

지하대공간에 있어 Perimeter Occupied Zone에 대한 채광덕트 시스템 개발에 관한 연구

(Study on Development of Light Duct System for Perimeter
Occupied Zone on Underground Space)

김희서* · 이성주**

(Hway-Suh Kim · Seong-Ju Lee)

요 약

지하공간에 있어 자연채광의 도입 효과는 쾌적한 실내 조명환경의 조성과 함께 인공조명 에너지 절감에 따른 실내조명 전력부하를 줄일 수 있을 것이다.

본 논문은 지하공간 Perimeter Occupied Zone(隣接使用空間)에 있어 자연채광 에너지의 적극적 활용을 목적으로 채광덕트 시스템의 이용가능성을 제시하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 실내면의 상오반사 특성을 고려한 수치해석 프로그램을 개발하였다.

Abstract

Using daylight in underground space may significantly reduce electric lighting load and give a visually comfortable environment.

This paper describes a fundamental study on light duct system to predict inter illuminance ratio on underground perimeter occupied zone level.

As a result, integral equation for inter-reflection program are developed and by using optimize light duct system can gives daylight on deep underground space.

1. 서론

급속한 경제사회의 발전과 더불어 인구 및 산업의 도시집중으로 특히 대도시에서는 활동요인에 비하여 공간부족이 심화되고, 개발 가능한 부지는 부족하여 토

지의 합리적 입체적 이용을 위하여 건축의 고층화 또는 지하공간의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.

특히 지하공간계획의 경우 무엇보다도 환기설비와 자연채광도입에 대한 문제가 무엇보다도 우선적으로 해결되어야 건축적으로도 그 실용성이 널리 보급되리라 생각된다. 지하공간 연구에 있어서는 자연채광덕트 시스템은 쾌적한 공간의 창출과 함께 실내 조명에너지 절약을 통한 사용 전력에너지의 절감 및 조명기구의 발열에 따른 냉방부하의 상승을 억제함으로써 에너지절약적인 장치로서의 효과를 기대 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 본 연구진에 의해 제시된 수

* 정회원 : 단국대학교 공학부 건축공학전공 교수, 공학박사

** 정회원 : 단국대학교 대학원 건축공학과 공학석사
접수일자 : 1999년 10월 12일

· 본 연구는 단국대학교 96년 대학연구비 지원에 의해 수행되었음

직덕트와 수평덕트를 연결한 최적 채광덕트 시스템에 의한 자연채광의 효과에 따른 실내 조도변화를 예측할 수 있도록 계산 프로그램을 개발하여 지하공간 계획 시 자연채광조명에 대한 기초적 자료를 확립하고자 하였다.[1, 2]

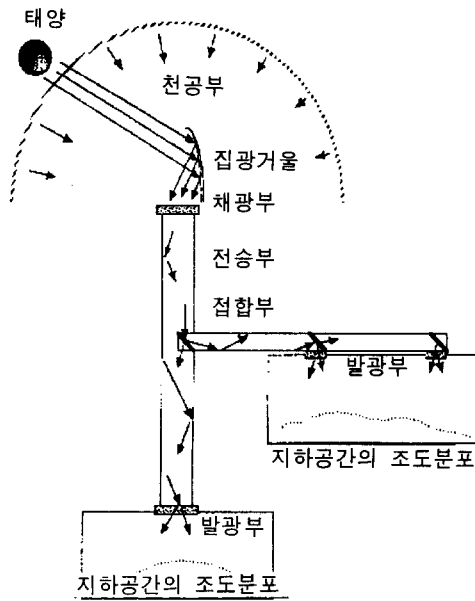


그림 1. 채광덕트시스템의 개념도
Fig. 1. Concept of Light Duct System

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 1차적으로 자연채광 덕트시스템을 통해 들어오는 자연광의 분포를 덕트의 형태에 따라 채광덕트의 바닥면(천장상부 확산아크릴 설치부분)에 입사되는 조도값을 실험을 통해 예측하였으며, 2차적으로 천장을 제외한 실내 각 면(바닥, 벽)에 대한 조도분포를 예측하여 실내 채광덕트 설치에 따른 자연채광도입의 가능성을 검토하였다.

연구방법으로는 우선 그림 3과 같이 실험 모형체를 제작하였으며 모형은 실제 사무실을 기준으로 9m×9m×2.7m의 1/10 스케일로 축소모형을 통해 수직형 덕트와 수평형덕트를 서로 연결한 채광덕트 시스템을 두었으며 천장면, 수평채광덕트면 광원에 의한 실내조도분포를 상오적분방정식을 통해 계산하였다.

모형실험은 단국대학교 천안캠퍼스 공학관 옥상에서 1999년 8월에 청천공 상태와 담천공 상태를 구분하여 진행하였으며, 조도측정장치는 내부조도 측정용인 Megatron Daylight Factor와 외부조도 측정용인 T-1 미놀타 조도계를 사용하였다.

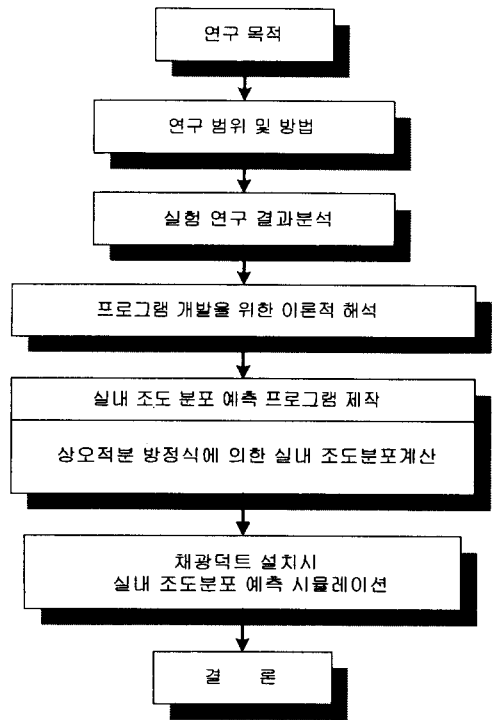


그림 2. 연구의 흐름도
Fig. 2. Flowchart

3. 축소모형 실험결과 및 분석

3.1 접합부 반사판 각도변화에 따른 덕트 바닥면 조도비

수직덕트와 수평덕트의 접합부 반사판의 각도를 변화시켜 채광덕트를 통해 유입되는 조도를 측정하기 위해 다음 그림 4와 같은 접합부를 설치하여 측정하였다. 측정시간대는 오전 10시부터 오후 3시까지로 1시간 간격으로 측정하여 비교하였다.

실험결과 대부분 각도를 45°로 하였을 경우가 높은 조도값과 지하공간 실내 측 깊숙이 태양광을 유입시킬 수 있는 것으로 나타났다.(그림 5, 그림 6. 참조)

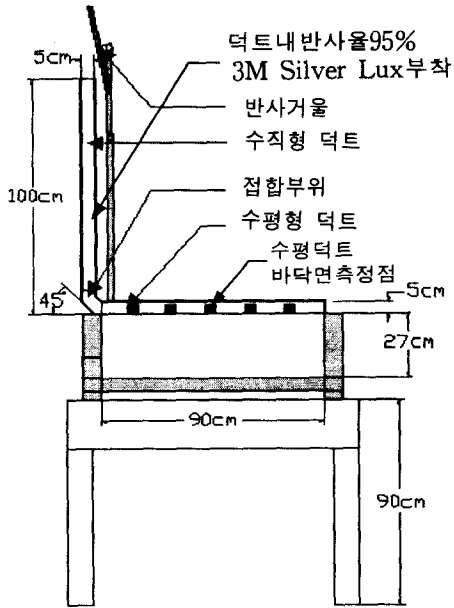


그림 3. 모형실험실 단면
Fig. 3. Section of Model

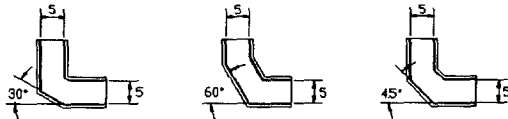


그림 4. 접합부 반사판 각도
Fig. 4. Angle of reflector in joint

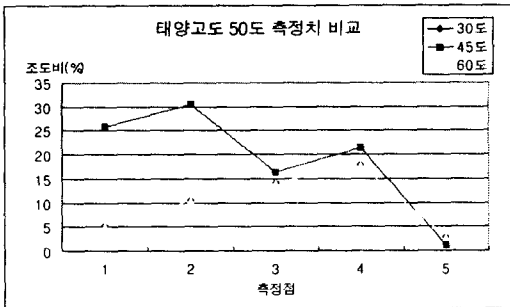


그림 5. 태양고도 변화에 따른 측정치
Fig. 5. Measurement of change of altitude

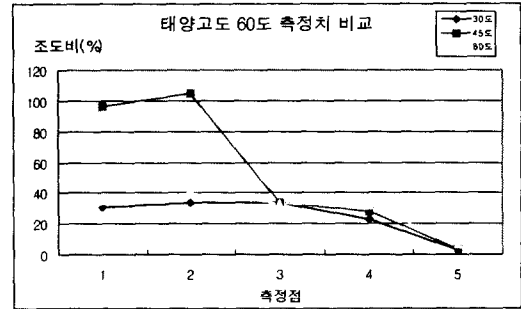


그림 6. 태양고도 변화에 따른 측정치
Fig. 6. Measurement of change of altitude

3.2 수평덕트 높이 변화에 따른 결과

그림 7.과 그림 8.은 태양 고도별에 따라 수직 덕트의 세로변 높이와 수평 덕트의 세로변 높이가 1 : 1일 경우 h, 수평덕트의 세로변 높이가 2배일 경우 2h로 하여 수평 바닥면의 측정위치 1에서 5까지(창쪽에서 10cm, 30cm, 50cm, 70cm, 90cm 거리)의 측정점에 대하여 조도측정 하였으며, 수직면 채광덕트 채광부로부터 들어오는 광원에 대해 수평 바닥면 덕트 부위의 조도를 백분율로 나타내었다.

이상의 실험에서 얻어진 조도 측정치를 실내 조도예측 프로그램의 입력 데이터로 이용하여 채광덕트의 설치시 지하공간 실내의 조도분포를 수치계산 하였다.

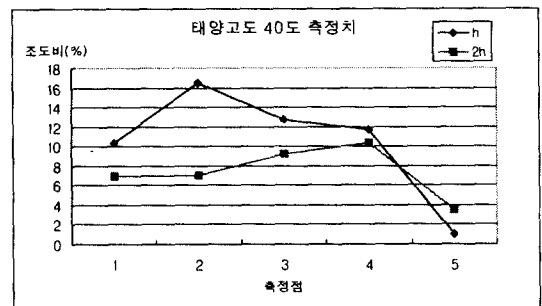


그림 7. 수평덕트 높이변화에 따른 측정치
Fig. 7. Measurement of change of height

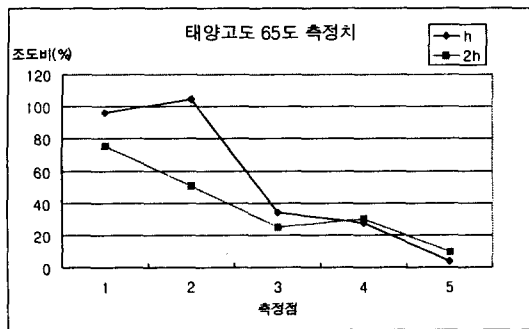
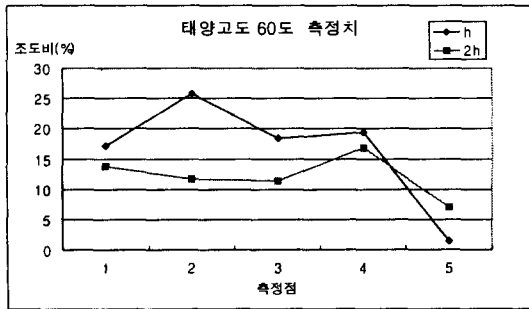
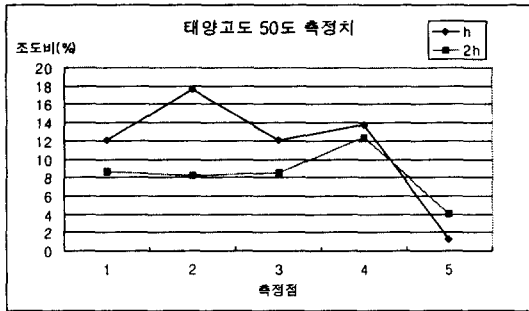


그림 8. 수평덕트 높이변화에 따른 측정치
Fig. 8. Measurement of change of height

3.3 수치계산에 따른 실내조도 분포의 예측치

직접조도의 계산은 천장면 광원에 의한 바닥 미소면에 대한 직접조도계산의 기본식을 사용했으며 상호반사에 의한 간접조도계산은 간접조도 주변으로부터 반복 반사되는 상호반사(inter-reflection)에 의한 조도를 계산하였다.

그림 9와 같이 완전확산 반사성으로 밀폐된 면내의

서로 마주보는 면위의 x, x' 점의 전조도를 $E(x)$, 직접조도를 $Ed(x)$, 간접조도를 $Er(x)$, 이때의 반사율 $\rho(x)$, x 점의 미소면적을 $ds(x)$, 전면적을 S 로 한다면 전조도 $E(x)$ 는

$$E(x) = Ed(x) + Er(x) \dots\dots\dots(\text{식 } 1)$$

이므로 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$E(x) = Ed(x) + \int_s E(x') \rho(x') e_o(x', x) ds(x') \dots\dots\dots(\text{식 } 2)$$

여기서 $e_o(x', x)$ 는 고유조도계수로서

$$e_o(x', x) = \frac{\cos \theta \cos i}{\pi r^2} \dots\dots\dots(\text{식 } 3)$$

계산조건으로서는 먼저 실내면을 5×5 등분한 미소면적으로 분할하여 수치계산프로그램에 의해 각각 미소면 중심선에 대한 조도비를 계산하였다.(그림 10참고)

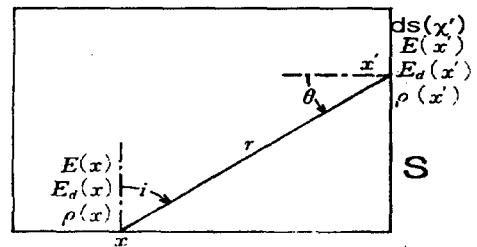


그림 9. 완전확산 반사면
Fig. 9. Uniformly diffusing specular surface

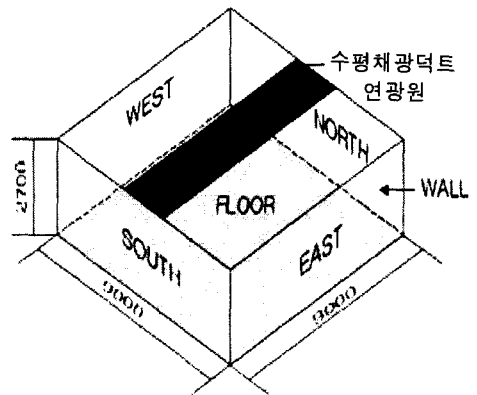


그림 10. 실내 각면과 수평 채광덕트와의 관계
Fig. 10. Relation the Horizontal Duct with indoor surfaces.

4. 시뮬레이션의 결과분석

실내 공간에 대하여 수치계산 결과 실험 측정에 의해 얻어진 수평채광덕트 바닥면 조도비를 기준으로 실내 각 면에 있어 상호적분방정식에 의해서 얻어진 조도값을 백분율로 나타낸 조도비로 표현하였다.

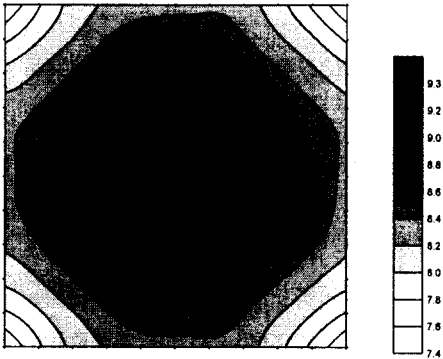


그림 11. 바닥면 조도비 분포
Fig. 11. A distribution chart of daylight factor on floor

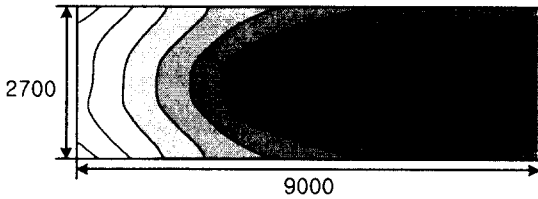


그림 12. 실내 서측벽면 조도비 분포
Fig. 12. A distribution chart of daylight factor on west surface

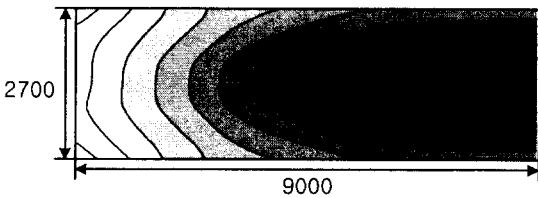


그림 13. 실내 동측벽면 조도비 분포
Fig. 13. A distribution chart of daylight factor on east surface

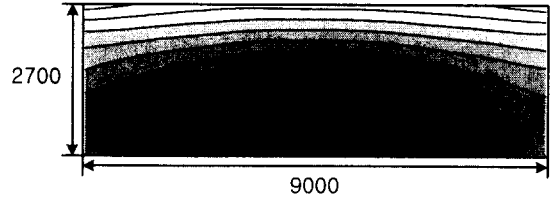


그림 14. 실내 북측벽면 조도비 분포
Fig. 14. A distribution chart of daylight factor on north surface

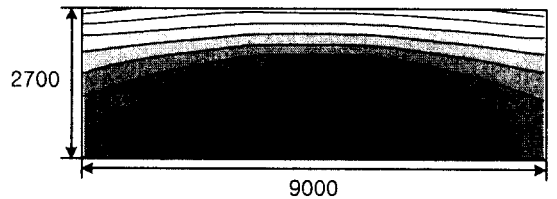
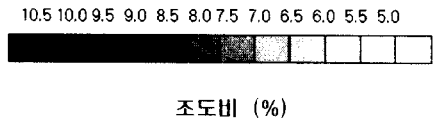


그림 15. 실내 남측벽면 조도비 분포
Fig. 15. A distribution chart of daylight factor on south surface



이상의 수치계산 결과 실의 중앙 부위와 실의 깊숙한 부분까지도 자연광의 유입이 가능할 수 있으며 그 결과를 통해 채광덕트 설치로 인해 필요 조도를 확보할 수 있는 가능성이 검증되었다.

5. 결론

본 연구는 최적 채광덕트에 의한 자연채광의 효과에 따른 실내 조도변화를 예측할 수 있는 프로그램을 개발하여 건축 계획시 지하공간의 자연채광 조명환경 계획에 따른 기초자료를 확립하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 발광부로부터의 수평면 조도값의 영향이 실내 각면에 있어 다소 변동은 있으나 대체적으로 충분한 조도분포를 얻을 수 있다.

둘째, 상호적분방정식의 수치해법을 이용하여 천창만을 통하여 유입되는 빛에 의한 조도를 예측할 수 있

지하대공간에 있어 Perimeter Occupied Zone에 대한 채광덕트 시스템 개발에 관한 연구

는 프로그램 개발과 함께 실내의 바닥면 및 4개의 벽면 및 천장면의 조도값을 예측할 수 있었다.

본 연구는 향후 일부 한정된 공간에서의 조도예측 뿐 아니라 다양한 모양의 공간에 대하여 채광덕트 시스템의 활용 가능성을 제시하도록 하며, 특히 조명 에너지 절감 예측을 위하여 인공조명 제어에 관한 종합 프로그램을 개발 하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김희서, 지하공간에 있어서 자연채광 이용을 위한 채광덕트시스템 개발에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 1996. 9.
- [2] 김희서, 오병길, 지하공간의 자연채광 시스템 개발에 따른 채광덕트시스템에 대한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 12권 11호, 1996.
- [3] 김희서, 이성주, 최인창, 아트리움 인접사용공간에 있어 채광덕트 설치시 빛환경 예측에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14권 6호, 1998.
- [4] 김희서, 가동 Louver Blind 사용에 따른 실내조도 예측방법, 91춘계 태양에너지학술 발표회, 1991.
- [5] 김희서, 서정호, 상업용 건물의 자연채광용 반사재료에 대한 광학적 특성에 관한 연구, 태양에너지학회 Vol 11 No 2, 1991.
- [6] 김희서, 최인창, 서정호, Atrium Building의 자연채광 특성에 관한 기초적 연구, 태양에너지학회지 Vol 12 No 3, 1992.
- [7] 자연채광을 이용한 에너지 성능향상에 관한 연구, 한국건축기술연구원, 1989.

- [8] 松浦邦男, 建築照明, 共立出版株式會社, 1971.
- [9] 中谷明男, 採光 ダクトの研究, 照明學會誌, 第 65卷 第 10號, 1981.
- [10] John Carmody & Raymond Sterling, Underground Building Design, 1993.
- [11] Donald Watson, Faia, The Energy Design Handbook, AIA, 1995.
- [12] Raymond L. Sterling, John Carmody, Underground Space Design, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.
- [13] William M. C. Lam, Sunlighting as Formgiver for Architecture, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.

◇ 저자소개 ◇

김 회 서 (金會瑞)

1953년 7월 27일생. 1979년 한양대 건축공학과 졸. 1982년 일본 경도 대학교 건축공학과 석사과정 졸(석사). 1986년 일본 경도 대학교 건축공학과 박사과정 졸(박사). 현재 단국대 공학부 건축전공 교수

이 성 주 (李聖周)

1970년 6월 3일생. 1996년 단국대 건축공학과 졸. 1998년 단국대 대학원 건축공학과 졸(석사). 현재 단국대 대학원 건축공학과 재학중(박사과정).