

서울의 기상청 전 운량과 측정 일사량에 의한 천공 데이터 비교·분석

홍성관*, 박병철**, 최안섭***, 이정호****

*세종대학교 대학원 건축공학과(skhong0710@gmail.com),

**세종대학교 대학원 건축공학과(iron401p@hotmail.com),

***세종대학교 건축공학과 교수(aschoi@sejong.ac.kr),

****삼성건설 기술연구소(jh.ls.lee@samsung.com)

The Analysis and Comparison on the Sky Condition between Cloud Amount and Measured Solar Horizontal Irradiation in Seoul

Hong, Seong-Kwan*, Park, Byoung-Chul**, Choi, An-Seop***, Lee, Jeong-Ho****

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sejong University(skhong0710@gmail.com),

**Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sejong University(iron401p@hotmail.com),

***Professor, Dept. of Architectural Eng., Sejong University(aschoi@sejong.ac.kr),

****Samsung Engineering & Construction (jh.ls.lee@samsung.com)

Abstract

This study is to analyze and compare on the sky condition of cloud amount and measured solar horizontal irradiation in Seoul. Sky cover method is determination of sky condition used by cloud amount of the Meteorological Administration. And HCI method is determination of sky condition used by measured solar horizontal irradiation. The HCI methods of Erbs et al.(1982), Orgill and Hollands(1977) appear a lot of error because of the air pollution such as smog phenomenon or yellow sand phenomenon and so on. Therefore, The purpose of this study is to improve the method for determination of sky condition.

Keywords : 운량(Cloud Amount), 일사량(Global Solar Horizontal Irradiation), 천공 상태(Sky Condition), Sky Cover Method, HCI(Hourly Clearness Index)

1. 서 론

우리나라의 전체 에너지 사용량 중 에너지 수입 의존도는 최근 8년간 96.85%에 달하는 것으로 나타났다.1) 전 세계적인 경제 위기와

더불어 환율의 급등으로 인하여 에너지의 상당한 양을 수입하는 우리나라로서는 경제적으로 큰 타격을 입는다. 또한 경제성장을 하

1) 에너지경제연구원(<http://www.keei.re.kr>)

락(5.0%, 2007년)에도 불구하고, 에너지소비 증가율은 상승(2.6%, 2007년)한 것으로 나타나는 등 에너지 절약에 관한 문제가 더 크게 인식되고 있다.²⁾ 에너지 절약에 관한 문제가 야기되면서 무한 청정의 자원인 태양에너지가 각광받고 있으며 본 연구는 태양에너지의 효율적인 활용을 위하여 기상청 전 운량과 측정 일사량의 천공 데이터 비교·분석을 통한 측정 일사량의 천공 결정 방법 개선을 목적으로 한다.

2. 이론고찰

2.1 천공

천공모형을 나누는 대표적인 방법으로는 CIE 천공모형과 Perez 천공모형이 있다. CIE 천공모형은 천공을 청천공, 부분담천공, 담천공으로 나누어 분류하는데 Kittler, Pierpoint, Moon and Spencer가 각각의 천공을 제안하였다.³⁾⁴⁾⁵⁾ 그러나 CIE 천공모형은 태양이 구름에 의해 완전히 가려진다고 가정하였으며, 휘도 분포가 모든 방위각에서 동일하다고 가정하였다.⁶⁾ Perez 모델은 이러한 CIE 천공모형의 단점을 보완하기 위하여 Sky Clearness와 Sky Brightness에 따라 8가지로 분류하였다.⁷⁾

천공의 상태를 결정하는 방법에는 일사량, 운량과 일조시간 데이터를 이용하는 방법이 있으며 국내의 경우 일사량을 측정하는 곳은

22곳이고 운량과 일조시간 데이터를 측정하는 곳은 각 42, 79곳이다.⁸⁾

2.2 기상청 전 운량 데이터

기상청에서 발표하는 전 운량 데이터는 전문가의 목측(目測)에 의해 결정되는데 구름의 양을 기준으로 0부터 10까지 11단계로 나누어지며 이와 유사하게 운량을 기준으로 천공을 구분하는 Sky Cover Method의 구분은 다음과 같다.⁹⁾

- 청천공 : 0.0 ~ 0.3
- 부분담천공 : 0.4 ~ 0.7
- 담천공 : 0.8 ~ 10.0

기상청의 전 운량 데이터를 이용한 천공 결정 방법은 천공의 구분이 모호하거나 전문가의 주관적 판단에 의해 전문가에 따라 오차가 발생한다. 또한 전문가의 목측의 경우, 시시각각 변화하는 천공의 특성상 순간의 데이터는 오차율이 클 수 밖에 없으며 순간의 데이터가 해당 시간 전체를 대표할 수 없다.

2.3 측정 일사량 데이터

HCI(Hourly Clearness Index)는 측정 일사량 데이터를 이용하는 방법으로 해당 지역의 일사량을 직접 측정하기 때문에 전문가의 목측에 의한 전 운량 데이터에 비해 정확하다. HCI는 Erbs et al. (1982)와 Orgill and Hollands (1977), 그리고 Reindl et al. (1990)에 의해 연구되었으며 본 연구에서는 Erbs et al. 와 Orgill and Hollands의 방법을 사용하였다.¹⁰⁾ 식 (1)은 본 연구에서 사용되는 방법론의 식으로 각각의 방법에 따라 K_T 범위의 차이가 있다.

2) 지식경제부(www.mke.go.kr), 2008. 4 (2007년 기준)

3) Kittler R. Standardization of Outdoor Conditions for the Calculation of Daylight Factor with Clear Skies, Proceedings of the CIE International Conference on Sunlight in Buildings, Rotterdam, 1967

4) Nakamura H et al., Luminance Distribution of Intermediate Sky, Journal of Light and Visual Environment, 1985

5) Moon P, Spencer DE, Illumination from a Non-uniform Sky, Illuminating Engineering(N.Y.), 1942

6) 황민구, 광센서 조광제어시스템의 제어소프트웨어 성능향상 및 검증프로그램 개발, 석사학위논문, 2005. 12

7) Perez R, Luminance Distribution of an Average Sky, Lighting Research and Technology, 1981

8) 유효천 외, 국내 주요도시의 운량데이터를 이용한 전일사 산출 및 비교, 한국태양에너지학회 논문집, 제28권 4호, 2008. 8

9) IESNA, Lighting Handbook, 9th Edition., 2000

10) John A. Duffie et al., Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2006

$$K_T = \frac{I_T}{I_{Oh}} \quad (1)$$

여기서,

- K_T = HCI(Hourly Clearness Index)
- I_T = 실제 일사량 측정값
- I_{Oh} = 대기권 밖 수평 일사량(W/m^2)

일사량을 측정하여 천공의 종류를 분류하는 방법으로 HCI 방법 외에 Sky Ratio Method가 있는데 이는 전 천공(직광+천공) 수평 일사량에 대한 천공 수평일사량의 비로 천공을 구분하나, 이 방법은 측정 방법의 난해로 인하여 본 연구에서는 HCI방법을 사용하였다.

3. 천공 데이터 비교·분석

3.1 측정 개요

기상청의 전 운량 데이터는 서울 종로구 송월동에서 전문가의 목측으로 이루어진다. 현재 서울의 운량 데이터를 측정하는 곳과 기상청의 위치가 다른 것은 WMO(세계 기상 기구)의 기상 데이터 인증을 위하여 기존의 측정 장소를 유지하기 때문이다. 본 연구에서 기상청의 전 운량 데이터와 비교가 될 측정 일사량 데이터의 개요는 다음 표 1과 같다.

표 1. 측정 개요

구분	내용	
기간	2008년 3월 12일 ~ 7월 17일	
위치	위도	37° 33'
	경도	127° 4'

3.2 전체 평균 유사성 비교·분석

기상청 전 운량 데이터와 측정 일사량 데이터를 이용한 천공 데이터를 비교하였다. 측정 데이터는 1초 단위로 센싱한 후 1분 단위로 평균을 기록하여, 매 시간 순간 데이터로 기록되는 기상청 전 운량 데이터와 측정 시간의 오차가 있다. 측정 일사량 데이터는 1분 단위로 기록이 되기 때문에 해당 시간을

대표하는 방법으로 여러 결정법이 사용될 수 있다. 기상청 데이터와의 비교·분석을 위해 측정 일사량 데이터의 시간당 대표 천공을 결정하는 방법을 표 2와 같이 구분하였다.

표 2. 측정 일사량에 의한 HCI 천공 결정법

구분	천공 결정 방법
A	매 1분당(0분~59분)의 K_T 값 중 다수
B	매 1분당((-30분~29분)의 K_T 값 중 다수
C	해당시간(0분~59분) K_T 값의 평균 값
D	해당시간((-30분~29분) K_T 값의 평균 값
E	매 5분마다의 평균 K_T 값 중 다수
F	매 10분마다의 평균 K_T 값 중 다수
G	매 20분마다의 평균 K_T 값 중 다수
H	해당 시간에 측정된 순간의 K_T 값

기상청 전 운량 데이터와 측정 일사량의 데이터 비교는 2008년 3월 12일부터 7월 17일 중, 65일간의 데이터를 사용하였으며 유사성 비교 결과는 다음 표 3과 같다. 기상청 데이터를 기준으로 하였을 때, Orgill and Hollands 방법이 Erbs et al. 방법에 비하여 높은 유사성을 나타냈으며 이는 Orgill and Hollands 방법이 Erbs et al. 방법에 비해 부분담천공의 범위가 좁기 때문으로 사료된다. 기상청의 목측에 의한 전 운량 데이터와 측정 일사량을 이용한 HCI 방법과의 오차는 여러 가지 원인을 고려해 볼 수 있겠으나, 식 (1)이 제시된 이후 스모그현상이나 황사현상 등의 대기오염으로 인해 실제 측정 I_T 값이 줄어들었기 때문으로 사료된다. 또한, 측정 일사량에 의한 HCI 천공 결정법은 여러 방법으로 시도되었으나 기상청 데이터와 비교하였을 때, 방법에 따른 유사성 차이는 크지 않았다.

표 3. 기상청 대비 HCI방법의 유사성 비교(%)

구분	A	B	C	D	E	F	G	H	평균
Erbs et al.	51	52	51	51	52	52	51	48	51
Orgill and Hollands	61	65	64	66	63	66	65	58	63

3.3 천공별 유사성 비교·분석

기상청 전 운량 데이터와 측정 일사량 데이터간의 오차에 관한 원인을 파악하기 위하여 각각의 천공별 유사성을 비교하였다. HCI를 이용한 천공 결정법은 앞선 분석에서 가장 높은 유사성을 나타낸 F(매 10분마다의 평균 K_T 값 중 다수)방법을 사용하였다. 표 4와 5는 Erbs et al. 방법과 Orgill and Hollands 방법에 따른 천공별 유사성 비교 결과이다. 유사성 산정은 HCI 천공 결정법에 의해 결정된 천공의 개수(개)를 산정하고 기상청 전 운량데이터에 의해 결정된 천공과 같은 천공을 전체 천공의 개수로 나누어 유사성(%)을 나타냈다. Erbs et al. 방법은 부분담천공의 범위가 넓기 때문에 천공의 대부분이 부분담천공으로 판정되었다. Orgill and Hollands 방법은 Erbs et al. 방법에 비해 부분담천공의 범위가 좁고 청천공과 담천공의 범위가 넓다.

표 4. 천공별 유사성 비교(Erbs et al. 방법)

기상청	HCI	개수(개)	유사성(%)
청천공	청천공	10	8.85
	부분담천공	100	
	담천공	3	
부분담천공	청천공	7	93.51
	부분담천공	144	
	담천공	3	
담천공	청천공	0	47.23
	부분담천공	143	
	담천공	128	

표 5. 천공별 유사성 비교(Orgill and Hollands 방법)

기상청	HCI	개수(개)	유사성(%)
청천공	청천공	50	44.25
	부분담천공	58	
	담천공	5	

부분담천공	청천공	20	78.57
	부분담천공	121	
	담천공	13	
담천공	청천공	6	68.64
	부분담천공	79	
	담천공	186	

4. 유사성 향상을 위한 대안

4.1 기존 방법론

기존의 Erbs et al. 방법과 Orgill and Hollands 방법은 대기 오염이 적은 1970~80년대에 고안된 방법으로 현재의 상황과는 다른 환경에서 천공을 구분하였다. 그림 2와 3은 기존 방법의 K_T 범위에 따른 천공 구분을 나타냈다. 그림 2와 3에서 보는 것과 같이 Erbs et al. 방법은 부분담천공의 범위가 매우 넓고 Orgill and Hollands 방법은 Erbs et al. 방법에 비해 부분담천공의 범위가 좁고 청천공과 담천공의 범위가 넓다. 따라서 Erbs et al. 방법은 대부분의 천공이 부분담천공으로 결정되어 청천공과 담천공의 유사성이 낮으며 Orgill and Hollands 방법은 부분담천공의 유사성이 낮고 청천공과 담천공의 유사성이 높다.

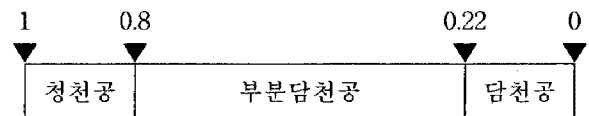


그림 2. Erbs et al. 방법의 K_T 범위

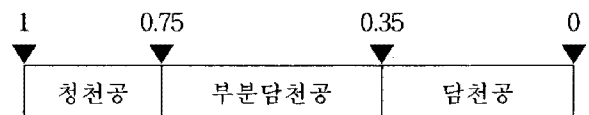


그림 3. Orgill and Hollands 방법의 K_T 범위

4.2 대안 A(청천공 범위 확장)

본 연구에서는 기존의 K_T 범위에 대기오염을 고려한 범위 변화를 통하여 유사성을 높

여보았다. 앞선 표 5에서 보듯이, 청천공의 유사성이 다른 천공들에 비해 매우 낮게 나타났으며 이같은 결과는 I_T 의 값이 낮아졌기 때문으로 판단하고 청천공의 K_T 범위를 확장하였다. 청천공의 범위를 확장하는 방법으로 낮아진 I_T 값을 고려하여 K_T 최소 수치를 0.75에서 0.7로 낮추었으며 그림 4는 기존 방법에서 청천공의 범위를 확장한 개선안이다.

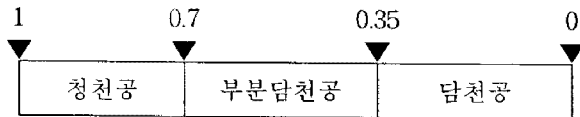


그림 4. 대안 A의 K_T 범위

표 6은 기존의 방법에서 청천공의 범위를 확장한 개선안의 결과이다. 기존의 방법들에 비해 청천공의 유사성이 매우 높아졌음을 알 수 있다.

표 6. 천공별 유사성 비교(대안 A)

기상청	HCI	개수(개)	유사성(%)
청천공	청천공	72	63.72
	부분담천공	36	
	담천공	5	
부분담천공	청천공	49	59.74
	부분담천공	92	
	담천공	13	
담천공	청천공	11	68.64
	부분담천공	74	
	담천공	186	

4.3 대안 B(청천공, 부분담천공 범위 확장)

대안 A는 청천공의 K_T 범위를 확장하여 실험을 실시하여 청천공의 유사성은 높아졌으나 상대적으로 부분담천공의 범위가 축소되어 부분담천공의 유사성이 낮아졌다. 낮아진 부분담천공의 유사성을 높이기 위해 대안 A

에서 부분담천공의 K_T 범위를 확장하였다. 부분담천공의 범위를 확장하는 방법으로 낮아진 I_T 값을 고려하여 K_T 최소 수치를 0.35에서 0.3으로 낮추었으며 그림 5는 부분담천공의 범위를 확장한 개선안이다.

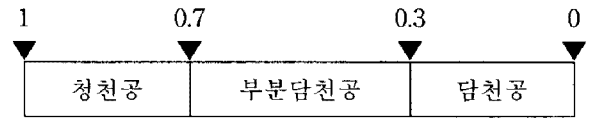


그림 5. 대안 B의 K_T 범위

표 7은 부분담천공의 범위를 확장한 개선안의 결과이다. 부분담천공의 유사성이 높아져 전체적으로 천공별 고른 유사성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 7. 천공별 유사성 비교(대안 B)

기상청	HCI	개수(개)	유사성(%)
청천공	청천공	72	63.72
	부분담천공	36	
	담천공	5	
부분담천공	청천공	49	62.34
	부분담천공	96	
	담천공	9	
담천공	청천공	11	61.99
	부분담천공	92	
	담천공	168	

5. 결론

기상청의 전 운량과 측정 일사량에 의한 천공 데이터의 비교·분석을 실시하였다. 기상청의 전 운량 데이터를 기준으로 하여 측정 일사량에 의한 천공 데이터를 비교하였다. Erbs et al. 방법과 Orgill and Hollands 방법의 비교에서는 전체 평균 유사성과 천공별 유사성 모두 Orgill and Hollands 방법이 Erbs

et al. 방법에 비하여 기상청의 전 운량에 의한 천공 데이터와 유사한 것으로 나타났다.

- 전체 평균 유사성

- 1) Erbs et al. 방법 : 평균 51%
- 2) Orgill and Hollands 방법 : 평균 63%

- 천공별 유사성

- 1) Erbs et al. 방법
 - ① 청천공 : 8.85%
 - ② 부분담천공 : 93.51%
 - ③ 담천공 : 47.23%
- 2) Orgill and Hollands 방법
 - ① 청천공 : 44.25%
 - ② 부분담천공 : 78.57%
 - ③ 담천공 : 68.64%

기존의 방법들은 현 실정에 맞지 않게 K_T 범위가 구분되어 있어 특정 천공에 치우친 결과가 나왔다. 이에 본 연구에서는 유사성 향상을 위한 대안을 마련하였다. 대안 A과 B는 기존 방법에 비해 높은 유사성을 나타냈으며 천공별로 고른 분포를 나타냈다.

- 유사성 향상을 위한 대안

- 1) 대안 A
 - ① 청천공 : 63.72%
 - ② 부분담천공 : 59.74%
 - ③ 담천공 : 68.64%
- 2) 대안 B
 - ① 청천공 : 63.72%
 - ② 부분담천공 : 62.34%
 - ③ 담천공 : 61.99%

본 연구의 한계는 데이터 분석에 있어서 1년의 데이터를 이용한 것이 아닌 한정된 데이터를 사용한 점과 동일한 장소에서의 천공 결정이 아니라는 점에 있다. 향후 더 많은 데이터의 분석을 통해 보다 정확한 연구가 필요할 것이며 K_T 범위에 대한 보다 체계적인

연구가 필요할 것이다.

후 기

이 연구는 삼성건설의 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부이며, 저자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

참 고 문 헌

1. 에너지경제연구원(<http://www.keei.re.kr>)
2. 지식경제부(www.mke.go.kr), 2008. 4
3. Kittler R. Standardization of Outdoor Conditions for the Calculation of Daylight Factor with Clear Skies, Proceedings of the CIE International Conference on Sunlight in Buildings, Rotterdam, 1967
4. Nakamura H et al., Luminance Distribution of Intermediate Sky, Journal of Light and Visual Environment, 1985
5. Moon P, Spencer DE, Illumination from a Non-uniform Sky, Illuminating Engineering (N.Y.), 1942
6. 황민구, 광센서 조광제어시스템의 제어소프트웨어 성능향상 및 검증프로그램 개발, 석사학위논문, 2005. 12
7. Perez R, Luminance Distribution of an Average Sky, Lighting Research and Technology, 1981
8. 유호천 외, 국내 주요도시의 운량데이터를 이용한 전일사 산출 및 비교, 한국태양에너지학회 논문집, 제28권 4호, 2008. 8
9. IESNA, Lighting Handbook, 9th Edition., 2000
10. John A. Duffie et al., Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2006