Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 18, No.1, pp. 36~43 January 2004 논문 18-1-6

실내 건축공간에 있어 수평채광덕트 시스템의 적용에 관한 실험적 연구

(An Experimental Study on the Application of Horizontal Daylight Duct System in Building Interior Space)

이성주* · 김회서
(Seong - Ju Lee · Hway - Suh Kim)

요 약

본 논문은 건축물에 적용할 수 있는 자연채광 시스템으로서 채광부 반사판과 방광부의 위치 및 크기 등을 개선한 수평형 채광덕트를 개발하고자 하였으며, 이에 따른 실물모형 실험을 통하여 채광성능을 분석하고 적용가능성을 검증하고자 하였다. 연구결과 채광덕트의 적용시 청천공 상태에서는 실내 안쪽에서 0.3~0.4%의 조도비가 측정되었다. 또한 덕트 폭보다 150[㎝] 이상 넓은 조도분포를 가지는 것으로 나타났으며, 채광성능이 높아 실제 건물에 적용할 경우 주간시간대에서 조명에너지 절약 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

Abstract

The purpose of this paper was development of modified horizontal daylight duct for reflector of light intake, location of outlet diffuser and size as applicable daylighting system for buildings and, verified applicable possibility base on analysis of daylighting performance through full-scale model test. Experimental result showed that ratio of illumination for light duct was measured 0.3~0.4% in interior of a room on clear sky. Also, light duct had wide distribution of illumination than duct about 150[cm] and was decided efficient lighting energy saving because of high daylight performance in case of application actual building during daytime.

Key words : Daylight, Daylighting System, Light Duct, Energy Saving

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

에너지는 경제발전에 있어 중요한 요소이며, 에너지의 보급 및 보존은 국가정책의 일환으로 중요시되어 왔다.

국내에서 소비되는 전체에너지 소비량 중에서 건물부분이 차지하는 비율은 1999년을 기준으로 약 23%에 달하고 있으며, 일반적으로 80% 이상을 건물의 운영 및 유지관리 단계에서 사용하는 것으로 나타나고 있다. 이중에서 20% 이상이 인공조명을 사용한 실내빛환경 조절을 위해 소비되는 에너지로 나타나고 있다.

조명에너지의 소비는 주택보다는 업무용 및 상업용 건물에서 대부분을 차지하고 있으며 이러한 건물

* 주저자 : 단국대학교 대학원 건축공학과 박사과정
Tel : 02-799-1083, Fax : 02-799-1154
E-mail : leesj@dankook.ac.kr
접수일자 : 2003년 12월 8일
1차심사 : 2003년 12월 10일
심사완료 : 2003년 12월 26일

은 이용시간대가 주간이므로 자연광을 이용한 조명 에너지의 절약 가능성은 매우 크다고 할 수 있다.

자연채광 시스템은 자연광의 이용이 어려운 건축 실내 공간에 태양광을 입사시킴으로써 전력에너지 중 조명부하 에너지의 절약과 친환경적인 실내환경을 조성할 수 있는 장치를 말하며, 종류로는 광섬유, 빛선반, 반사경, 그리고 채광덕트 방식 등이 있다.

그중 채광덕트 방식은 현재 국외의 경우 미국, 독일, 오스트리아, 영국, 일본 등의 외국을 중심으로 실용화되어 보급화가 이뤄지고 있으나 소규모 및 저층의 건물에 한해 적용하고 있어 한계를 가지고 있다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 중대규모 건축물에 적용할 수 있는 자연채광 시스템으로서 채광부 반사판과 방광부의 위치 및 크기 등을 개선한 수평형 채광덕트를 개발하고자 한다. 또한 실물모형 실험에 따른 채광성능 분석을 통하여 적용가능성을 검증하고자 하였다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

실물모형의 제작을 위해 모형실험과 이론고찰을 통해 크기와 형태를 제시하였으며, 채광성능을 높이기 위해 반사판을 제작, 설치하고, 실제 건물에 적용시 그 채광효과를 분석하고자 측창을 통한 자연광의 유입이 있도록 실험조건을 설정한 후 측정실험을 진행하였다.

실험을 위한 기본 조건에서 천공의 조건은 측정시마다 구분하였으며, 실내조도의 측정시 외부 전천공조도를 동시에 측정하고 이들 실험치의 백분율인 조도비를 산정하여 실험결과를 분석하였다. 실물모형은 서울시에 위치한 단국대학교 공학관(북위 37° 3′ , 동경 127°)의 608호에 설치되어 측정실험이 진행되었다.

2. 실물모형 제작을 위한 고찰

2.1. 수평채광덕트의 높이

수평채광덕트의 형태를 그림 1과 같이 하여 측창에 가까운 전송부는 상, 하, 좌, 우면을 반사재료를 사용함으로써 전송효율을 높이며, 실내 안쪽에서 덕트의 하면에 투과재료를 사용하여 채광이 이루어지도록 하였다.

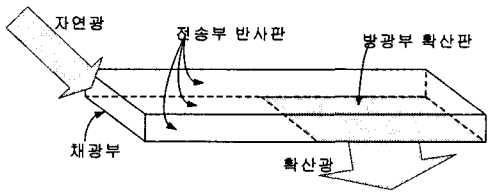

그림 1. 수평 채광덕트의 개념
Fig. 1. Concept of Horizontal Daylight Duct System

덕트의 형상비(높이 : 너비)는 1:1에 가까울수록 높은 전송효율을 보이기 때문에 덕트의 너비에 대한 높이를 크게 해 주는 것이 높은 채광효과를 가질 수 있다. 그러나 채광덕트의 적용 시 적절한 설계가 이루어지지 않으면 건축물의 층고가 높아지는 등 경제성에 문제를 가지게 될 수 있다.

그림 2에서 보는 것과 같이 사무용 건물의 일반적인 전반조명으로 사용되고 있는 형광등기구의 규격인 높이 20 [cm] (조명기구 및 안정기 포함)과 매입형 조명기구(높이 30cm)를 사용할 때의 높이를 고려하여 덕트의 높이를 결정하였다. 따라서 채광덕트의 설치에 따른 추가적인 층고의 변화는 없이 시스템의 적용이 가능하다 할 수 있다.

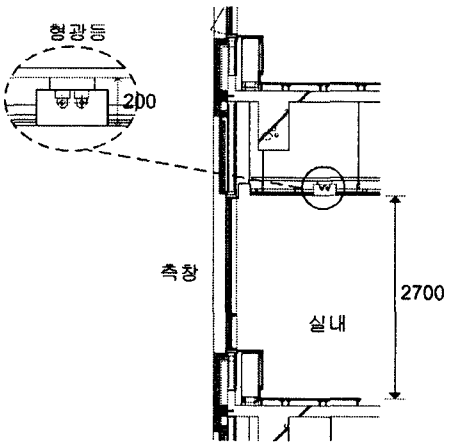

그림 2. 조명기구 높이(형광등)
Fig. 2. Height of lighting implement

사무용 건물에서의 일반적인 등기구 간격은 실내 빛환경 조건에 따라 차이는 있으나 0.9[m]~2.4[m] 이내 인 것으로 조사되었다. 그러므로 채광덕트의 너비는 조명기구 설치 간격 중 최소인 0.9[m]를 기준으로 하였으며, 이는 덕트의 너비가 넓을수록 많은 양의 자연광이 유입되므로 최소의 기준으로 연구하여 그 적용 가능성을 검증하고자 하였다.

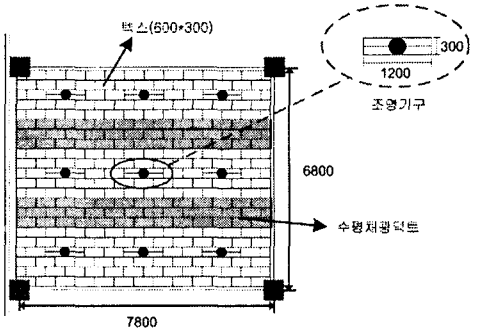

그림 3. 조명기구의 배치(천장에서의 배치도)
Fig. 3. Arrangement of lighting implements

2.2. 채광부 반사판의 제작

자연광의 유입 시에도 전송효율을 높이기 위해서는 수평채광덕트 내에서의 반사횟수를 최소로 하여 빛의 반사에 따른 전송효율의 감소를 줄여야 한다.

이를 위해 집광장치인 반사판의 각도와 크기 및 형태를 위해 적정한 설계가 필요하다.

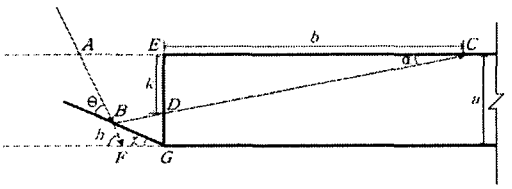

그림 4. 채광부 반사판의 설치각도
Fig. 4. Angle of reflector in light intake

태양고도를 h, 빛의 입사각을 θ, 반사판의 각도를 x, 채광덕트의 높이를 a, 반사판에 1차 반사한 빛이 도달할 덕트내부의 위치까지의 거리를 b 라고 하였을 때 반사판의 설치각도를 구하는 식은 다음과 같다. (단, 지면과 덕트는 평행하다고 가정한다.)

반사판의 설치 각도 x는

$$x = \frac{h - \tan^{-1}\frac{a}{b}}{2} \quad \text{..... (식 1)}$$

반사판의 설치 각도를 결정하기 위해 덕트의 높이는 30[cm]로 하였으며, 반사횟수를 줄이기 위해 덕트의 상부 반사면에서 만나는 빛이 도달하는 거리는 3[m]로 하여 계산하였다.

곡면형 반사판의 곡면은 본 실험이 진행되는 건물의 위치에서의 연중 태양고도를 고려하여 제작하였다. 태양의 고도를 30° ~ 65° 까지 5° 간격으로 나누어 제안한 식 1에 의해 반사판의 각도를 결정하였다. 이렇게 결정된 반사판의 각도를 적정규격에 맞게 조합하여 제작하였다.

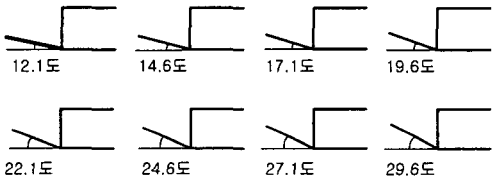

그림 5. 태양고도에 따른 반사판 각도
Fig. 5. Angle of reflector

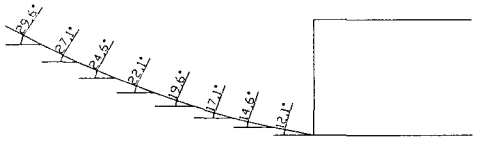

그림 6. 실물모형 반사판의 개념도
Fig. 6. Concept of reflector

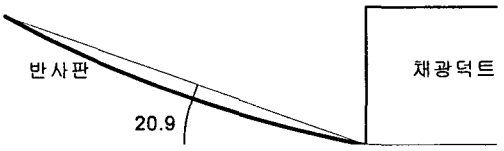

그림 7. 반사판의 각도
Fig. 7. Angle of reflector

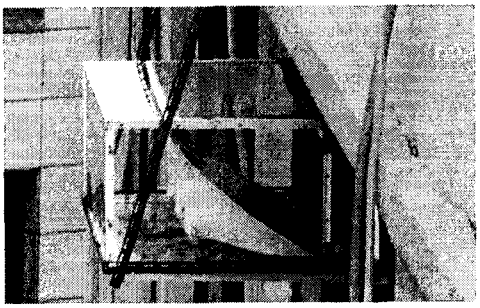

그림 8. 반사판 설치 사진
Fig. 8. Photograph of reflector

2.3. 채광덕트 시스템의 재료특성

자연채광 시스템에 이용되는 재료로는 반사재 및 투과재 등이 있으며, 이들 재료들에 요구되는 것은 고반사율, 고투과율과 내구성, 내열성 및 경제성 등을 들 수 있다.

반사재 중 은을 전기 도금한 반사재의 반사율이 가장 좋으나 경제성이 떨어지기 때문에, 본 연구에서는 아크릴 뒷면에 알루미늄을 증착시킨 미러아크릴(반사율 : 0.9)을 사용하였으며, 투과재는 가볍고 유지보수면에서 유리하며 비교적 투과율이 높은 페퍼아크릴(투과율 : 0.75)을 사용하였다.

3. 실물모형 실험방법 및 조건

3.1. 수평 채광덕트의 설치

실험실의 규격은 너비 4.5[m], 깊이 7.3[m], 층고 3.5[m]이며 천장마감이 없는 상태로 정남향을 향하고 있고, 창의 전체크기는 가로 4.0[m], 높이 2.1[m]이다.

수평채광덕트는 실내평면의 중앙부이면서 측창의 윗인방에 근접하게 설치하였으며 방광부의 확산판까지 바닥면에서의 높이는 약 2.4[m]로 하였다.

덕트의 높이는 30[cm]로 하여 제작하였으며 20[cm]의 높이로 변환이 가능하도록 제작하였다. 수평채광덕트의 전체 길이는 7.2[m]이고, 반사판의 설치 및 자연광의 유입을 위해 실외로 돌출 되어 실내에서의 길이는 6.9[m] 이었다.

반사판은 채광부에 설치하였으며, 빛환경 측면을 제외한 실외 자연환경의 영향이 덕트 내부와 실내에 직접적인 영향이 미치지 못하도록 보호막을 제작하여 부착하였다.

실험체는 7월 6일에 제작 및 설치가 완료되었다.

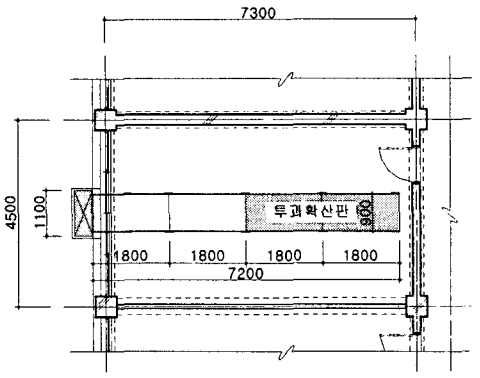

그림 9. 실험실의 평면도(단위 : ㎜)
Fig. 9. Plane of laboratory (unit:㎜)

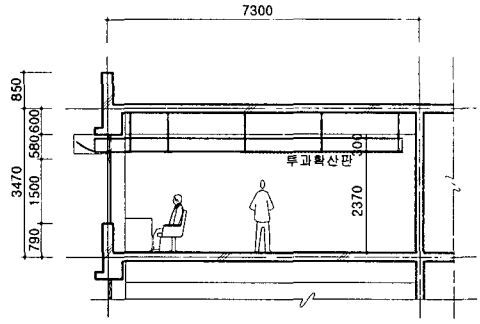

그림 10. 실험실의 단면도(단위 : ㎜)
Fig. 10. Section of laboratory (unit:㎜)

3.2. 실물모형실험 방법

실험실의 내부는 실험기자재 및 사무용 책상 등이 있으므로 바닥, 벽 등의 균일한 반사율을 유지하기 어려운 점이 있다. 그러나 설치 된 모든 가구 및 자재 등은 실험 시 같은 조건을 유지하도록 함으로써 여러 가지 실험 시 그 결과의 비교분석에 미치는 영향이 최소화 되도록 하였다.

측정실험은 오전 11시부터 오후 3시까지 한시간 간격으로 측정하였으며 실험결과 분석 시에는 태양고도와 방위각을 함께 표현하여 태양의 위치에 따른 채광성능을 알아보고자 하였다.

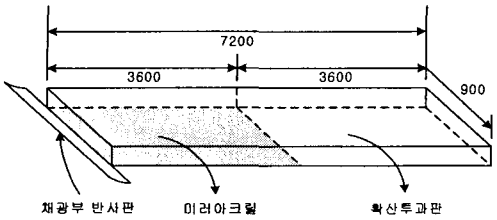

그림 11. 실물모형의 개념도
Fig. 11. Concept of full-scale model

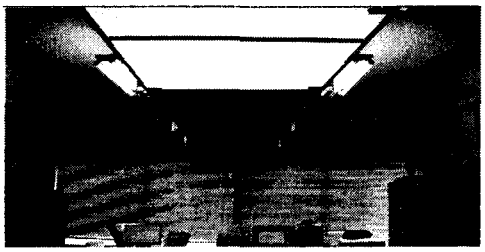

그림 12. 실물 실험체 및 실험실 사진
Fig. 12. Photograph of model in laboratory

실내에서의 측정점은 작업면 위치인 바닥면에서 75[cm] 높이로 설정하였고 그림 12와 같이 1[m] 간격을 두었다.

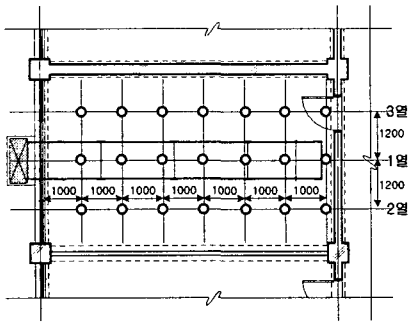

그림 13. 조도측정점 위치(평면도)
Fig. 13. Measured point of illuminance

방광부인 수평채광덕트의 확산판을 통해 빛의 유입이 없도록 덮개를 씌워 측정하였으며, 측정 후 곧바로 확산판의 덮개를 제거하여 채광덕트를 통한 자연광의 유입이 있는 상태에서의 측정실험을 진행하였다.

일반적인 사무공간에서는 측창에 블라인드와 같은 채광조절장치가 설치되어 있으므로 직사일광의 유입을 막고 적절한 시환경을 조성하고 있다.

따라서 본 실험에서는 그림 12와 같이 블라인드가 설치 된 조건에서 채광덕트의 유무에 따른 실험을 통해 실제 건물에 채광덕트가 적용되었을 경우 그 채광효과를 알아보고자 하였다. 다만 본 실험은 채광덕트 설치에 따른 자연채광의 효과에 대한 실험이기 때문에 블라인드의 각도 변화에 따른 자연채광의 해석을 제외하였다.

다음으로 수평채광덕트의 높이 변화에 따른 실험에서는 덕트 높이를 20[cm]와 30[cm]로 구분하여 측정실험을 하였다.

4. 실물모형 실험결과 및 분석

측정실험은 4회에 걸쳐 진행되었으며 실험실의 내부 상태를 동일하게 유지하여 실험조건의 변화를 최소화하여 측정실험을 진행하였다. 자연광은 시시각각 변화하므로 실험결과의 분석을 위해 외부전천공조도에 대한 실내조도의 백분율인 조도비로 산정하였다.

실험결과 조도비 분포에서 각각의 측정시간대에 따라 유사한 추세를 보이고 있으므로 본 결과 분석에서는 다음 그림들을 보여주고 있으나 결과 분석 내용은 전체 실험결과를 대상으로 하고 있다.

측정실험시의 외부 전천공조도는 평균적으로 약 100,000[lx]였으며 구름이 거의 없는 청천공의 상태였다.

4.1. 채광덕트 시스템 有無에 따른 실험결과

<측정시각 11시의 실험결과> 그림 14에 나타난 바와 같이 창부근에서는 실험조건의 영향을 크게 받고 있으나 실내 깊숙한 곳에서의 조도비 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

채광덕트가 없는 조건의 측정결과에서는 실내 안쪽으로 들어갈수록 조도비의 급격한 감소를 보이고 있다.

수평채광덕트가 설치된 조건의 실험결과에서는 측창의 조건 변화에 관계없이 약 0.3%에 가까운 조도비를 보이고 있다.

<측정시각 12시의 실험결과>에서는 그림 15에 나타난 바와 같이 측창과 가까운 부분의 조도비는 덕트의 유무에 별 차이 없이 비슷한 값을 보이고 있는 것으로 나타났으나, 실내 깊숙한 측정점인 5, 6, 7번 측정점에서는 채광덕트와 가까운 부분에서는 대체적으로 0.3~0.4% 의 조도비를 보이고 있다.

중앙부를 기준으로 좌우의 측정점에서 약간의 조도비 차이를 보이고 있으나 이는 실험실의 조건이 조건상 반사율 등에 의한 간접조도의 영향이 있기 때문인 것으로 판단되었다.

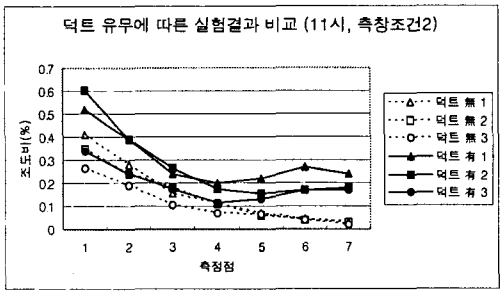

그림 14. 11시의 실험결과
(태양고도 40.7° , 방위각 19.7°)
Fig. 14. Experiment result on 11:00
(altitude 40.7° , azimuth 19.7°)

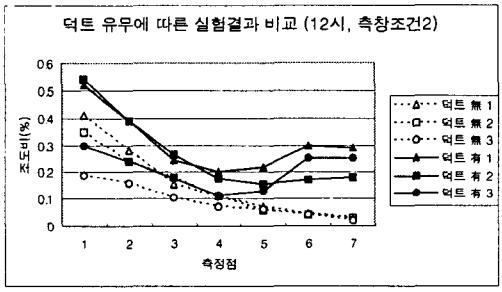

그림 15. 12시의 실험결과
(태양고도 42° , 방위각 0°)
Fig. 15. Experiment result on 12:00
(altitude 42° , azimuth 0°)

<측정시각 13시의 실험결과>에서 가장 높은 조도비가 얻어지고 있다.

중앙부의 측정점 1열과 좌측의 측정점 3열에서 매우 높은 조도비 분포가 얻어지고 있으나 우측의 측정점 2열에서는 상대적으로 낮은 조도비가 나타나고 있다.

이는 12시의 경우처럼 실내 마감재료의 반사율과 같은 실험실의 조건에 의한 영향보다는 방위각의 변화에 따른 빛의 방향성에 의해 조도비의 분포가 변한 것으로 판단되었다.

채광덕트의 영향을 받은 측정점은 주로 5열, 6열, 7열이며 대체적으로 5열보다는 뒤쪽의 6열과 7열에서 더욱 높은 조도비가 나타났다.

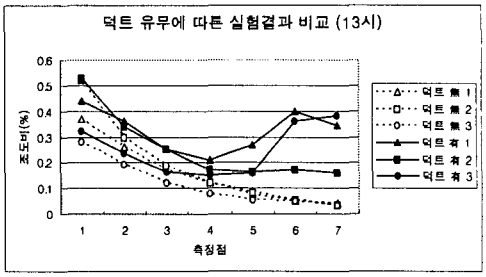

그림 16. 13시의 실험결과
(태양고도 40.7° , 방위각 -19.7°)
Fig. 16. Experiment result on 13:00
(altitude 40.7° , azimuth -19.7°)

<측정시각 14시의 실험결과> 앞의 실험인 11시부터 13시까지의 조도비에 비하여 낮은 조도비가 나타났다.

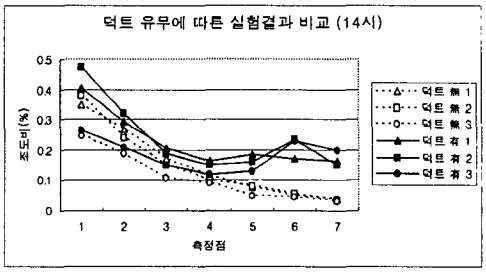

그림 17. 14시의 실험결과
(태양고도 35° , 방위각 -37°)
Fig. 17.Experiment result on 14:00
(altitude 35° , azimuth -37°)

조도비의 분포형태는 앞의 실험결과와 비슷한 형태를 보이고 있으나, 방위각의 변화에 따라 측창을

통한 빛의 유입량도 작아지고 있으며, 채광덕트를 통한 채광량도 작아져 전반적으로 낮은 조도비가 나타나고 있다.

채광덕트를 통한 자연광의 전송에서는 고도가 낮아지고 방위각이 커지므로 반사횟수가 많아져 실내에서의 조도비가 낮아지는 것으로 사료된다.

이상의 실험결과를 요약하면 11시부터 13시까지 시간대에서는 조도비가 0.3% 이상 측정되었으며, 채광덕트의 투과확산판의 중앙에서 좌우측으로 벗어날수록 조도비의 감소를 보이고 있으나, 1.2m 거리의 측정점까지 높은 조도비를 나타내고 있다.

4.2. 덕트높이 변화에 따른 실험결과

실험실에 설치된 수평채광덕트의 실물모형에서 덕트의 높이를 200[㎜]와 300[㎜]로 분류하여 비교실험을 4회에 걸쳐 진행하였으며, 실험결과는 다음 그림 18에서 보는 바와 같다.

자연광의 입사각도에 의해 채광덕트의 투과확산판과 가까운 1번과 2번 측정점에서는 비교적 낮은 조도비를 보이고 있으며, 투과확산판의 위치에서 최대 조도비가 나타났다.

높이가 200[㎜]인 채광덕트의 경우에서는 전송부내에서의 반사회수가 많고 각도가 작아짐으로 측정점 3번 뒤쪽으로 조도비의 증가가 이루어지지 않고 있다.

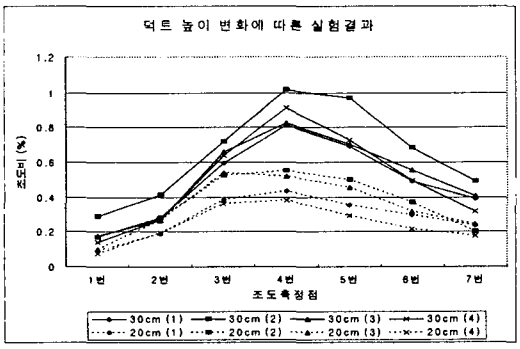

그림 18. 덕트높이에 높이에 따른 결과 비교
Fig. 18. Comparison of result by height of horizontal daylight duct

높이가 300[㎜]인 채광덕트의 실험결과에서는 4번 측정점에서 가장 높은 조도비 분포를 보이고 있으며, 200[㎜]의 실험결과에 비하여 높은 조도비를 보이고 있다.

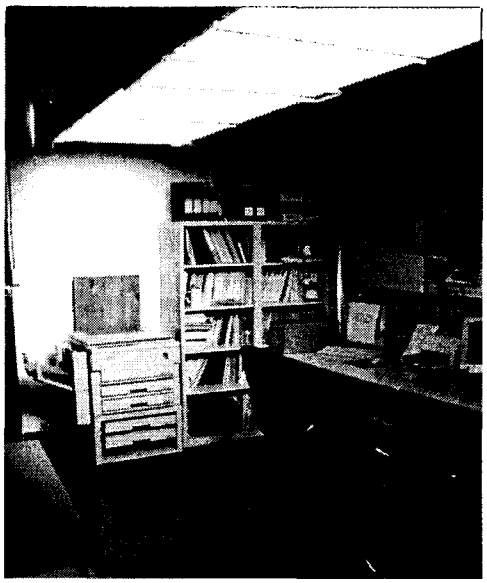

그림 19. 실험실내 사진 (채광덕트 적용)
Fig. 19. Photograph of interior laboratory

그림 19는 채광덕트 설치에 따른 자연채광 효과가 나타난 실험실의 사진이다.

사진촬영일시는 2003년 9월 23일 13시이었으며, 천공상태는 구름이 거의 없는 청천공상태로 외부 전천공조도는 약 98,000[lx]이었고 실내 작업면에서의 최대 조도 측정치는 1,100[lx]이었다.

5. 결 론

본 논문에서는 수평채광덕트의 채광부 반사판과 방광부의 투과확산판을 개선하고 실물모형 실험을 통해 채광성능을 분석함으로서 건축물에의 적용가능성을 검증하고자 하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 이론고찰에 따라 제작된 실물모형의 청천공상태에서의 실험결과, 자연광을 이용하고자 계획하였던 실내 깊숙한 안쪽에서 약 300~400[lx]의 조도

를 확보 할 수 있음을 확인하였다.

(2) 폭이 90[cm]인 채광덕트에 의한 실내 수평면 조도비 분포의 분석결과, 덕트의 중심으로부터 2.4[m] 범위 안에서는 약 300[lx]이상의 조도를 확보할 수 있었으므로, 덕트의 폭을 크게 설치할 경우 더 넓은 조도비 분포를 얻을 것으로 확인되었다.

(3) 채광덕트 높이 변화에 따른 실내조도비의 변화를 예측하기 위해 채광덕트의 높이를 실제 설치 가능한 30[cm]와 20[cm]에 대하여 조도비 분포를 검토한 결과, 최소덕트 높이 20[cm]의 경우에서도 400[lx]에 가까운 조도를 확보할 수 있었으며, 수평채광덕트 시스템의 적용가능성을 확인하였다.

이상의 연구결과 수평채광덕트의 설치 시, 주간 시간대에는 자연채광의 성능을 높여 실내 안쪽에서의 쾌적한 시환경을 조성할 수 있으며, 건축물 층고의 증가없이 적용가능하기 때문에 건물의 개, 보수 시 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 조명기구의 소등에 따른 조명에너지 및 조명기구 발열량 감소에 따른 냉방부하 등 건물의 유지관리 측면에서 건물 에너지를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구방향으로는 채광덕트의 다양한 크기를 적용한 실험이 따라야 하며, 수평채광덕트의 실제 적용을 위한 채광부와 방광부의 디자인에 대한 연구와, 채광시스템 설치에 따른 연중 실내인공조명 에너지 절감량 산정에 대한 연구를 통해 채광덕트의 경제성 분석이 이루어져야 한다.

References

[1] 김회서, 지하공간의 자연채광 시스템 개발, '94 연구개발사업 연차보고서, 건설교통부, 1995.
[2] 김회서 외 2인, 아트리움 인접사용공간에 있어 채광덕트 설치시 빛환경 예측에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14권 6호. 1998. 6.
[3] 서광범, 지하공간의 자연채광을 위한 광덕트 시스템의 설계에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교, 1996..
[4] 김정태 외 5인, 광 파이프 시스템의 채광성능 평가, 대한건축학회논문집 계획계, 17권 4호, 2001. 4.
[5] L. O. Beltran, E. S. Lee, S. E. Selkowitz, Advanced Optical Daylighting Systems: Light Shelves and Light Pipes, IESNA Annual Conference, 1996.
[6] 中谷 明男외 2인, 採光ダクトの建築空間への適用に關する研究, 日本照明學會誌 Vol. 65., NO.10., 1981. pp.34~38.
[7] Gilles Courret, Jean-Louis Scartezzini, David Francioli, Jean-Jacques Meyer, Design and assessment of an anidolic light-duct, Energy and Bulidings 28(1998) 79-99.
[8] A.A.Elimualim, S.Smith, S.B.Riffat, L.Shao, Evaluation of dichroic material for enhancing light pipe/natural ventilation and daylighting in an integrated system, Applied Energy 62(1999) 253-266.

이 연구는 2002학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

◇저자소개◇

이성주 (李聖周)
1970년 8월 3일생. 1996년 단국대 건축공학과 졸업. 1998년 단국대 건축공학과 공학석사 . 현재 단국대 대학원 건축공학과 박사과정수료

김회서 (金會瑞)
1953년 7월 27일생. 1979년 한양대 건축공학과 졸업. 1982년 일본 京都大學校 建築工學科 工學碩士
1986년 일본 京都大學校 建築工學科 工學博士
1987년 UC Berkeley Lawrence National Laboratory 근무, 1987~1988년 미국 Shimizu America Corporation 근무, 2001~2002년 미국 University of Southern California 객원교수, 1988~현재 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수.