

아트리움의 자연채광 성능 예측용 노모그래프

Daylighting Performance Nomographs for Toplit Atrium

김 정 태* 정 유 근**
Kim, Jeong-Tai Chung, Yu-Gun

Abstract

Today, there are increasing evidences that daylight is essential for health, well-being and productivity. One of the strong contributions, which atria can make to advantages in building, is in allowing the use of daylight. This research is to develop nomographs and to evaluate the daylight performances of toplit atria with louvers. For this purpose, the evaluation models of toplit atria with well indexes of 0.5, 1.0 or 2.0 have been selected through the field surveys of atrium buildings in Seoul area. Also, weather data for solar irradiance and luminous efficacy were gathered from the recently conducted previous researches. The computer simulations were performed under clear sky conditions, using the ADELIN program, and various daylight performances were analyzed by the daylight illumination ratio. Analyzing the simulation results, solar altitude, solar azimuth, and louver angle and louver reflectance were found to be important factors affecting the daylight performance of toplit atria. Using these variables, regression equations have been formulated, and the nomographs, which may predict the daylight performances of toplit atria with louvers, were developed. The developed nomographs were validated through comparing the results of nomograph predictions to the results of scale-model experiments.

키워드 : 자연채광, 채광성능, 천창형 아트리움, 가동형 루버, 노모그래프

Keywords : daylighting, daylighting performance, toplit atrium, movable louver, nomographs,

1. 서 론

자연채광은 에너지 절약뿐만이 아니라 재실자의 건강, 복지 및 생산성 향상에 크게 기여할 수 있다. 또한, 실내 공간을 지속적으로 변화시켜 역동적인 공간창출이 가능하며 태양에너지를 활용하는 대표적인 환경친화적 디자인 요소의 하나이다.

건축물에 아트리움을 계획하는 가장 큰 이점 중의 하나는 실내 깊숙이 자연광의 유입이 가능하다는 것이다. 특히, 천창형 아트리움은 실내로 유입되는 풍부한 자연채광량으로 재실자에게 하루의 시각변화와 더불어 시각적 쾌적함과 즐거움 등을 제공할 수 있다.

그러나, 천창형 아트리움은 넓은 채광창으로 인해 충분한 공학적 근거에 기초하여 계획되지 않을 경우 과도한 직사일광의 유입 등으로 인한 건축환경적 문제점을 야기할 수 있다. 그러므로 천창형 아트리움의 쾌적 환경조성을 위해서는 적절한 태양광 조절장치의 설치가 필요하다.

이를 위해서는 디자이너가 계획초기 단계에서 천창형 아트리움의 채광특성을 쉽게 평가하고 쾌적한 시환경 조

성을 위한 채광계획에 기여할 수 있는 예측도구가 필요하다. 이러한 예측도구로 노모그래프는 다양한 변수가 고려되며 사용이 간단한 매우 효과적인 평가도구이다.

따라서, 본 연구는 태양광 조절장치로 가동형 루버가 설치된 천창형 아트리움을 대상으로 채광성능을 간단히 평가할 수 있는 채광성능 예측용 노모그래프를 개발하고 그 성능을 평가하는데 연구의 목적이 있다.

이를 위해, 기존 아트리움 건물의 조사를 통해 선정된 천창형 아트리움 모델을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하고 이를 분석하여 노모그래프 개발을 위한 예측식을 도출하였다. 또한, 이들 예측식에 의해 개발된 노모그래프는 축소모형 실험을 통하여 그 유용성을 검증하였다.

2. 아트리움 모델의 선정

천창형 아트리움 모델을 선정하기 위해서 서울지역의 아트리움 건물을 조사, 분석하였다. 선정된 아트리움 모델은 바닥면적 $40m^2(20m \times 20m)$, 높이 40m이며 광정지수(0.5, 1.0 그리고 2.0)를 변화시켜 계획되었다<그림 1>. 선정된 아트리움 모델의 조건은 <표 1>과 같다.

아트리움의 기준층은 <그림 1, b>와 같이 표준화하였

* 경희대학교 토목건축공학부 교수, 공학박사

** 경희대학교 채광조명시스템연구실, 박사후연구원

고 인접공간으로 유입된 자연광은 다시 아트리움 공간으로 반사되지 않는 것으로 설정하였다. 또한, 아트리움 천창에 가동형 루버를 남북방향으로 계획하여 태양고도에 따라 대응할 수 있도록 설치하였다.

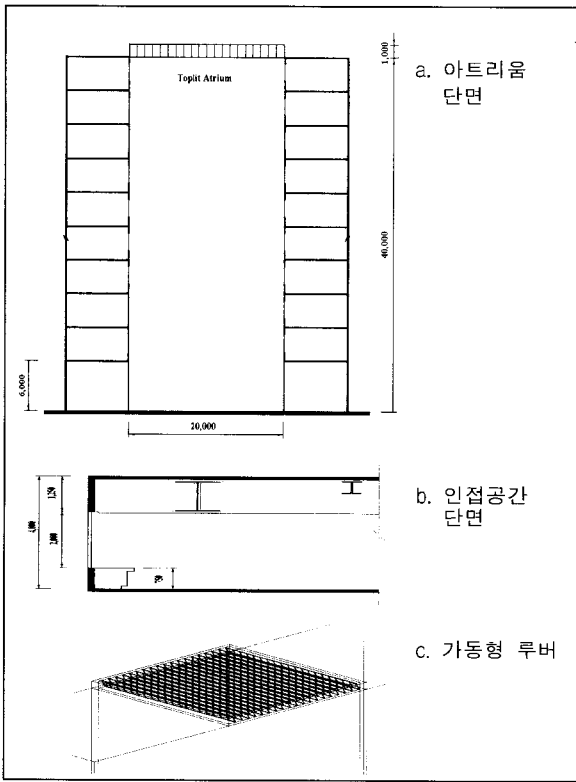


그림 1. 아트리움 모델

표 1. 아트리움 모델의 조건

구분	투과율 / 반사율
아트리움 천창	유리 투과율 (85%)
	유리/창 면적비 (90%)
아트리움 내벽	내벽 반사율 (53%)
	유리/창 면적비 (46%)
	유리 투과율 (85%)
아트리움 바닥	반사율 (20%)

3. 컴퓨터 시뮬레이션

ADELIN 프로그램을 이용하여 가동형 루버가 설치된 천창형 아트리움의 채광성능을 평가하였다. 또한, 기존의 연구결과를 이용하여 분석된 자연채광 기상자료를 시뮬레이션을 위한 기초자료로 활용하였다.

3.1 자연채광 기상자료의 분석

국내에서 주광조도에 관한 자료는 부족하지만 일사량 자료는 기상청에 의해 정기적으로 수집되고 있는 실정이다. 이때, 일사량 자료를 외부조도로 환산하기 위해서는 발광효율이 필요하다.

발광효율은 일사 에너지에 상응하는 주광조도의 비를 말하며 다양한 연구결과가 제시되고 있다. 본 연구에서는 수원지역의 발광효율을 예측하기 위하여 태양고도와 방위각에 따라 발광효율을 예측한 기존의 연구(이석배 외, 1993)결과를 이용하였다<표 2>.

표 2. 발광효율의 예측

구분	청천공	답천공
전효율	$Y=136.394+0.0536X$	$Y=150.642+0.1234X$
확산효율	$Y=193.468-0.2251X$	$Y=165.628+0.0838X$
직달효율	$Y=75.4+1.775X-0.1451X^2$	$Y=91.434-0.399X+0.006X^2$

주) Y=발광효율, X=태양고도

분석결과, 청천공인 경우의 발광효율은 계절에 따라 전효율이 $137 \pm 5(\text{lm/W})$, 천공광 확산효율이 $184 \pm 9(\text{lm/W})$ 그리고 직달효율이 $100 \pm 29(\text{lm/W})$ 로 분석되었다. <표 3>은 <표 2>에서 제시된 발광효율식을 이용하여 예측된 발광효율 및 일사량 값을 나타낸다.

표 3. 예측된 일사량과 발광효율

계절	시간	태양 고도	태양 방위각	수평면일사량 (발광효율)	직달일사량 (발광효율)	확산일사량 (발광효율)
춘·추분	09	27.0	-67	301(137.8)	258(112.9)	43(187.4)
	10	36.0	-54	430(138.5)	379(122.0)	52(184.9)
	11	46.0	-38	516(139.0)	460(126.5)	56(183.1)
	12	51.0	-16	576(139.1)	497(128.4)	79(182.0)
	13	52.0	8	585(139.2)	520(128.6)	65(181.8)
	14	48.5	31	546(139.0)	490(127.5)	56(182.6)
	15	41.0	49	465(138.6)	413(123.9)	53(184.2)
	16	31.0	63	344(138.1)	297(116.6)	48(185.7)
하 지	17	20.0	74	207(137.5)	172(105.2)	35(189.0)
	09	43.0	-89	490(138.7)	430(125.1)	60(183.8)
	10	54.0	-77	602(139.4)	542(129.1)	60(181.3)
	11	66.0	-63	688(139.9)	619(129.6)	69(178.6)
	12	74.0	-27	718(149.4)	651(127.5)	68(176.8)
	13	76.0	24	718(140.5)	651(126.7)	68(176.4)
	14	71.5	61	697(140.2)	628(128.4)	70(177.4)
	15	67.0	77	615(140.0)	551(129.4)	65(178.4)
동지	16	45.0	88	516(138.8)	447(126.1)	69(183.3)
	17	32.0	96	370(138.1)	318(117.5)	52(186.3)
	09	11.0	-48	86(137.0)	78(93.2)	9(191.0)
	10	19.0	-36	189(137.4)	164(104.0)	26(189.2)
	11	25.0	-23	267(137.7)	232(110.8)	35(187.9)
	12	28.0	-7	310(137.9)	271(113.8)	39(187.2)
	13	27.0	8	310(137.9)	271(112.9)	39(187.4)
	14	26.5	22	267(137.8)	232(112.4)	35(187.5)
	15	19.0	37	198(137.4)	164(104.0)	35(181.2)
	16	11.0	49	86(137.0)	78(93.2)	9(191.0)
	17	40.0	58	26(136.6)	22(82.3)	4(192.6)

3.2 ADELIN E 시뮬레이션

ADELIN E 프로그램을 이용한 가동형 루버를 지닌 천창형 아트리움의 채광성능 평가는 태양고도 및 방위각과 루버각도 및 반사율을 변화시켜 계절에 따른 춘추분, 하지 및 동지에서 각각 실시하였다.

<그림 2>는 시뮬레이션을 위한 입력모델 및 평가결과의 예이다. 시뮬레이션 조건은 <표 4>와 같다. 아트리움의 채광성능은 주광조도비²⁾를 이용하여 최대, 최소 그리고 평균 주광조도비에 의해 평가하였다.

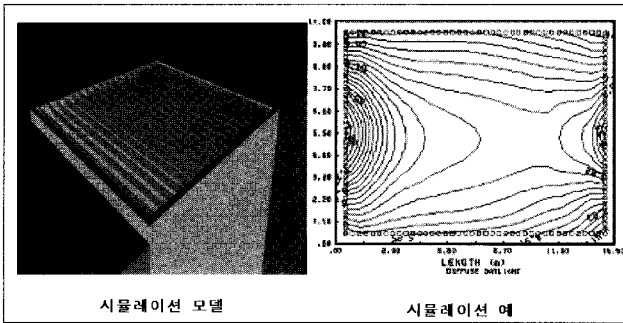


그림 2. 시뮬레이션 모델 및 결과

표 4. 시뮬레이션 조건

구분	조건
광정지수(well index)	0.5, 1.0 및 2.0
계절(seasons)	춘추분, 하지 및 동지
루버각도(louver angle)	10°부터 90°까지 10° 간격
루버 반사율(louver reflectance)	60%에서 80%까지 5%간격

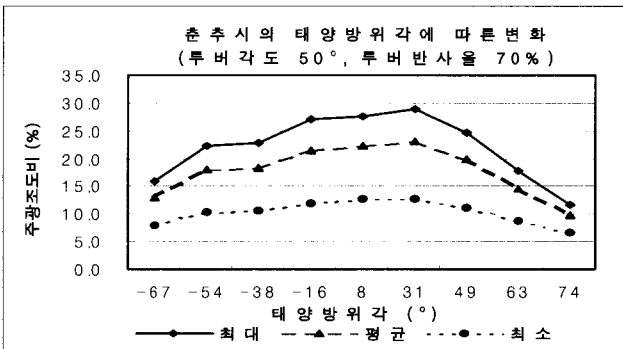


그림 3. 천창형 아트리움의 채광성능(광정지수 1.0)

3.3 시뮬레이션 결과의 분석

아트리움의 채광성능을 평가한 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 SPSS 프로그램을 이용하여 분석하였다. 분석결과 아트리움의 채광성능에 영향을 미치는 가장 주요변수는 루버각도로 분석되었고, 이외에 광정지수, 태양고도, 루버 반사율 그리고 태양방위각의 순서로 나타났다 <표 5>.

2) 주광조도비(Sunlight illuminance ratio, SIR)는 직사일광을 포함한 실외의 주광조도에 대한 작업면의 수평면 조도의 비로 다음과 같이 계산된다.
주광조도비 = 작업면조도/외부수평면조도 × 100 (%)

표 5. 채광성능에 영향을 미치는 변수

변수	채광성능		
	최대 주광조도비	최소 주광조도비	평균 주광조도비
루버각도	0.609**	0.633**	0.630**
광정지수	-0.462**	-0.438**	-0.468**
태양고도	0.314**	0.351**	0.296**
루버반사율	0.183*	0.227*	0.204*
태양방위각	-0.184*	-0.163*	-0.174*

(주) 유의도 : ** 0.001 * 0.01

<표 5>에 따르면 루버각도에 따른 아트리움 실내 자연광 조절이 가장 효과적인 것으로 생각되며, 루버반사율은 단지 보조적인 역할만을 수행하는 것으로 분석되었다. 또한, 하루의 시간변화에 대하여는 태양고도에 의한 영향이 방위각 보다 큰 것으로 분석되었다.

천창형 아트리움의 채광성능 평가용 노모그래프를 개발하기 위해 도출된 회귀식은 <표 6>와 같다. 회귀식은 광정지수 및 루버의 사용여부에 따라 모두 여섯 개의 그룹으로 구성되어 있다.

도출된 회귀식의 설명력은 최소 0.727에서 최대 0.849로 루버가 있는 경우의 회귀식이 더 큰 설명력을 지닌 것으로 분석되었다. 그러므로 아트리움의 채광성능 예측을 위한 회귀식의 적용시 이에 대한 고려가 요구된다.

표 6. 채광성능 예측용 회귀식

광정지수	주광조도비	루버 없음	
		최대	최소
0.5	최대	$Y = 60.017 + 0.321A + 0.016L$	
	최소	$Y = 17.512 + 0.175A - 0.0053L$	
	평균	$Y = 45.941 + 0.339A - 0.0055L$	
1.0	최대	$Y = 14.88 + 1.046A + 0.0228L$	
	최소	$Y = 12.001 + 0.231A - 0.0094L$	
	평균	$Y = 15.782 + 0.668A - 0.0361L$	
2.0	최대	$Y = -13.93 + 0.96A + 0.0131L$	
	최소	$Y = -0.955 + 0.295A + 0.005L$	
	평균	$Y = -4.019 + 0.526A + 0.003L$	
광정지수	주광조도비	루버 있음	
		최대	최소
0.5	최대	$Y = -50.886 + 0.454A - 0.0211L + 0.755G + 0.464R$	
	최소	$Y = -27.317 + 0.238A - 0.004L + 0.266G + 0.267R$	
	평균	$Y = -45.892 + 0.371A + 0.0111L + 0.597G + 0.416R$	
1.0	최대	$Y = -36.73 + 0.390A - 0.0178L + 0.496G + 0.247R$	
	최소	$Y = -15.85 + 0.153A - 0.0019L + 0.197G + 0.131R$	
	평균	$Y = -28.91 + 0.277A - 0.0056L + 0.357G + 0.223R$	
2.0	최대	$Y = -19.22 + 0.318A + 0.0005L + 0.217G + 0.065R$	
	최소	$Y = -7.84 + 0.104A - 0.0006L + 0.094G + 0.0467R$	
	평균	$Y = -12.46 + 0.182A - 0.0011L + 0.152G + 0.056R$	

(주) 표에서 A=태양고도(°), L=태양방위각(°), G=루버각도(°), R=루버반사율(%)

4. 노모그래프 개발

도출된 회귀식을 이용하여 개발된 천창형 아트리움의 채광성능 예측용 노모그래프는 천공상태, 광정지수 및 계절과 루버조건 따라 모두 12그룹(담천공 3그룹, 청천공 9 그룹)으로 구성되었다.

각 그룹은 루버의 반사율에 따라 60(%)~80(%)까지 5(%) 간격으로 5개의 노모그래프로 구성된다. <그림 8>은 춘추분시 청천공에서 광정지수 1.0인 가동형 루버가 부착된 천창형 아트리움의 채광성능 예측용 노모그래프의 예를 나타내고 있다.

제시된 노모그래프는 루버반사율 60%와 70%인 경우의 천창형 아트리움의 루버각도에 따른 채광성능을 예측할 수 있다. 노모그래프의 사용방법은 다음과 같다.

- ① 실험태에 따른 천창형 아트리움 광정지수를 구한다.
- ② 천공상태와 광정지수 에 따라 적절한 노모그래프를 선정한다.
- ③ 루버의 반사율을 선정한다.
- ④ 예측하고자 하는 시간의 태양방위각을 구한다.
- ⑤ 루버각도에 따른 아트리움의 채광성능을 최대, 최소 그리고 평균 주광조도를 예측한다.
- ⑥ 필요시 외부 수평면 주광조도를 예측한다.

5. 노모그래프 검증

개발된 노모그래프의 유효성을 검증하기 위하여 앞에서 선정된 아트리움 평가모델을 기초로 광정지수 1.0인 축소모형을 제작하였다(그림 4). 축소모형은 1/25 스케일로 제작되었고 자연광 조절장치로 루버각도 30°, 50°, 그리고 70°인 천창형 루버를 사용하였다.

축소모형은 폼포트를 사용하여 제작하였으며 외부의 빛이 새어들지 않도록 처리하였다. 또한, 아트리움 내벽의 창은 1mm의 투명 아크릴판을 사용하였고 검은 스프레이로 처리하여 인접공간으로 유입된 빛이 아트리움 내부로 반사되지 않도록 제작하였다.

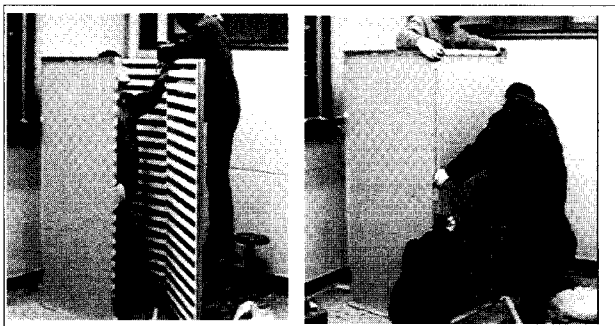


그림 4. 축소모형의 제작

축소모형 실험을 위한 측정기구는 반사율 측정을 위해 Topcon BM-8 휘도계를 그리고 실내 조도측정을 위해서

는 Architectural Model Daylight Factor Meter 2대를 사용하였다. 또한, 외부조도의 측정을 위하여 Topcon IM-5 조도계를 사용하였다<그림 5>.

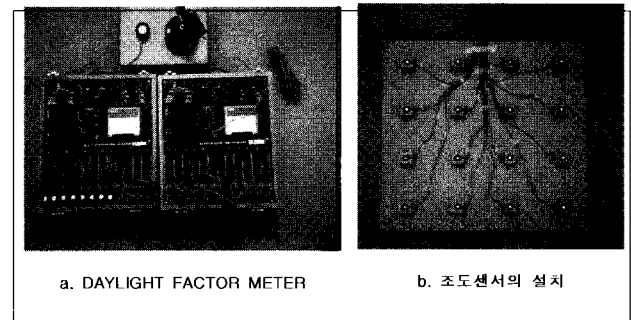


그림 5. 축소모형 실험기기

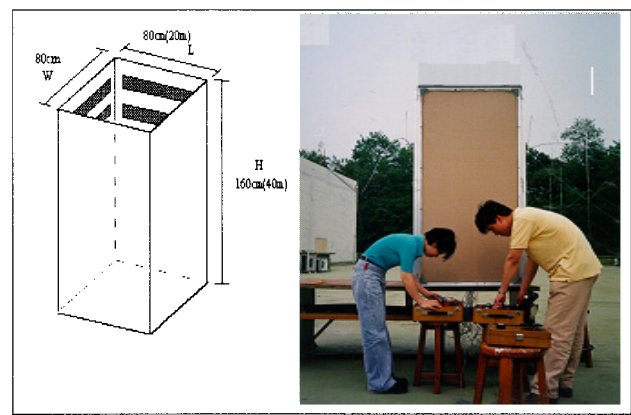


그림 6. 축소모형 실험

축소모형 실험은 외부방해물의 영향이 없는 K대학교 옥상에서 2002년 9월 9일부터 16일 까지 춘추분 오후 1시를 기준으로 청천공에서 실시하였다<그림 6>. 이 때, 실험기간 동안의 외부 수평면조도는 69,000(룩스)~74,000(룩스)로 측정되었다<그림 7>.

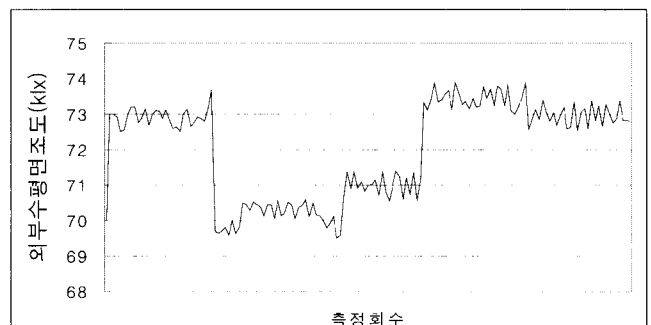


그림 7. 외부 수평면조도

노모그래프에 의한 루버를 지닌 천창형 아트리움의 채광성능 예측결과와 같은 조건에서 실시된 축소모형 실험에 의한 측정결과를 비교하여 개발된 노모그래프의 유효성을 검증하였다<그림 9>.

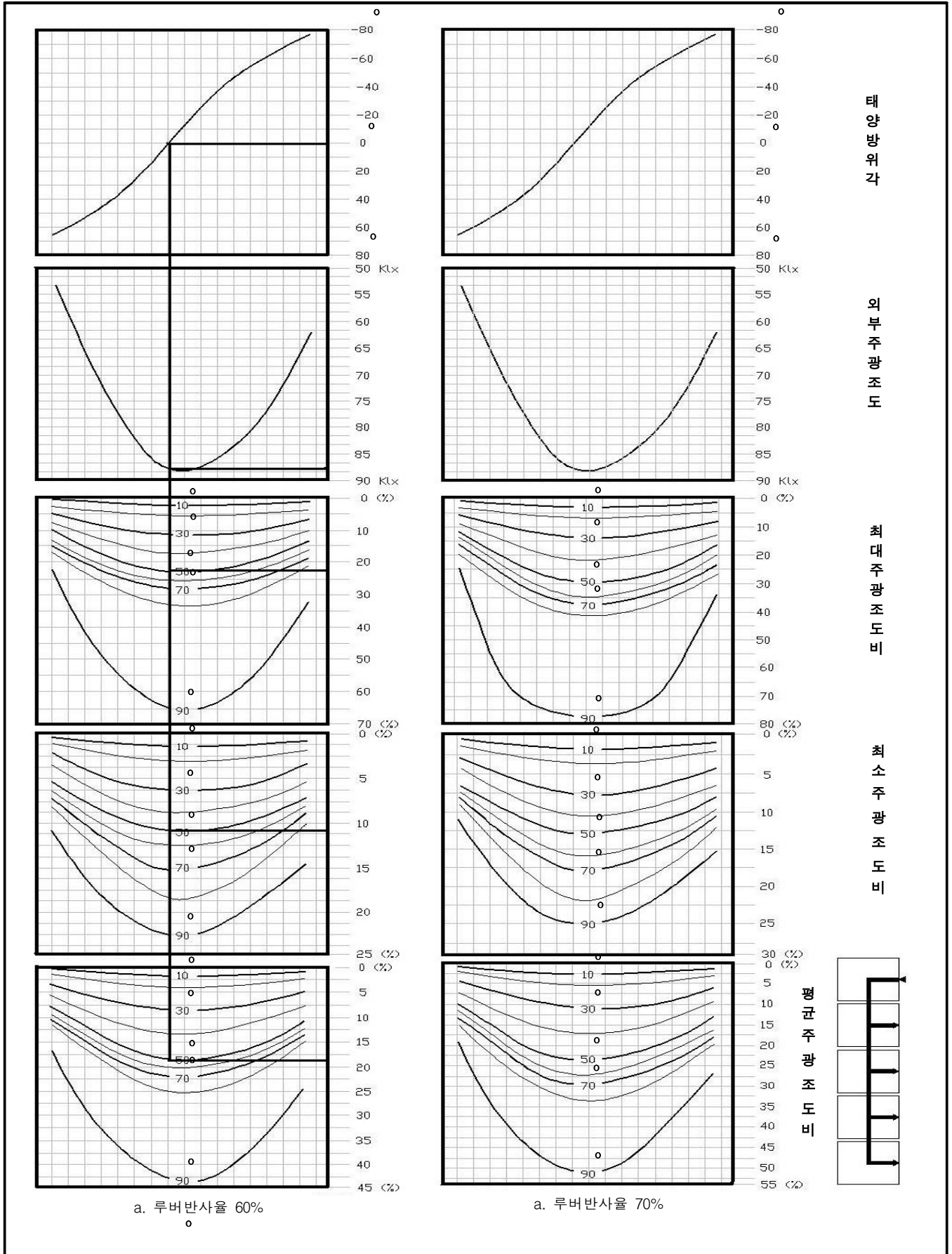


그림 8. 노모그래프의 예 (광정지수1.0, 춘추분)

연구결과, 노모그래프에 의한 예측결과가 축소모형 실험결과 보다 채광성능이 약간 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한, 두 측정값 사이의 오차는 루버각도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

개발된 노모그래프의 예측값과 축소모형 측정값사이에는 최대 주광조도비는 5.6~11.6(%), 최소 주광조도비는 3.9~7.3(%), 그리고 평균 주광조도비는 4.5~9.4(%의 오차가 있는 것으로 분석되었다.

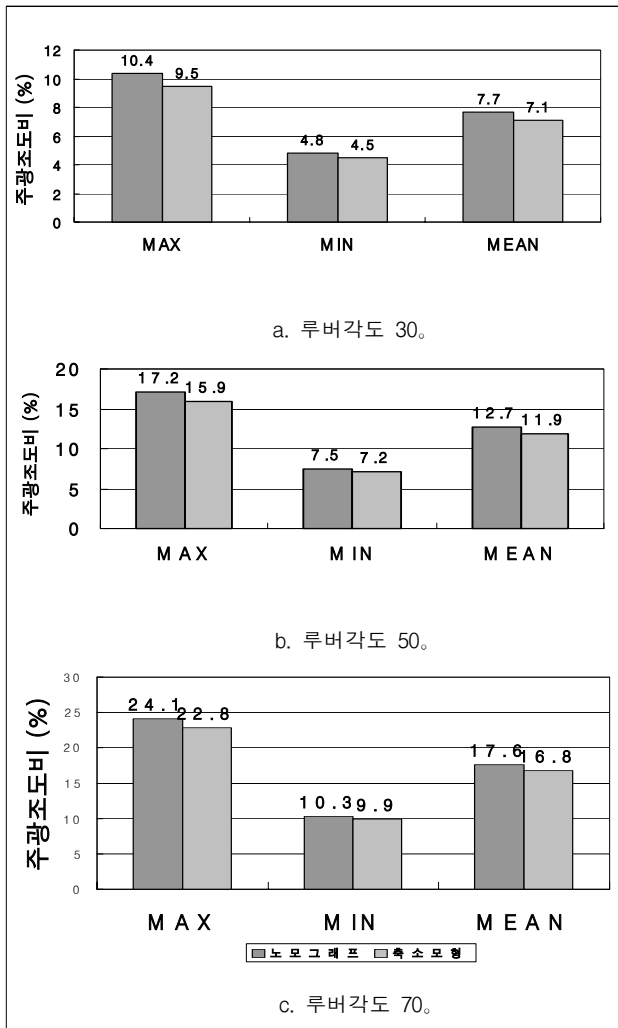


그림 9. 노모그래프 및 축소모형 결과의 비교

6. 결론

본 연구는 천창형 아트리움의 자연채광 성능예측을 위한 노모그래프를 개발하고 그 유용성을 평가하였다. 개발된 노모그래프는 가동형 루버의 설치여부에 따른 아트리움의 채광성능으로 최대, 최소 및 평균 주광조도비를 간단히 예측할 수 있다.

노모그래프에 의해 예측된 채광성능과 축소모형 실험결과를 비교하여 개발된 노모그래프의 유용성을 검증하였다. 분석결과, 노모그래프에 의한 예측이 약간 높은 채

광성능을 나타내며 차이는 루버각도가 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다.

노모그래프에 의한 예측결과와 축소모형 실험결과 사이의 오차는 최소 3.9%에서 최대 11.6%로 분석되었다. 자연채광의 차이를 인식하는 능력은 크지 못하므로 본 연구에서 개발된 노모그래프는 아트리움의 채광성능을 예측하기 위한 평가도구로 유효한 것으로 판단된다.

그러므로, 개발된 노모그래프는 설계초기 단계에서 디자인이냐 천창형 아트리움의 채광특성을 예측하고 가동형 루버의 적용 가능성을 손쉽게 평가할 수 있는 평가도구로 판단된다. 이를 통해, 아트리움의 활성화와 쾌적한 시환경 조성이 기대된다.

그러나, 본 연구에서 개발된 노모그래프를 사용하기 위해서는 천창의 투과율 등 연구에서 고려되지 못한 변수의 변화에 따른 보정이 필요하다. 또한, 앞으로 루버 이외의 다양한 다른 조절방식에 따른 채광성능 예측도구의 지속적인 개발이 요구된다.

7. 후기

이 논문은 과학기술부 국가지정연구실사업(과제번호 M1-0104-00-0272)의 연구비지원에 의한 연구결과물의 일부로 진행되었음.

참고문헌

- 김정태, 정유근, “태양광 제어방식에 따른 아트리움의 채광성능 평가”, 대한건축학회논문집, 제15권 제2호(통권131호), 1999. 09. pp. 125-130.
- 이석배, “건축설계를 위한 주광의 사용도에 관한 연구”, 전남대학교 박사학위논문, 1993.
- ADELIN 2.0 User’s Manual. Lawrence Berkely National Lab.(LBNL), 2001. 5.
- J. C. Wright and K. M. Letherman, “Illuminance in Atrium Buildings”, Review of prediction methods, International J. of Lighting Research & Tech., Vol. 30, No. 1, 2000.
- Jeong T. Kim, Yu G. Chung, “Utility of Scale Model Experiments for Evaluating Daylighting Performance”, 4th International Symposium on Architectural Interchange in Asia, pp. 660~663. 2002. 09.
- K. J. Lomas and J. Mardaljevic, “Advanced Daylighting Design in Atrium Buildings”, Proceeding 3rd European Conf., Florence in Italy, pp. 215~220, 1999. 6.
- R. J. Cole, “The effect of the Surface Closing Atria on the Daylight”, Building and Environment, Vol. 25, No. 1, pp. 37-42, 2000.