

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 4, 2002

일조해석 프로그램, SunChart 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Sunlight Analysis Program "SunChart"

신우철*, 장문석**, 백남춘***

Shin, U-Cheul*, Jang, Moon-Seok**, Baek, Nam-Choon***

Key words : 일조(Sunlight), 일사(Solar radiation), 신 월드램(New waldram), 태양의 위치(Solar position), 소프트웨어(Software)

Abstract

This study aims to develop the analysis tool that assesses the sunlight at any given point of a window or solar collector array shaded by surrounding obstacles. The development of this software, named SunChart, focused to the user-friendliness and the reliability. This SunChart can calculate the solar radiation as well as shading on the certain face. The calculation results by SunChart show by both numerically and graphically and are in a good agreement with ones obtained from "Sunrise · Sunset" developed at Korea Astronomy Observatory and from TRNSYS.

1. 서 론

일조 및 일사(Solar radiation) 해석도구의 필요성은 태양열 집열기 설치나 일조침해 분류사례

에서 뿐만 아니라 최근 자연형 태양열 주택을 포함한 생태건축의 자연에너지 이용에 대한 관심에 높아짐에 따라 더욱 제기되고 있다.

현재 일조의 정량적 해석을 위한 도구로서 태양

* 정회원, 대전대학교 건축공학과

** 정회원, 한국에너지기술연구원, 건물에너지연구팀

*** 정회원, 한국에너지기술연구원, 태양열연구팀

* *Department of Architectural Engineering, Daejeon University*

** *Korea Institute Energy Research*

*** *Korea Institute Energy Research*

례적도나 신 월드램(New Waldram)이 가장 많이 사용되고 있다. 신 월드램은 태양경로와 차폐물이 수직 평면상의 (태양)고도와 (태양)방위각의 직교좌표로 표시되어 매우 이해하기 쉽고 편리한 장점을 갖고 있다. 그러나 기본적인 해석은 입사면이 남향인 경우로 제한되고, 건물의 향(건물 방위각)이 변화할 때 이에 따른 보정이 별도로 요구되며, 또한 단순히 일조·일영(日影)의 시간 계산에만 한정되어 일사의 정량적 분석은 불가능하다. 한편 태양례적도의 단점을 보완한 일조해석 소프트웨어가 국내외에서 다수 개발되어 사용되고는 있으나, 전문가 외에는 자료입력이 복잡하고 해석 결과의 직관적인 이해가 어려워 범용으로 사용되기에는 곤란한 실정이다.

또한 일사해석은 일조해석에 비해 다소 복잡한 데다가, 일사해석이 가능한 TRNSYS나 DOE-2 등의 프로그램 구조상 관련 분야의 전문가 외에는 역시 사용이 불가능하다. 그래서 최근 최¹⁾ 등은 집열기의 최적각 도출을 위한 일사해석 프로그램을 개발하였으나 차폐의 영향을 고려하지 않았다. 이에 따라 본 연구에서는 사용이 간편하여 비전문가들까지도 범용적으로 사용될 수 있는 일조해석 소프트웨어인 SunChart를 개발하였다. 이 SunChart는 건물의 일조해석뿐만 아니라 태양열 집열기의 위치선정에 따른 일사량분석이 가능하며, 특히 입력조건을 단순화시켜 사용이 간편하고 또한 계산의 정확성과 해석의 용이하다는 특징을 갖고 있다.

2. 이론해석

2.1 태양의 위치 및 시각

관측 지점으로부터 태양의 위치는 태양고도, β 와 태양방위각, ϕ 로 표시되며 다음 식 (1)과 (2)에 의해 계산될 수 있다.

$$\sin \beta = \cos L \cdot \cos \omega + \sin L \cdot \sin \delta \quad (1)$$

$$\cos \phi = (\sin \beta \cdot \sin L - \sin \delta) / (\cos \beta \cdot \cos L) \quad (2)$$

여기서,

- L : 위도
- δ : 일적위
- ω : 정오에서부터 시간각

식 (1)에서 일적위, δ 는 지구 자전축의 경사와 공전에 의해 위도와 날짜에 따라 변화하게 되며, 연중일수(Day of year)에 의한 방법이나 Julian Date법 등에 따라 계산된다.

Julian Date법에 의한 일적위는 세차(precession)와 장동(nutation)에 의해 해마다 자전축의 방향이 바뀔을 고려한 것으로 그 식을 열거하면 다음과 같다.^{2),3)}

$$\delta = \arcsin(\sin \epsilon \sin \Theta_{app}) \quad (3)$$

$$T = (JD - 2415020) / 36525$$

$$\epsilon = 23.432294 - 0.130125 T - 0.00000164 T^2 + 0.000000503 T^3$$

$$C = (1.91946 - 0.004789 T - 0.000014 T^2) \sin M + (0.020094 - 0.0001 T) \sin(2M) + 0.000293 \sin(3M)$$

$$\Theta = L + C$$

$$\Theta_{app} = \Theta - 0.00569 - 0.00479 \sin \Omega$$

여기서,

- T : 1900년 1월 0.5일(曆表時) 기준으로 한 세기일
- JD : 율리우스일
- ϵ : 지구궤조의 황도경사각
- M : 태양의 평균 근점각
- C : 태양 중심에 대한 방정식
- Θ : 태양의 진경도
- Θ_{app} : 보정된 태양의 진경도
- Ω : 달의 승교점 경도

진태양시는 겉보기태양의 시각(時角)에 12시를

더한 시각(時刻)으로서 다음 식에 따라 계산된다.

$$Solar\ time = (\omega - L_{loc} + L_{st}) / 15 + 12 + E \quad (4)$$

여기서,

- L_{loc} : 경도
- L_{st} : 지방시의 기준경도
- E : 균시차(equation of time), 분

균시차는 진태양시와 평균태양시의 차이로서 Julian Data법에 의해 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E = \Delta\phi \cdot \cos \epsilon / 15 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta\phi = & -(17.2327 + 0.01737 T) \sin \Omega \\ & - (1.2729 + 0.00013 T) \sin(2L_s) \\ & + 0.2088 \sin(2\Omega) - 0.2037 \sin(2L_s') \\ & + (0.1261 - 0.00031 T) \sin M \\ & + 0.0675 \sin M' \\ & - (0.0497 - 0.00012 T) \sin(2L_s + M) \\ & - 0.0342 \sin(2L_s' - \Omega) - 0.0261 \sin(2L_s' + M) \\ & + 0.0214 \sin(2L_s - M) \\ & - 0.0149 \sin(2L_s - 2L_s' + M) \\ & + 0.0124 \sin(2L_s - \Omega) + 0.0114 \sin(2L_s' - M) \end{aligned}$$

여기서,

- L_s : 태양의 평균 경도
- L_s' : 달의 평균 경도
- M : 달의 평균 근점이각

일·출몰은 태양의 윗 부분이 지평면에 닿았을 때로 정의되며, 이때 태양의 중심은 지평선 아래 15'에 있게 된다. 여기에 대기 굴절 효과를 고려하면, 일출·몰시 태양의 고도는 -0.83° 가 되며 이 값을 기준으로 태양의 일출·몰 시각을 계산할 수 있다.

2.2 일영 및 일사⁴⁾

창이나 집열기 등 입사면의 일영은 외부 차폐물에 의해 생기는 외부일영과 입사면에 대한 태양 입사각, θ 가 90° 보다 클 때 발생하는 영구일영으

로 구분할 수 있다. 동일한 방위각 선상에서 태양 고도, β 가 차폐물 고도, β_b 보다 낮거나 같으면 외부일영이 발생하게 된다. 이때 방위각에 따른 태양고도는 식 (2)에서 계산되며 본 연구에서는 Newton-Raphson 방법을 사용하여 그 해를 구하였다.

한편 입사면의 태양 입사각, θ 는 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin L \cos \alpha - \sin \delta \cos L \sin \alpha \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos L \cos \alpha \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin L \sin \alpha \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \alpha \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

- α : 입사면 경사각
- γ : 입사면 표면 방위각

차폐되지 않는 입사면에 유입되는 시간별 총 일사량, I 는 다음 식에 따라 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} I = & I_b \cdot R_b + I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) \\ & + (I_b + I_d) \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,

- I_b : 수평면 직달 일사량, $\text{kJ/m}^2\text{h}$
- I_d : 확산 일사량, $\text{kJ/m}^2\text{h}$
- ρ : 지면 반사율

식(7)에서 R_b 는 수평면에 대한 경사면의 직달 일사량비로서 다음과 같다.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (8)$$

여기서, θ_z 는 태양의 천정각으로 다음과 같이 계산된다.

$$\cos \theta_z = \cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta \quad (9)$$

한편 입사면이 차폐될 때 입사되는 시간별 총 일사량, I_{shad} 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I_{shad} = I_d \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + I_d \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right) \quad (10)$$

수평면 1일 총 일사량, H 를 입력조건으로 설정할 경우, 시간별 직달 일사량과 확산 일사량을 유도할 수 있으며 그 과정을 정리하면 다음과 같다. 1일 수평면 총 일사량으로부터 평균 산란일사량, H_d 는 다음 식에 의해 계산 될 수 있다.⁴⁾

$\omega_s \leq 84.1^\circ$ 이고 $0.3 \leq K_T \leq 0.8$ 일 때,

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.560 K_T + 4.189 K_T^2 - 2.137 K_T^3 \quad (11)$$

$\omega_s > 84.1^\circ$ 이고 $0.3 \leq K_T \leq 0.8$ 일 때,

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022 K_T + 3.427 K_T^2 - 1.821 K_T^3 \quad (12)$$

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (13)$$

여기서,

ω_s : 일몰 시간각

H_o : 대기권 밖의 수평면 1일 일사량, $\text{kJ/m}^2\text{h}$

시간별 평균 산란 일사량, I_d 는 Liu & Jordan의 제안식에 의해 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$I_d = r_d H_d \quad (14)$$

여기서 r_d 는 시간별 평균 산란일사율로서 다음과 같다.

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (15)$$

또한 Collares-Pereira & Rabl의 제안에 따라 시간별 수평면 총 일사량, I_t 를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$I_t = r_t H \quad (16)$$

여기서, r_t 는 시간별 평균 일사율로서 다음과 같다.

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (17)$$

여기서,

$$a = 0.4909 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60)$$

따라서 식 (14)와 식(16)으로부터 시간별 수평면 직달 일사량, I_b 를 추정할 수 있다.

$$I_b = I_t - I_d \quad (18)$$

차폐되지 않는 입사면의 1일 총 일사량, G 에 대한 차폐시 일사량, G_{shad} 비를 일사 차폐율, F 로 정의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = 100 \left(1 - \frac{G_{shad}}{G} \right) \quad (19)$$

여기서,

$$G_{shad} = \int I_{shad} dt \quad (20)$$

$$G = \int I dt \quad (21)$$

3. 타당성검토

표 1은 SunChart의 타당성 검토를 위하여 각 지역의 2000년 동지 일출·몰 시각을 비교한 것이다. 기준자료는 한국천문연구원에서 Web상에 구현중인 소프트웨어 “해돋이·해넘이”의⁵⁾ 계산 결과로서 각 지역의 일출·몰 시각이 SunChart의 결과와 정확히 일치하는 것을 알 수 있다.

표 2. 각 지역의 2000년 동지 일출·몰 시각

지 역 (위도, 경도)	해돋이·해넘이		SunChart	
	일출	일몰	일출	일몰
서울(37.55, 126.97)	7:43	17:17	7:43	17:17
광주(35.15, 126.90)	7:37	17:24	7:37	17:24
부산(35.10, 129.02)	7:28	17:16	7:28	17:16
제주(33.50, 126.52)	7:34	17:30	7:34	17:30

표 2는 각 지역의 정남향 경사면 일사량에 대한 SunChart와 TRNSYS⁶⁾의 계산 결과를 비교한 것이다. 여기서 TRNSYS는 TMY(Typical Meteorological Year)타입으로 가공된 각 지역의 시간별 수평면 총 일사량을 근거로 계산된 월 평균 1일 경사면 값이며, SunChart는 TRNSYS에서 계산된 월 평균 1일 수평면 총 일사량을 기준으로 2장의 이론해석에 따라 해석한 경사면 일사량이다. 4가지 경사면에 대한 두 결과가 최대 5% 내외의 오차범위에서 일치하는 것을 알 수 있다.

표 3. 각 지역의 12월 일평균 경사면 일사량, kcal/m²

지역	수평	SunChart				TRNSYS			
		15°	45°	60°	90°	15°	45°	60°	90°
서울	1276	1558	1859	1892	1643	1515	1789	1793	1561
광주	1560	1907	2275	2309	1971	1842	2151	2155	1863
부산	1797	2256	2767	2832	2440	2234	2753	2801	2455
제주	1117	1253	1349	1322	1079	1264	1400	1378	1165

4. 소프트웨어 구현

일조해석 소프트웨어, SunChart는 Visual-BASIC 6.0을^{7),8)} 이용하여 개발하였으며, 단일 화면에서 기본 데이터 입력과 “차폐물 입력” 메뉴, “신 월드랩” 메뉴, “일조검토” 메뉴바 및 “일사검토” 메뉴 등의 기능이 구현되도록 하였다.

4.1 차폐물 데이터 입력 및 출력

그림 1은 SunChart의 초기화면을 나타낸 것이다. 화면상단은 기준 데이터 입력창으로서 기준 시 선택(한국표준시 또는 진 태양시) 및 지역정보, 건물정보를 설정하도록 되어 있다.

그림 2는 지역정보 입력화면으로서 지역명, 위치(위도 및 경도), 기준일(年, 月, 日), 해당지역의 월평균 일 수평면 일사량 등이 입력된다.

건물 정보화면에서는 그림 3과 같이 입사면에 대한 방위각, 경사각, 층고, 층수 등이 설정된다. 방위각(건물 방위각)은 그림 4와 같이 입사지점의 법선과 자오선이 이루는 각도로서 정남향을 기준으로 동향은 (-)를, 서향은 (+) 기호를 갖는다. 경사각은 입사면과 수평면 사이의 각도를 나타내며, 층고와 층수는 기준 입사지점의 상부지점에 대한 해석을 연속적으로 수행할 필요성이 있을 때 입력된다. 한편 이들 기준 데이터는 분석과정에서 수시로 변경할 수 있으며, 이때 모든 결과는 즉시 재 계산되어 나타난다.

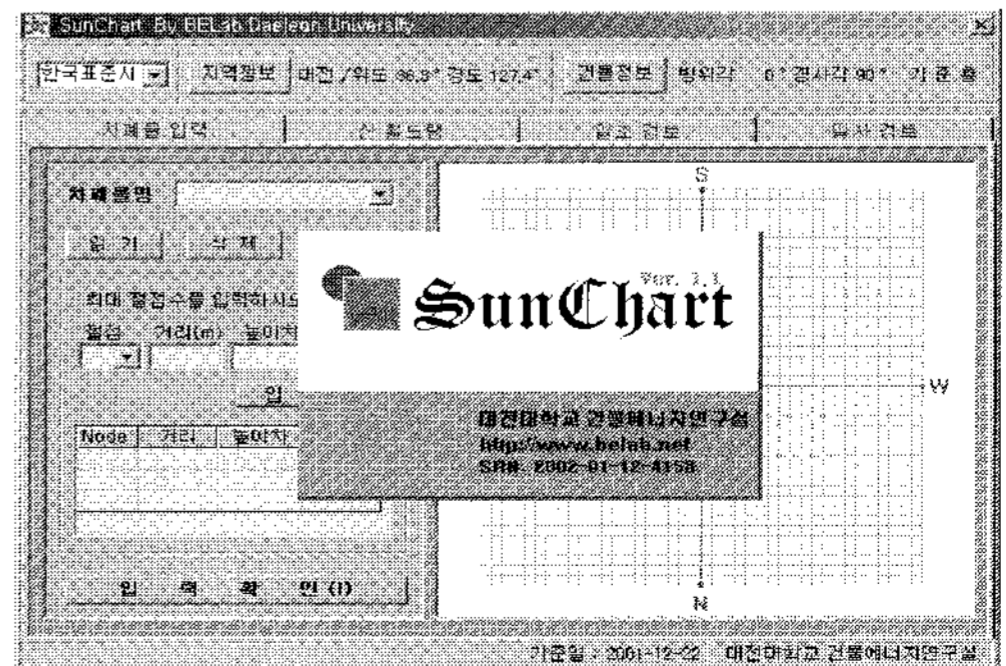


그림 1. SunChart 초기화면

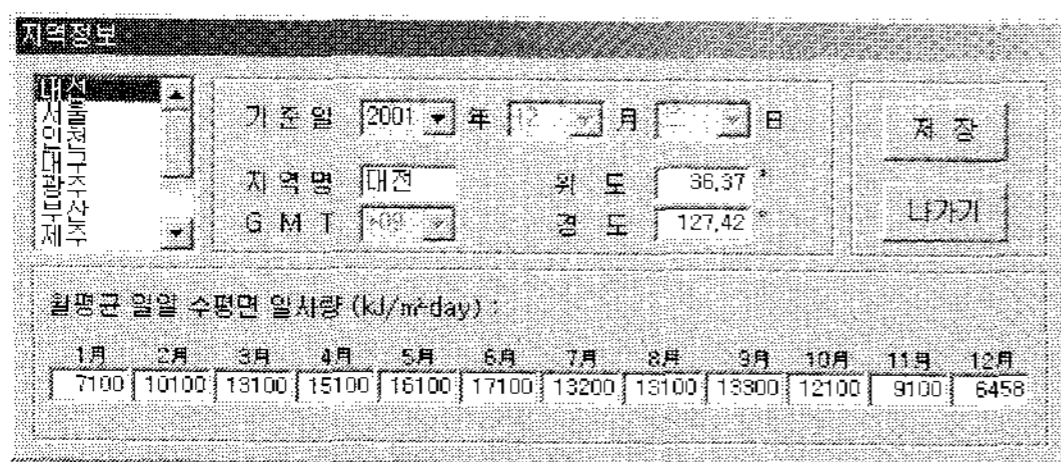


그림 2. 지역정보 입력화면

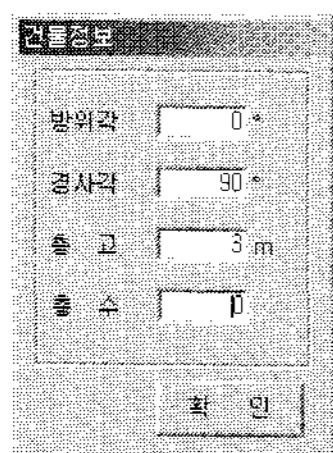


그림 3. 건물정보 입력화면

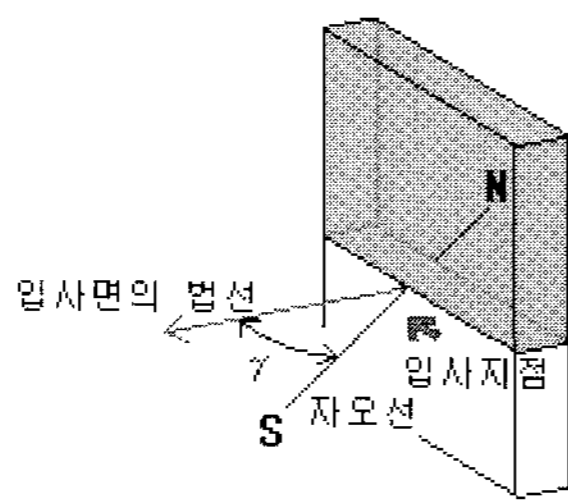


그림 4. 건물방위각

그림 5는 “차폐물 입력” 화면을 나타낸 것이다. 읽기나 삭제버튼을 통해 이미 작성된 차폐물 데이터를 프로그램으로 불러오거나 제거할 수 있으며 저장버튼에 의해 새로 작성된 차폐물을 저장할 수 있다. 각 차폐물은 그림 6과 같이 절점(Node)으로 표시되며, 각 절점의 거리와 높이차 및 입사지점을 지나는 자오선에 기준한 방위각을 북쪽으로부터 시계방향 순서대로 입력한다. 이때 입력된 차폐물의 각 절점은 선으로 연결되어 우측화면에

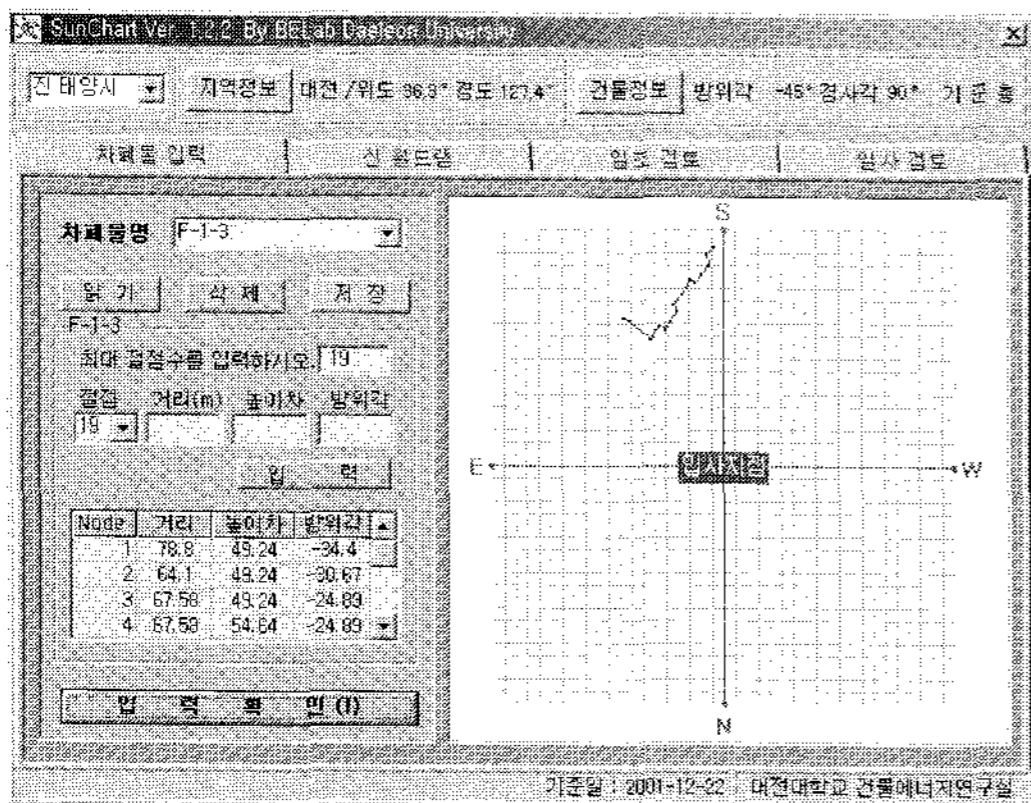


그림 5. 차폐물 입력 화면

그러지며 1개의 차폐물에 대한 최대 절점수는 20개까지 가능하다. 입력이 끝난 후 각 차폐물의 형상은 좌측 하단의 “입력확인” 버튼을 통해 그림 7과 같이 3차원 그래픽으로 표시되며 입력과정에서의 오류를 최소화 할 수 있다. 여기서 하나의 입사지점에 대한 차폐물의 개수는 10개까지 입력 가능하다.

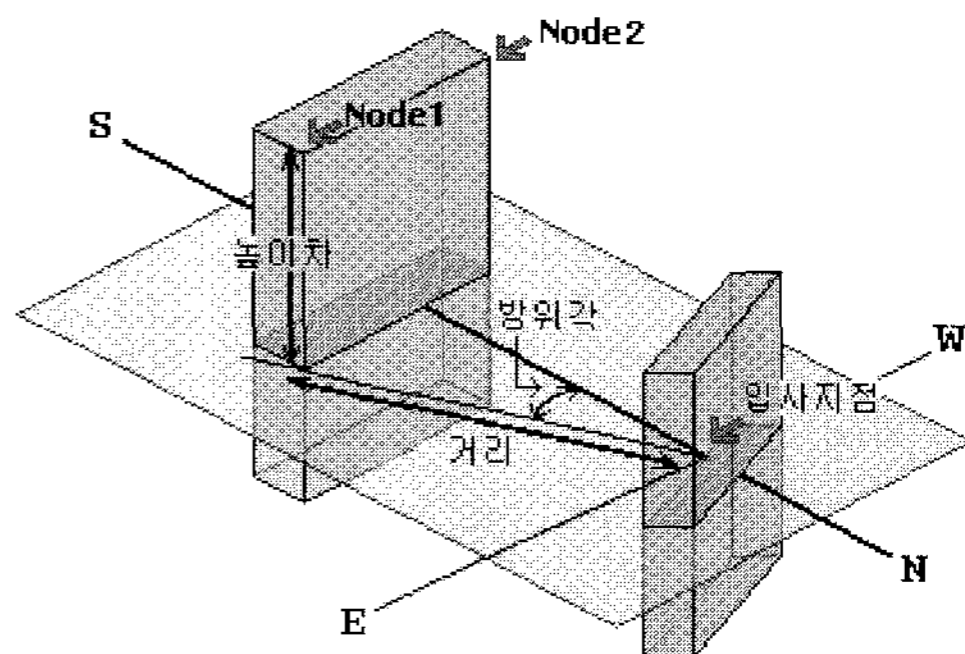


그림 6. 차폐물 입력 데이터

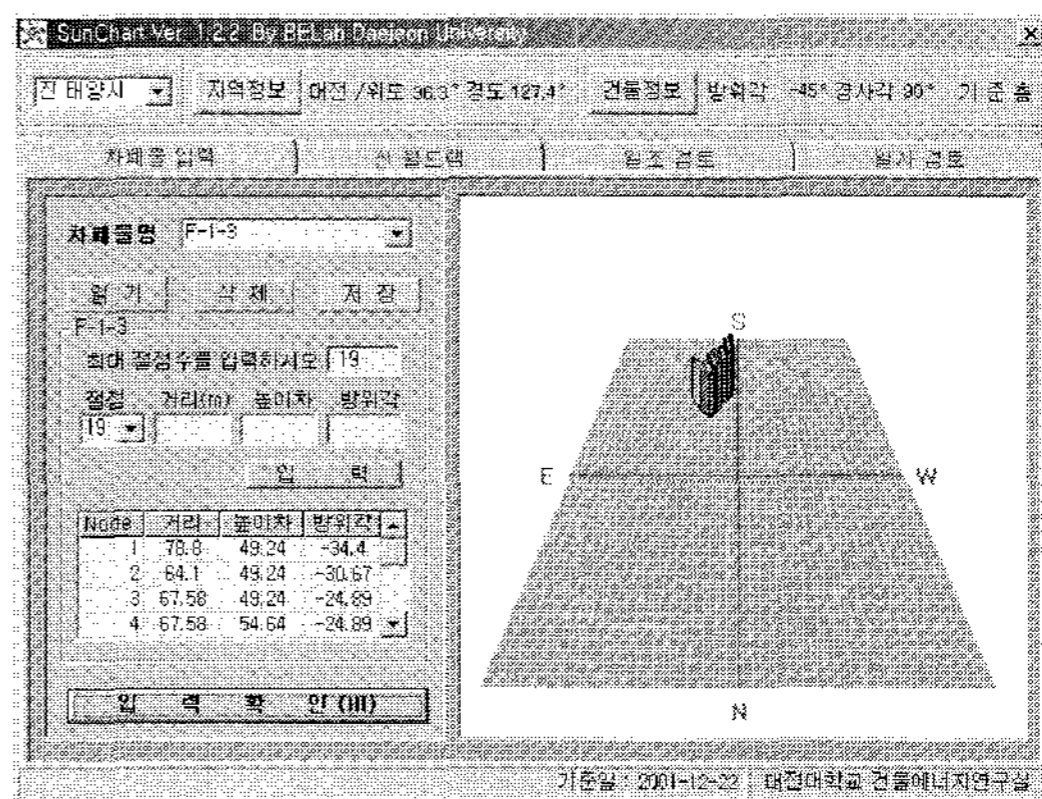


그림 7. 차폐물 입력확인 화면

4.2 신 월드램

그림 8은 “신 월드램” 화면으로서 기준 데이터의 입력정보에 따라 입사지점에 대한 태양의 연중 궤적이 신 월드램으로 나타나며, “차폐물 입력” 화면에서 입력된 차폐물이 있는 경우 동시에 표시된다. 서론에서 언급한 바와 같이 월드램 상에서 일조해석은 입사면이 기본적으로 남향인 경우로 제

한되며, 입사면의 향이 변화하는 경우 이에 따른 보정이 별도로 요구된다.

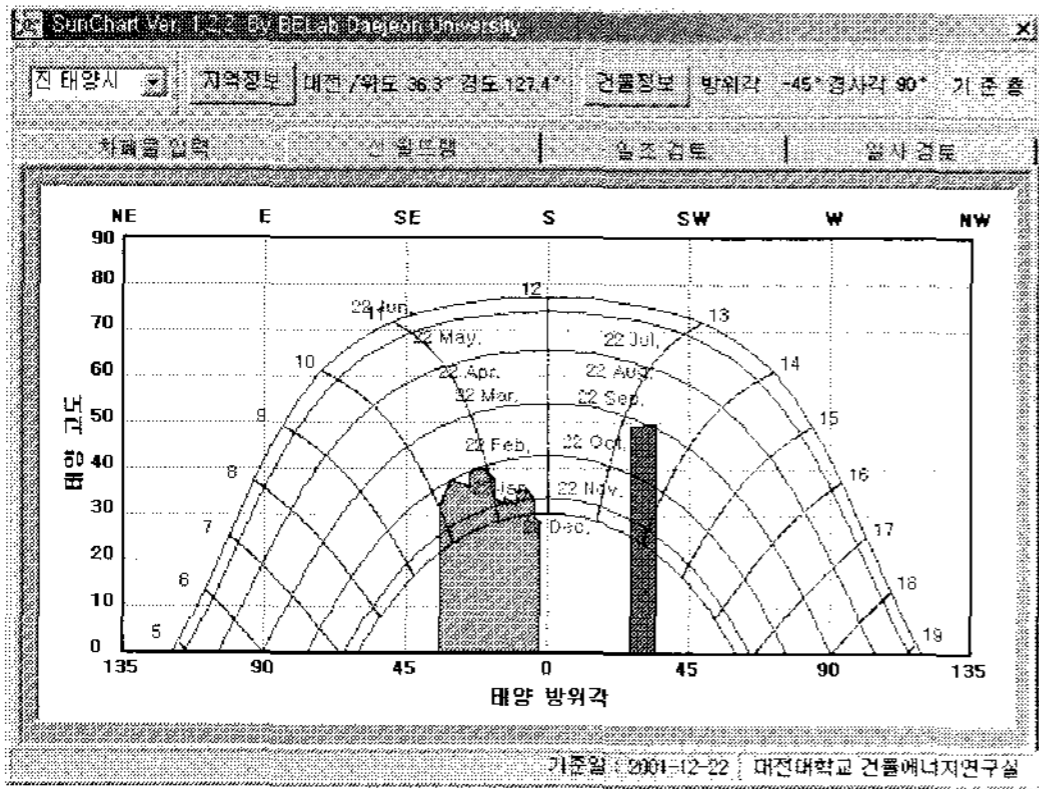


그림 8. 신 월드램 화면

4.3 일조 및 일사검토

그림 9는 “일조검토” 화면을 나타낸 것으로 기존의 월드램에서 표현할 수 없는 입사면의 향(건물 방위각)에 따른 영구일영과 일조변화를 새로운 표현방법으로 구현하였다. 이 화면에서 “차폐물 입력”에서 입력된 차폐물을 선택하면, 입사지점을 극좌표의 중심으로 하여 입사면이 반원 형태로 표면방위각에 따라 그려진다. 이 반원의 내부에는 일조구간과 외부 일영구간이 태양의 방위각에 따른 부채꼴 형태로 색채별로 구별되어 그려지고, 각 지점에는 시각이 표시되어 일영판단의 이

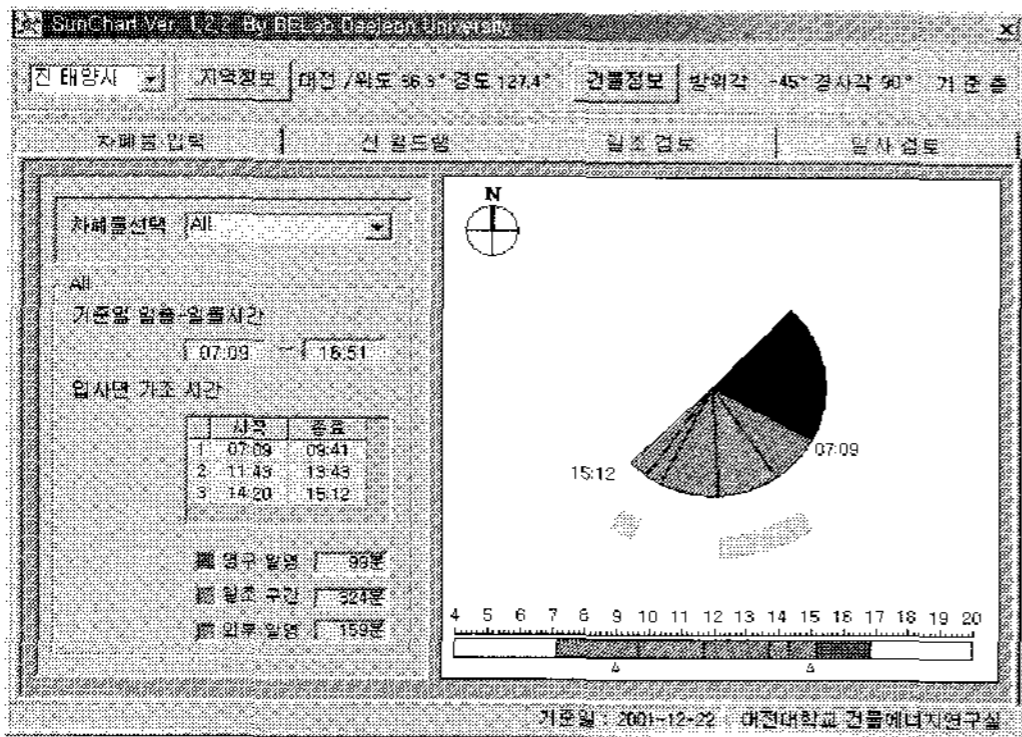


그림 9. 일조검토 화면

해를 돕게 된다. 이때 차폐물은 첫 번째 절점과 마지막 절점의 방위각을 연결하는 극좌표상의 벨트형태로 입사면의 반원외부에 표시된다. 또한 화면 좌측에는 입사지점에 대한 일조시간 가조시간 분포와 일조, 영구일영, 외부일영 등의 구간별 총시간이 계산되고, 하부에는 이들 결과가 바차트 (Bar chart)의 그래프로 각각 표시되어 일조 상황을 더욱 용이하게 파악할 수 있도록 한다.

그림 10은 “일사검토” 화면으로서 기준 데이터의 입력정보에 따라 입사지점에 대한 시간별 일사량 분포가 입사 및 차폐 일사량으로 구분되어 그래프로 표시된다. 또한 입사면 1일 총 입사와 차폐 일사량이 화면 좌측에 표시되며 식 19에 의한 일사 차폐율이 계산된다. 이때 계산 기준이 되는 수평면 일사량은 지역정보로부터 자동 입력되거나 사용자가 변경할 수도 있다.

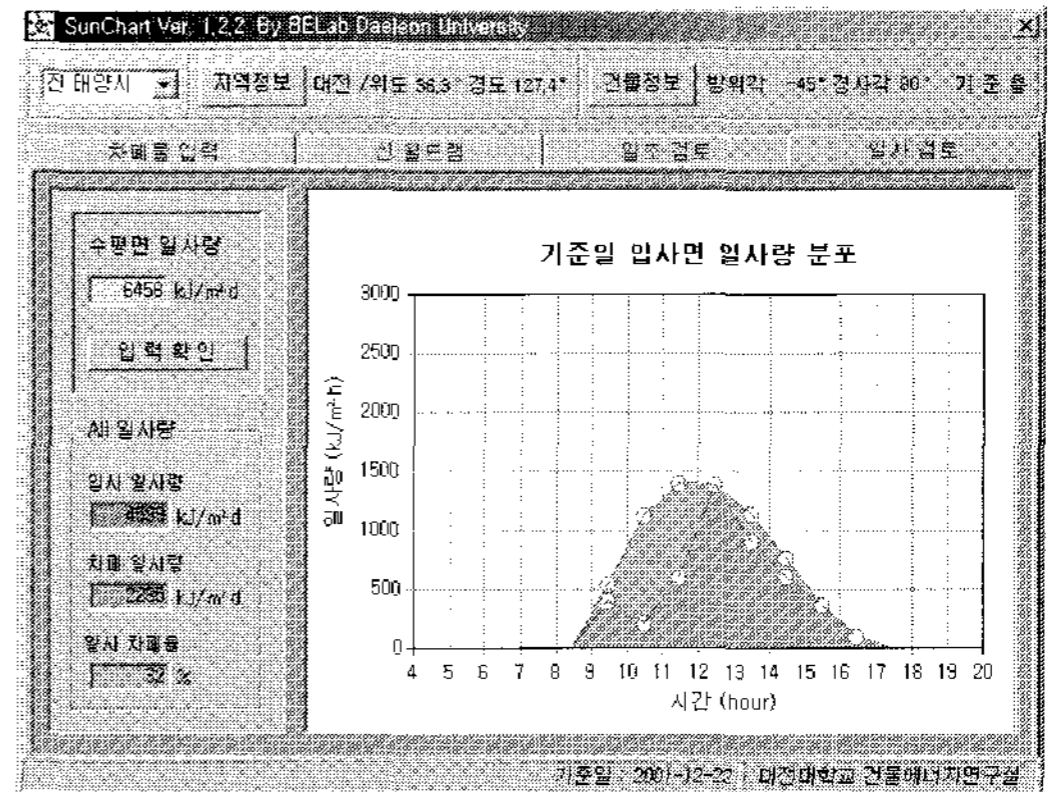


그림 10. 일사검토 화면

5. 결론

본 연구에서는 일조와 일사를 동시에 분석할 수 있는 일조해석 소프트웨어, SunChart를 개발하였다. Visual -BASIC을 이용하여 개발된 이 SunChart는 단일화면에서 기본 데이터입력과 “차폐물 입력” 메뉴, “신 월드램” 메뉴, “일조검토”

메뉴바 및 “일사검토” 메뉴 등의 기능이 구현되도록 하였으며, 일출몰 시간 및 경사면 일사분석을 통하여 그 타당성을 검증하였다. SunChart는 기존의 유사 프로그램에 비해 사용이 간편하면서 결과의 이해가 용이하도록 한 것이 특징이며, 따라서 이 분야에 약간의 지식만으로도 이 프로그램을 사용할 수 있도록 한 범용적인 프로그램이라 할 수 있다.

참고문헌

1. 최정민 외 3인, 고정식 평판형 태양열 집열기의 최적 설치각 산정방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 18권 5호, Vol. 163, pp. 125-132, 2002
2. 민영기 외 2인 공역, 기본 천문학, 형설출판사, 1993.
3. 이용복, “근사식에 의한 태양의 남중 및 출몰 시각 결정에 관하여”, 과학과 수학교육 논문집 제14집, pp. 81-94. 서울교육대학교, 1988.
4. J. A. Duffie & W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes-2nd ed., Wiley, New York, 1991.
5. <http://www.kao.re.kr/~dgroh/riseset/>
6. TRNSYS 14.2 Reference manual, University of Wisconsin-Madison, 1996.
7. 주경민, Visual Basic Programing Bible, 영진출판사, 1998.
8. 박승렬 역, Visual Basic Graphics Programing, 삼각형출판사, 1998.