릉등 5개 도시에 대해서는 7월의 TAC 2.5%의 간이법을 적용하였으며, 추기에 대해서는 11개 도시 모두 10

Table 1 Comparison of summer design radiations, TAC 2.5%(kcal/h · m²)

Period : 1982-1989

City	Month	Hour														Total
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Seoul	6-9	79	215	389	549	668	742	788	773	723	619	478	339	175	52	6,589
	7	76	210	383	538	642	719	767	768	715	607	474	336	167	56	6,548
Taejeon	6-9	96	261	428	589	714	787	811	770	703	584	442	274	113	21	6,593
	7	96	275	428	586	708	785	793	767	698	584	452	274	110	22	6,578
Incheon	6-9	96	247	393	529	648	717	749	741	691	593	469	322	171	47	6,413
	7	75	226	365	500	638	715	753	741	693	582	465	317	179	52	6,301
Pusan	6-9	85	265	456	623	759	862	897	858	762	629	458	277	104	16	7,051
	7	84	271	453	609	766	869	911	858	761	624	456	279	105	16	7,062
Kwangju	6-9	82	247	415	570	692	781	814	790	717	596	448	272	104	22	6,550
	7	71	249	423	567	683	772	801	786	724	597	490	324	131	31	6,649
Taegu	6-9	94	251	411	565	693	773	797	769	687	570	425	255	101	20	6,411
	7	87	251	412	565	696	782	799	775	691	570	423	250	106	21	6,428

Table 2 Daily average accumulated horizontal radiation in July (kcal/m² · day)

Period	Seoul	Kangneung	Cheongju	Kwangju	Mogpo	Jinju
(1) 1974-1981	2,820	2,168	2,315	3,170	3,260	3,183
(2) 1982-1989	3,029	3,587	3,665	3,491	3,734	3,688
Ratio, (1)/(2)	0.93	0.60	0.63	0.91	0.87	0.86

월의 TAC 5.0%의 간이법을 적용하였다.

그 순서는 우선 기상월보에서 전 통계기간에 대한 시간별 누적수평면 일사량 데이터를 수집 정리하여 TAC법에 의한 설계용 시간별 누적수평면 일사량을 선정하고, 2.2항의 절차에 따라 지방표준시를 기준으로 한 매 시각별 순간수평면 일사량을 산출한다. 그런 다음에 이것을 그래프용지에 플로팅(Plotting)하여 일사량이 최고가 되는 시각을 태양시로 정오가 되도록 하여 태양시 기준 시각별 설계용 일사량을 읽는다.

이때 시간별 누적수평면 일사량은 엄밀법인 6-9월의 TAC 2.5%법에서는 통계기간인 8년에 대한 $122\text{일} \times 8\text{년} = 976\text{개의}$ 데이터중에서 가장 큰 값으로부터 2.5%에 해당하는 상위 24번째 데이터로부터 구하며, 7월의 TAC 2.5%의 간이

법에서는 $31\text{일} \times 8\text{년} = 248\text{개의}$ 2.5%인 상위 6번째 데이터로부터 구한다.

Table 3은 서울을 비롯한 11개 도시의 지방표준시를 기준한 설계용 일사량이며, Table 4는 태양시를 기준한 것이다.

Fig.2는 서울의 하기 설계용 일사량을 비교한 것으로 참고문헌⁽⁸⁾의 1971-1980년의 TAC 2.5%는 ASHRAE 모델의 76%로 큰 차이가 있으나, 본 연구의 1982-1989년 TAC 2.5%는 ASHRAE 모델의 96%로 매우 근사함을 보여 주고 있다.

3.3 설계용 일사 대기투과율

일사량은 태양시로 정오를 기준하여 대칭적인 포물선 분포를 나타내므로 t시에서의 일사대기투과율은 다음과 같은 2차 회귀식으로 표시할 수 있다.

Table 3 Design solar radiation on local standard time basis ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

City	Season	Hour													
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Seoul	Summer	79	215	389	549	668	742	788	773	723	619	478	339	175	52
	Autumn	0	41	207	374	510	583	616	606	533	421	279	120	4	0
Kangneung	Summer	27	308	461	608	732	811	826	799	732	613	459	295	138	32
	Autumn	0	79	275	435	558	639	665	625	541	408	235	73	0	0
Incheon	Summer	96	247	393	529	648	717	749	741	691	593	469	322	171	47
	Autumn	0	46	207	349	456	528	575	563	499	385	244	90	5	0
Cheongju	Summer	103	269	424	587	698	777	795	786	717	602	476	330	185	52
	Autumn	0	68	255	396	543	629	657	635	534	412	244	94	2	0
Taejeon	Summer	96	261	428	589	714	787	811	770	703	584	442	274	113	21
	Autumn	0	47	232	389	532	617	632	603	530	394	222	66	2	0
Taegu	Summer	94	251	411	565	693	773	797	769	687	570	425	255	101	20
	Autumn	0	57	213	378	513	590	621	595	516	384	217	67	0	0
Kwangju	Summer	82	247	415	570	692	781	814	790	717	596	448	272	104	22
	Autumn	0	63	258	414	548	645	658	618	526	394	231	73	4	0
Pusan	Summer	85	265	456	623	759	862	897	858	762	629	458	277	104	16
	Autumn	0	73	268	442	581	670	698	658	561	413	241	75	0	0
Mogpo	Summer	87	270	442	604	725	806	831	815	737	614	463	294	119	26
	Autumn	0	66	259	422	554	643	677	656	581	450	281	98	6	0
Jinju	Summer	72	250	420	583	712	795	828	799	721	606	455	280	111	25
	Autumn	0	60	250	422	562	638	670	651	565	440	267	83	5	0
Cheju	Summer	73	262	438	602	745	827	846	829	748	630	456	264	118	23
	Autumn	0	69	274	422	571	658	694	664	570	437	264	85	5	0

$$P = P_0 + a(t-12)^2 \dots\dots\dots (9)$$

여기서 P_0 는 태양시로 정오의 대기투과율이고 a 는 계수이며, Table 4의 태양시 기준 설계용 일사량과 2.2항의 절차에 의한 프로그램인 GIK-SAN⁽⁹⁾을 이용하여 구한 값은 Table 5와 같다.

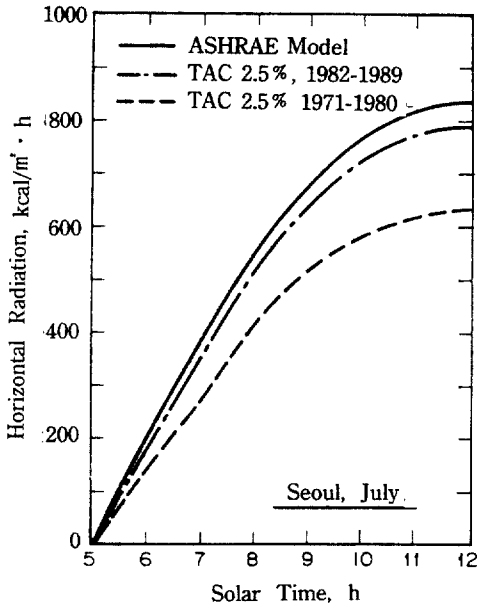


Fig. 2 Comparison of summer design radiations for Seoul

하기의 정오 대기투과율 P_0 는 대체로 0.61-0.66로 일본 각 도시에 대한 0.62-0.65와 비슷하나^(2,7), 인천은 0.575로 매우 작은 반면에 부산은 0.704로 큰 값을 보여주고 있으며, 추기의 P_0 는 0.78-0.82의 범위에 있으나 부산, 인천, 강릉은 하기와 마찬가지로 특이한 경향을 나타내고 있다.

이 식으로부터 계산한 대기투과율이 실측 최대값인 0.85보다 큰 경우에는 $P = 0.85$ 로 하며, 지방표준시 t' 시의 값을 계산할 때는 식(9)의 태양시 t 대신에 $(t'-\Delta t)$ 를 대입하여 계산하며, Δt 는 Table 5와 같다.

4. 결 론

공조장치의 용량 선정을 위한 최대열부하계산법의 설계용 일사량 자료의 계산방법을 검토하여, 일본 공기조화·위생공학회 방식을 적용한 모델로 선정하고 이 모델에서 필요한 설계용 대기투과율을 도출하는 TAC 2.5% 법과 그에 대신할 수 있는 간이법을 개발하여 11개 주요도시의 대기투과율을 구하였으며 그 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 실효온도차법에 의한 최대열부하계산에서 가장 중요한 유리창의 일사열취득표와 벽체

Table 4 Design solar radiation on solar time basis (kcal/m² · h)

City	Summer								Autumn							
	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	
	19	18	17	16	15	14	13	Hour	18	17	16	15	14	13	Hour	
Seoul	7	120	277	436	583	695	764	789	3	84	225	391	519	595	618	
Kangneung	16	133	302	460	611	732	805	826	4	78	257	422	549	635	664	
Incheon	9	141	286	430	563	669	729	752	2	76	228	366	475	547	576	
Cheongju	28	143	297	430	586	705	778	796	1	81	241	405	539	630	657	
Taejeon	11	105	268	435	587	709	779	811	4	60	205	390	513	610	632	
Taegu	12	100	241	414	568	690	768	797	0	63	219	381	511	591	621	
Kwangju	10	96	260	435	585	706	786	816	5	73	247	407	537	630	657	
Pusan	8	95	271	457	626	761	860	897	3	75	232	430	573	663	697	
Mogpo	17	104	280	454	608	728	805	834	5	85	268	437	567	647	678	
Jinju	16	94	258	438	595	713	794	828	3	71	259	431	566	645	670	
Cheju	11	96	263	445	614	746	827	846	3	77	263	432	570	658	694	

Table 5 Coefficients for design atmospheric transmittance

City	Summer, 7/23			Autumn, 10/24		
	Po	a	Δt	Po	a	Δt
Seoul	0.614	0.0031	0.6383	0.793	0.0046	0.2708
Kangneung	0.653	0.0032	0.5094	0.850	0.0000	0.1419
Incheon	0.575	0.0050	0.6805	0.723	0.0088	0.3130
Cheongju	0.623	0.0020	0.6072	0.818	0.0028	0.2397
Taejeon	0.625	0.0022	0.6094	0.782	0.0030	0.2419
Taegu	0.611	0.0010	0.5283	0.757	0.0040	0.1608
Kwangju	0.625	0.0018	0.6416	0.788	0.0032	0.2741
Pusan	0.704	0.0012	0.5005	0.838	0.0015	0.1330
Mogpo	0.642	0.0026	0.6772	0.806	0.0056	0.3097
Jinju	0.636	0.0014	0.5627	0.811	0.0050	0.1952
Cheju	0.655	0.0014	0.6672	0.797	0.0040	0.2997

Note : Δt = local standard time - solar time [h]
 $P_{max} = 0.850$

의 실효온도차표의 작성에 필요한 서울을 비롯한 주요 11개 도시에 대한 하기와 추기의 설계용 대기투과율을 도출하였다. 정오 대기투과율 Po의 값은 부산, 인천을 제외하고는 대체로 하기에 0.61-0.66, 추기에는 0.78-0.82의 범위에 있다.

(2) 위험율에 의한 설계용 대기투과율의 선정 방법으로는 엄밀법인 하기 6-9월의 TAC 2.5%와 추기 10-11월의 TAC 2.5% 대신에 간이법인 하기 7월의 TAC 2.5%와 추기 10월의 TAC 5.0%가 적절함을 알 수 있다.

(3) 일사량 자료의 통계기간은 기상대에서 측정장치를 보정한 1982년 이후로 하는 것이 바람직하다.

후 기

이 연구는 한국과학재단의 1989~1992년도 첨단요소기술연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사를 표한다.

참 고 문 헌

1. ASHRAE, 1989, ASHRAE Handbook of Fundamentals, Chapt. 27, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engi-

neers, Atlanta.

2. 日本 空氣調和・衛生工學會編, 1987, 空氣調和・衛生工學便覽, 第II卷, 第11版.
3. 空調基準委員會 第2小委員會, 1972, “手計算による最大負荷計算法”, 日本 空氣調和・衛生工學, 第46卷, 第3號, pp. 39-77.
4. Powell, Gary L., 1984, “The Clear Sky Solar Model”, ASHRAE Journal, Dec., pp. 27-29.
5. Machler, M. A. and Iqbal, M., “A Modification of the ASHRAE Clear Sky Irradiation Model”, ASHRAE Trans., vol. 91, part 1A, pp. 106-115.
6. Chatiny, R. and Galanis, N. T., 1985, “A Comparative Evaluation of the ASHRAE and Won Solar Radiation Models”, ASHRAE Trans., vol. 91, part 2A, pp.445-460, 1985.
7. 渡邊要, 橋口敬, 1965, “東京地區の冷房負荷計算定資料に関する研究, 第2報 日射量の提案植”, 日本空氣調和・衛生工學, 第39卷, 第10號, pp. 5-20.
8. 김두천, 김정희, 1987, “일사대기투과율에 관한 연구”, 공기조화・냉동공학, 제16권, 제4호, pp. 375-382.
9. 김두천, 서진석, 1990, 열부하계산 컴퓨터 소프트웨어의 설계자료 개발, 한국과학재단 (8911-0400-008), 제1차년도 연차보고서.