

## 要 旨

최근 들어 도심지의 토지 이용율을 극대화시키기 위해 지하공간의 이용에 관한 관심이 고조되고 있다. 지하공간은 지상공간에 비해 환경적인 측면에서 몇 가지 유리한 점을 갖고 있다. 즉, 열적인 측면에서 볼 때 지상공간에 비해 계절적으로 변동이 적고 음향적인 측면에서 볼 때 외부 소음 등의 영향을 거의 받지 않는다. 그러나, 지하공간이 지상공간보다 불리한 점은, 지상 건축물과 달리 자연채광의 이용이 어렵다는 점이다. 따라서 적절한 자연광 유입구가 설치되지 않는 한 연중 대부분의 건물의 사용 시간 중에는 인공조명에 의존하게 되므로 전기에너지의 사용량이 매우 커질 뿐 아니라 조명기구에서 발생하는 열을 제거하기 위한 냉방 에너지 또한 커지게 되므로 공간의 쾌적 환경 유지비가 커지게 될 우려가 있다.

선진 외국의 경우 지하공간 또는 실 폭이 깊은 고층건물에 광덕트를 설치하여 외부의 태양광과 주광을 실내의 깊은 곳과 지하공간의 거주 부분에 공급하려는 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 우리 나라의 경우 지하공간의 환경 조절에 관한 연구 수준이 초보적인 단계이고 각종 건축 환경 요소(빛, 열, 음, 공기)의 적절한 제어를 위한 설계 지침이 마련되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 지하공간의 거주자들의 시작업 성과 심리적 쾌적성을 증대시키기 위한 자연채광용 광덕트 시스템의 설계 지침을 마련하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션과 모형 실험을 통해 지하공간의 지상으로부터의 깊이와 넓이가 주어질 경우 공간의 일부 또는 전체를 자연채광에 의해 조명하기 위한 광덕트 시스템을 평가할 수 있는 도구를 개발하였다. 본 연구의 수행 결과로 지하공간 설계자가 설계 초기 단계에서 사용할 수 있는 컴퓨터 모델과 적절한 광덕트 시스템의 제원을 결정할 수 있는 표와 그래프를 제안하였다.

본 논문은 제 1장의 서론, 제 2장 ~ 제 6장의 본론, 제 7장의 결론으로 구성되어 있으며 각 장의 개요는 다음과 같다.

제 1 장에서는 연구의 배경 및 목적, 범위 및 방법에 대하여 기술하였다.

제 2 장에서는 본 연구의 이론적 배경으로서 자연채광 시스템, 자연채광에 의한 실내 조도 예측법, 그리고 주광의 발광효율에 대하여 기술하였다.

제 3 장에서는 수직장방향 광덕트의 광속 전달을 예측 프로그램의 구성 및 계산법에 대하여 기술하였다.

제 4 장에서는 축소 모형 실험을 통해 얻은 데이터로서 제 3 장에서 작성한 수치 모델을 검토한 방법 및 결과에 대해 기술하였다. 검토한 결과로서 광속전달을 계산의 95% 이상의 정확성과 계산 속도의 효율성을 고려한 그리드요소의 수를 제시하였다.

제 5 장에서는 수직장방향 광덕트를 설치한 지하 실내공간 내 임의의 점에서의 조도를 예측하는 도구를 개발하기 위하여 수행한 축소 모형 실험의 방법과 결과에 대해 기술하였다.

제 6 장에서는 발광효율을 이용하여 작성한 외부 조도 데이터 베이스를 이용하여 수행한 시뮬레이션 방법 및 결과와 시뮬레이션의 결과로 얻은 설계도구의 적용에 대해 기술하였다.

제 7 장에서는 본 논문의 결론에 대하여 기술하였다.

본 연구에서 도출된 결론을 요약하면 다음과 같다.

- [1] 태양의 위치(고도 및 방위각)와 광덕트 제원의 상관관계를 나타내는 기하학적인 방법을 이용하여 직사일광과 확산천공광을 정확하게 고려하는 수직장방향 광덕트의 광속전달율을 예측하는 수치 모델을 개발하였다.
- [2] 다양한 천공 상태와 광덕트의 제원 및 반사율에 대하여 수치 모델의 계산 결과와 축소 모형 실험의 측정 결과를 비교하여 그 정확성을 검토하였다. 검토한 결과 담천공 상태와 청천공 상태에서 태양이 남중하 12 시의 경우에는 너비 및 길이 방향의 그리드요소 수의 증가는 계산 결과의 정확성에 영향을 미치지 않았으며 계산 시간은 상당한 증가를 보였다. 그러나, 높이 방향의 그리드요소 수의 증가는 오차율을  $\pm 5\%$  이하로 감소시켰다. 반면 청천공 상태에서 태양이 남중하지 않은 상태에서는 높이 방향의 그리드요소 수의 증가는 물론, 너비 및 길이 방향의 그리드요소 수의 증가는 오차율을  $\pm 5\%$  이하로 감소시켰다. 따라서, 담천공 상태와 청천공 상태 중에서 태양이 남중하는 12 시의 조건에서는 너비와 길이

방향의 그리드요소 수를 1로 설정하고 높이 방향의 최적 그리드요소의 수를 설정하는 것이 계산 결과의 정확성을 증가시키고 계산 시간면에서도 효율적인 것으로 판명되었다.

- [3] 광속전달법(Luminous Flux Transfer Method)을 적용하여 수직장방형 광덕트에서의 광속전달율을 계산할 경우 계산의 정확성과 계산 시간의 단축을 동시에 고려한 최적 그리드요소의 수를 다양한 천공 상태와 광덕트의 제원에 대해 제시하였다(표 4.5, 4.6 참조).
- [4] 축소 모형 실험을 통해 확산면을 갖는 수직장방형 광덕트를 설치한 지하공간에서 실내 공간의 직접성분 및 간접성분을 계산할 수 있는 그래프(제 6 장 및 부록 참조)를 제시하였다.
- [5] 시뮬레이션을 통해 확산면을 갖는 수직장방형 광덕트를 설치한 지하공간에서 자연채광 효과를 예측 및 평가할 수 있는 설계도구로서 수직장방형 광덕트의 광속전달율을 나타내는 그래프(제 6 장 및 부록 참조)를 제시하였다. 또한 수직장방형 광덕트를 설치한 지하공간 내에서 작업면 조도를 계산할 수 있는 수식을 제시하였다(식 6.3).

# 내 용 목 차

<b>제 1 장 서 론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 필요성 .....	1
1.2 연구의 목적 .....	3
1.3 연구의 범위 및 방법 .....	3
<b>제 2 장 문헌 및 기본이론의 고찰</b> .....	<b>7</b>
2.1 자연채광 시스템 .....	7
2.1.1 지하공간을 위한 광덕트 시스템 .....	9
2.2 자연채광에 의한 실내 조도 예측법 .....	9
2.2.1 계산법 .....	9
2.2.2 모형실험법 .....	17
2.3 주광의 발광효율 .....	19
2.3.1 개요 .....	19
2.3.2 발광효율의 기본 개념 .....	20
2.3.3 기존의 연구결과 .....	20
2.3.4 宿谷昌則, 木村建一의 연구 .....	24
<b>제 3 장 수직장방형 광덕트의 광속전달율 예측 수치 모델 작성</b> .....	<b>27</b>
3.1 수치 모델의 개요 .....	27

3.2	광덕트 내면에서의 상호반사성분에 의한 조도 계산.....	30
3.2.1	직사일광에 의한 광덕트 내면 그리드요소의 초기 조도.....	30
3.2.2	확산천공광에 의한 광덕트 내면 그리드요소의 초기 조도.....	39
3.2.3	그리드요소 상호간에 전달된 광속.....	40
3.2.4	상호반사성분에 의한 바닥면 계산점에서의 조도.....	41
3.3	광덕트 내면에서의 직접 성분에 의한 조도 계산.....	41
3.3.1	직사일광에 의한 바닥면 계산점에서의 조도.....	41
3.3.2	확산천공광에 의한 바닥면 계산점에서의 조도.....	42
3.3.3	직접성분에 의한 바닥면 계산점에서의 조도.....	42
3.4	광덕트 바닥면 계산점에서의 최종 조도 및 광속전달율의 계산.....	42
3.4.1	광덕트 바닥면 계산점에서의 최종 조도.....	42
3.4.2	광덕트 하부 출력 광속 및 광속전달율.....	42
<b>제 4 장 축소 모형 실험을 통한 수치 모델의 타당성 검증.....</b>		<b>44</b>
4.1	축소 모형 실험 개요.....	44
4.1.1	실험 개요.....	44
4.1.2	광덕트의 광속전달율에 영향을 미치는 주요 변수.....	44
4.1.3	축소 모형의 제작.....	45
4.1.4	측정기기 및 측정 방법.....	49
4.2	컴퓨터 모델의 정확성 및 적용 한계에 대한 검토.....	53
4.2.1	담천공 상태.....	53
4.2.2	청천공 상태.....	59
4.3	소결(小結).....	69
4.3.1	담천공 상태일 때.....	69
4.3.2	청천공 상태일 때.....	70

<b>제 5 장 광덕트를 설치한 지하공간 내의 조도.....</b>	<b>71</b>
5.1 수직장방향 광덕트를 갖는 지하공간 내의 조도.....	71
5.2 실험 결과 및 고찰.....	75
5.2.1 광덕트의 광정지수(WI)와 광덕트 하부의 조도에 대한 실내 공간의 작업면 조도의 비 .....	75
5.2.2 실내 공간의 실지수(RI) 와 광덕트 하부의 조도에 대한 실내 공간의 작업면 조도의 비 .....	77
5.2.3 실내 공간의 실지수(RI) 와 직접성분 및 간접성분 .....	78
<b>제 6 장 지하공간내 자연채광 조도 시뮬레이션 및 설계도구의 개발 .....</b>	<b>80</b>
6.1 시뮬레이션의 개요.....	80
6.2 연간 시간별 외부 수평면 조도 데이터 베이스의 작성.....	80
6.3 지하공간의 자연채광용 광덕트의 설계도구 개발.....	81
6.4 설계도구의 적용.....	84
6.4.1 적용 조건 .....	84
6.4.2 적용 결과.....	84
<b>제 7 장 결 론 .....</b>	<b>86</b>
7.1 결론.....	86
7.2 본 연구의 한계 및 앞으로의 연구과제.....	87
<b>참고문헌 .....</b>	<b>89</b>

부록 1: 수직장방향 광덕트의 광속전달율 .....	91
부록 2: 수직장방향 광덕트를 갖는 지하공간 내의 조도 .....	101
ABSTRACT .....	114

## 표 목 차

<표 2.1> 설비형 자연채광 시스템의 종류.....	8
<표 2.2> 직달 일사의 발광효율의 값.....	21
<표 2.3> 확산천공 일사의 발광효율의 값.....	22
<표 2.4> 직달 일사+확산천공 일사의 발광효율의 값.....	23
<표 2.5> 담천공 확산 일사의 발광효율의 값.....	24
<표 2.6> 태양고도별 실험상수.....	26
<표 2.7> 전천일사의 발광효율[ $lm/W$ ].....	26
<표 2.8> 직달성분의 발광효율[ $lm/W$ ].....	26
<표 2.9> 천공성분의 발광효율[ $lm/W$ ].....	26
<표 4.1> 광덕트 모형.....	46
<표 4.2> 측정기기.....	49
<표 4.3> 담천공 및 청천공 상태에서의 측정 순서.....	50
<표 4.4> 축소 모형 실험에 사용된 조도계 상수의 계산.....	52
<표 4.5> 담천공 상태에서의 최적 그리드요소의 수.....	59
<표 4.6> 청천공 상태에서의 최적 그리드요소의 수.....	59
<표 5.1> 실내 공간 모형의 제원.....	72
<표 6.1> 서울지방 외부 수평면 조도 데이터.....	81
<표 6.2> 설계도구의 적용 결과.....	85



# 그 립 목 차

[그림 1.1] 광덕트 시스템의 개념.....	5
[그림 1.2] 본 연구의 흐름도.....	6
[그림 2.1] Form Factor 계산을 위한 수직한 두 면의 기하학적 형상.....	13
[그림 2.2] Form Factor 계산을 위한 평행한 두 면의 기하학적 형상.....	14
[그림 2.3] Configuration Factor 계산을 위한 수직한 두 면의 기하학적 형상.....	15
[그림 2.4] Configuration Factor 계산을 위한 평행한 두 면의 기하학적 형상.....	16
[그림 2.5] 인공 천공.....	18
[그림 2.6] 일사량 데이터로부터 조도 데이터를 추정하는 방법.....	20
[그림 3.1] 수치 모델 개요.....	28
[그림 3.2] 수치 모델 흐름도.....	19
[그림 3.3] 직사일광이 입사하는 광덕트의 단면.....	30
[그림 3.4] 변화하는 태양 고도 및 방위각에 따라 광덕트 내면에 빛이 들어오는 형 상.....	31
[그림 3.5] 수직면과 바닥면에 동시에 직사일광이 들어오는 광덕트 모습.....	33
[그림 3.6] 광덕트 표면에 설정한 그리드요소.....	36
[그림 3.7] 직사일광에 노출된 단위 그리드요소의 7 가지 형상.....	37
[그림 3.8] 그리드요소에서 바라본 천공 형상.....	39
[그림 3.9] 바닥면 계산점을 설정한 예 (100 점).....	43
[그림 4.1] 축소 모형 실험에 사용된 조도 센서.....	45
[그림 4.2] 조도계와 휘도계를 사용하여 반사율을 측정하는 장면.....	47
[그림 4.3] 광덕트 모형의 바닥면과 내부 벽면에 설치된 조도 센서.....	48
[그림 4.4] 일영도.....	49
[그림 4.5] 측정 장비 설치 개념도.....	51
[그림 4.6] 조도계 배치도.....	52
[그림 4.7] 담천공 상태에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 및 계산 시간 [WI=1, 반사율=90%].....	54
[그림 4.8] 담천공 상태에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에	

	대한 오차율 및 계산 시간 [WI=2, 반사율=90%].....	54
[그림 4.9]	담천공 상태에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 및 계산 시간 [WI=4, 반사율=90%].....	55
[그림 4.10]	담천공 상태에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 및 계산 시간 [WI=8, 반사율=90%].....	55
[그림 4.11]	담천공 상태에서 Well Index 와 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 .....	56
[그림 4.12]	담천공 상태에서 내부 반사율과 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=4].....	57
[그림 4.13]	담천공 상태에서 내부 반사율이 0%일 때 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=4].....	8
[그림 4.14]	담천공 상태에서 광덕트의 너비 대 길이의 비와 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 .....	59
[그림 4.15]	청천공 상태(9/21 12:00)에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=4, 반사율=90%].....	61
[그림 4.16]	청천공 상태(9/21 9:00)에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=1, 반사율=90%].....	61
[그림 4.17]	청천공 상태(9/21 9:00)에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=2, 반사율=90%].....	62
[그림 4.18]	청천공 상태(9/21 9:00)에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=4, 반사율=90%].....	62
[그림 4.19]	청천공 상태(9/21 9:00)에서 너비와 길이 및 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=8, 반사율=90%].....	63
[그림 4.20]	청천공 상태(9/21 12:00)에서 WI 와 높이 방향의 그리드요소 수에 대한 오차율 .....	64
[그림 4.21]	청천공 상태(9/21 12:00)에서 내부 반사율과 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=4].....	65
[그림 4.22]	청천공 상태에서 내부 반사율이 0%일 때 높이 방향의 그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 [WI=4].....	65
[그림 4.23]	청천공 상태(9/21 12:00)에서 광덕트의 너비 대 길이의 비와 높이 방향의	

그리드요소 수의 변화에 대한 오차율 .....	66
[그림 4.24] 태양이 남중한 청천공 상태에서 태양 고도에 대한 오차율 [WI=4, 반사율 =90%] .....	67
[그림 4.25] 청천공 상태(9/21)에서 태양 방위각에 대한 오차율 .....	68
[그림 5.1] 광덕트 및 지하공간 축소모형의 단면 및 평면 .....	72
[그림 5.2] 실내 공간 모형의 모습 .....	73
[그림 5.3] 측정 장면 .....	74
[그림 5.5] 청천공 상태(6 월 21 일 12:00)에서 실내 공간 모형의 실지수 변화에 대한 IR 의 변화 [WI=4] .....	77
[그림 5.6] 청천공 상태(9 월 21 일 12 시)에서 실내 공간 실지수 변화에 대한 직접성분 및 간접성분의 변화 [WI=4] .....	79
[그림 6.1] 청천공 상태(9/21)에서 다양한 광정지수에 대한 광속전달율 .....	82
[그림 6.2] 청천공 상태(9/21 12:00)에서 WI 의 변화에 대한 직접성분의 IR <sub>D</sub> (실지수 = 2.0) .....	83
[그림 6.3] 청천공상태(9/21 12:00)에서 WI 의 변화에 대한 간접성분의 Ir <sub>d</sub> (실지수 = 2.0) .....	83