



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

해양건축물에 작용하는 해수면 반사일사의
영향도에 관한 연구

A Study on the Effect of Reflected Solar Radiation
from the Ocean on Ocean Structure



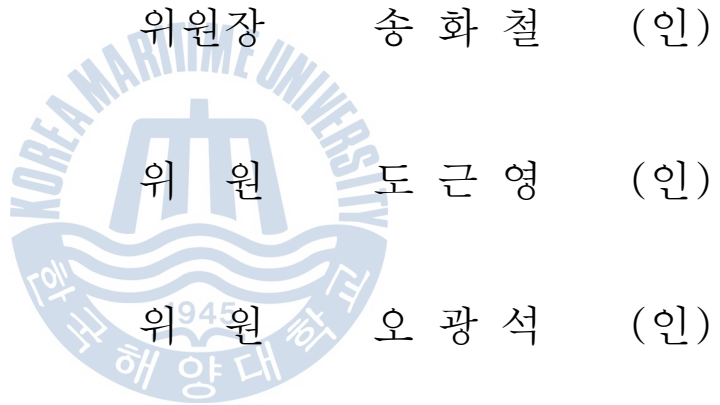
2014년 2월

한국해양대학교 일반대학원

해양건축공학과

화 나 현

본 논문을 화나현의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2013년 12월 27일

한국해양대학교 대학원

목 차

표 목차	iv
그림 목차	v
초 록	vii

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구 방법 및 흐름도	3

2. 이론적 고찰 및 상향 일사 도출방법

2.1 이론적 고찰	4
2.1.1 빛과 열	5
2.1.2 일사량의 종류	5
2.1.3 일사량의 계산법	8
2.1.4 반사율에 관한 이론	11
2.1.5 알베도계를 이용한 반사일사량 도출 방법	14
2.2 실측 실험을 위한 가정	17
2.2.1 건축물과 해수면과의 거리에 따른 반사 일사량의 변화	17
2.2.2 파고에 대한 가정	18
2.2.3 계절에 대한 고려	19
2.3 연직면을 이용한 반사일사량 도출 방법의 추정	21
2.3.1 직산분리	21
2.3.2 연직면 직달일사량과 연직면 천공일사량	23

2.3.3 반사일사량 도출 방법의 추정 공식	24
2.3.4 수평면 반사일사량 환산 공식	25
3. 연직면 상향 일사 실험 분석	
3.1 실측 실험에 반사일사량 추정 공식의 적용	26
3.1.1 실험 개요	28
3.1.2 실측 일사량	32
3.1.3 宇田川 공식에 의한 직산분리	33
3.1.4 연직면 직달일사량과 연직면 천공일사량 도출	34
3.2 실측 실험의 상향 일사량 도출	36
3.2.1 해수면 반사일사량 및 지면 반사일사량	36
3.2.2 해수면 및 지면 반사율	38
3.2.3 해수면 및 지면 반사일사의 평균 반사율	39
4. 수면 반사일사를 고려한 냉방부하 검토	
4.1 해양건축물의 냉방부하 개요	41
4.1.1 냉방부하 계산에 포함된 일사부하	42
4.1.2 부하계산을 위한 ECOTECT 시뮬레이션	44
4.2 부하 계산에 적용 가능한 환산 일사량의 도출	45
4.2.1 태양방위각에 따른 반사일사량 도출 방법	45
4.2.2 실측 실험과 계산된 값이 비교	47
4.3 해수면 반사일사를 고려한 시뮬레이션 분석	50
4.3.1 반사일사 적용의 개요	50
4.3.2 모델링	50
4.3.3 시뮬레이션 분석을 위한 환산일사량 적용	52
4.3.4 냉방부하 분석	53
4.4 소결	56

5. 결론	57
감사의 글	59
참고문헌	61



표 목차

표 2-1	표면에 따른 알베도	14
표 2-2	뷰포트 스케일	19
표 4-1	부하계산 시 해양건축물, 육상건축물, 선박의 부하요소 비교	42
표 4-2	여름철, 유리창에서의 표준 일사열 취득	43
표 4-3	기준 실험의 태양방위각 및 반사율	47
표 4-4	실험별 태양고도 및 태양방위각	48
표 4-5	시뮬레이션 모델의 제원 및 관류율	52
표 4-6	시뮬레이션 모델의 개요	52
표 4-7	환산 반사율 도출과정 항목	53
표 4-8	환산 일사량 도출과정 항목	53
표 4-9	CASE 별 공조기 작동시간	54
표 4-10	CASE 별 냉방부하	54
표 4-11	CASE 별 냉방부하 상승률	56

그림 목차

그림 1-1 연구 흐름도	3
그림 2-1 일사가 측정되는 면적의 도식화	7
그림 2-2 법선면 직달일사량의 정의	8
그림 2-3 입사각과 반사각의 원리	11
그림 2-4 뷰레스터 앵글	12
그림 2-5 알베도계	14
그림 2-6 일본 사례의 실험 장치	16
그림 2-7 해수면 위의 알베도계	16
그림 2-8 일본 논문의 실험 결과표	16
그림 2-9 해수면과의 거리에 대한 가정	17
그림 2-10 실험 장소의 바다 표면 상태	18
그림 2-11 연직면에 도달하는 일사량의 차이	20
그림 2-12 수평면에 대한 연직면의 반사율 도식화	21
그림 3-1 상향 일사량 도출 과정 도식화	26
그림 3-2 한국해양대 예섬회관 옥상	27
그림 3-3 각 일사계의 위치	27
그림 3-4 한국해양대 예섬회관 옥상-2	28
그림 3-5 파노라마로 본 실험장소 전경	29
그림 3-6 하계의 일출	29
그림 3-7 추계의 일출	29
그림 3-8 일사계	30
그림 3-9 데이터 로거	30
그림 3-10 일사계 거치대	30

그림 3-11	일사계 거치대 측면 도식화	30
그림 3-12	일사계 거치대에 설치한 차양 지붕의 도식화	31
그림 3-13	일사계 설치 장소	32
그림 3-14	10월 4일 실측 일사량	33
그림 3-15	실측 일사량의 직산분리	34
그림 3-16	연직면 직달일사량 도출	35
그림 3-17	연직면 천공일사량 도출	35
그림 3-18	연직면에 도달하는 해수면 반사일사량	36
그림 3-19	연직면에 도달하는 해수면 및 지면 반사일사량	37
그림 3-20	연직면에서 수평면으로 환산된 반사일사량	38
그림 3-21	해수면 및 지면 반사율	39
그림 3-22	평균 수면 및 지면 반사율	40
그림 4-1	방위각에 따른 일사량의 감쇠	45
그림 4-2	방위각에 따른 일사량 감쇠의 도식화	46
그림 4-3	실험 1의 예상 및 실측 데이터 비교	48
그림 4-4	실험 2의 예상 및 실측 데이터 비교	49
그림 4-5	실험 3의 예상 및 실측 데이터 비교	49
그림 4-5	시뮬레이션 모델	51
그림 4-6	시뮬레이션 모델의 실험 장소 적용	51
그림 4-7	CASE 1과 CASE 4의 냉방부하 비교	55

A Study on the Effect of Reflected Solar Radiation From The Ocean on Ocean Structure

Hwa, Na-Hyun

Department Oceanic Architectural Engineering
Graduated School, Korea Maritime And Ocean University

Abstract

Today, gradually the demands of oceanic constructure have been increasing. The underlying cause of this phenomenon is related to the hydrophilic property which the viviparous instinct of human. The increase of income, the business of tourist development, the change and increase of leisure consciousness and the deterioration of city environment cause multiple influence for increasing the demand of ocean architecture. Also, by increasing the demand of oceanic architecture, the engineering design for environmental properties of nearby areas is demanded. In this study, it analyzes the reflected solar radiation which influences the load among many factor considered for the sea which has a special environment. Buildings located on the land and the waterfront have constructed a system that is avoiding solar radiation in summer and getting solar radiation in winter. Solar shading is about solar radiation from the sky in summer. It have not been that solar radiation from bottom prepare shading. The same is true of reflected solar

radiation from the ocean. Normally, reflected solar radiation from the inland is a little compared with global solar radiation. In other way, reflected solar radiation from the ocean is much compared with solar radiation from the inland. So it judged that this tendency will not ignore. If it is correct, will establish a index about cooling load. Also, in this study, by extracting global solar radiation incident upon a vertical surface to reflected solar radiation incident upon a vertical surface among the upward solar radiation, the sun's altitude and the solar azimuth were analyzed. Also, the effect of cooling load was checked by using simulation.

KEY WORDS : Reflected solar radiation from the ocean 해수면 반사일사; Solar altitude 태양고도; Global solar radiation incident upon a vertical surface 연직면 전일사; Direct solar radiation 직달일사; Sky solar radiation 천공일사



제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 점진적으로 해양건축¹⁾의 수요가 증가하고 있다. 이러한 현상의 근본적인 원인은 인간의 태생적 본능에 있다. 연안지역이 아닌 대륙 깊은 곳에서 사는 사람들은 평생 바다를 한 번이라도 보는 것이 소원일 정도로 절절하다. 본래 모든 인간들은 어머니의 자궁 속에서 물과 맨 처음 만난다. 어머니의 뱃속의 양수 속에서 생을 시작하고, 자라고, 세상으로 나온다. 인간의 '친수성'은 '회귀본능'이라고 할 수 있다. 따스한 모성으로 돌아가고자 하는 본능, 그리고 지상의 모든 생명의 기원인 바다로 돌아가고픈 본능이 사람들에게는 존재한다. 때문에 예전부터 이러한 본능은 인간이 연안에서 여가활동을 즐기게 되는 계기가 되었다. 이러한 인간의 태생적 본능에 해당하는 성질을 친수성(親水性)이라 일컫는다.

친수성을 제외하고, 해양건축의 수요 증가의 배경은 크게 세 가지 측면으로 분류할 수 있다.

첫째, 소득의 증가와 관광개발사업의 활성화로 인한 경제적 측면이다.

둘째, 서비스 산업의 발달, 인구 구조의 변화, 여가 의식의 전환·증대로 인한 사회문화적 측면이다.

셋째, 지방화 시대의 도래, 도시환경의 악화, 교통망의 발달로 인한 환경적 측면이다.

이상 세 가지 측면들을 종합해 보면 경제적으로 안정이 된 중산층 인구가 해양 레저시설에 눈길을 돌릴 수 있는 조건임을 알 수 있다. 최상류층의 전유물

1) 해양건축(海洋建築, Oceanic Architecture) : 해양에서 인간의 활동 환경을 안전하고 쾌적하게 정비하는 행위를 말하며, 해양건축물(Ocean Structure)은 해양 건축을 목적으로 구현한 구조물을 말함

이라 여겨졌던 여가활동이 점진적으로 이용객 수가 늘게 되었고 이는 단순히 해양건축뿐만 아니라 그 일대의 환경, 즉 해양지역의 환경의 중요성이 대두되고 있는 실정이라고 판단할 수 있는 대목이다.

해양에서 내륙과 다르게 고려해야 할 환경 요소는 다양하다. 하지만 해양지역에 위치한 건물의 부하에 영향을 주는 기상 데이터 요소들에 대한 세부적인 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 건축물이 고려해야 할 다양한 환경 요소 중에 반사일사(反射日射)에 대한 분석을 하고자 한다.

일반적으로 모든 건축물은 하절기에 일사를 피하고, 동절기에는 일사량을 얻는 시스템을 구축하고 있다. 그러나 하절기의 일사차폐는 기본적으로 천공에서 비치는 하향 일사(下向日射)에 대한 것으로 해수면 반사와 같이 상향 일사(上向日射)에 대한 대비는 없다. 이는 통상적으로 육상의 경우 지면 반사일사량이 전일사량에 비해 비교적 크지 않기 때문이다. 반대로 해수면 반사는 태양고도가 낮은 시점에서는 그 값이 지면 반사에 비해 상당히 크다.²⁾ 따라서 해양 건축물과 같이 전면에 넓은 반사면이 있다면 반사일사의 영향을 무시할 수 없을 것으로 예상되므로 본 논문에서는 이러한 가설을 실험을 통해 검증하고자 한다.

이에 본 논문은 해수면에서 상향하는 반사일사가 해수면을 전방으로 바라보는 건축물의 냉방부하 상승에 영향을 줄 것으로 예상하여 태양고도 및 태양방위각별로 검토를 하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구 방법 및 흐름도

일반적으로 반사일사량을 구하는 방법인 알베도계를 통한 상향 일사 측정 방법과는 달리 본 연구에서는 건물의 연직면을 기준으로 하였다. 일사량을 받는 면적별로 구분하여 연직면에 도달하는 해수면 반사일사량을 도출하였다.

[그림 1-1]은 본 연구의 연구 흐름도이다.

1장에서는 연구 배경 및 목적을 기술하였다.

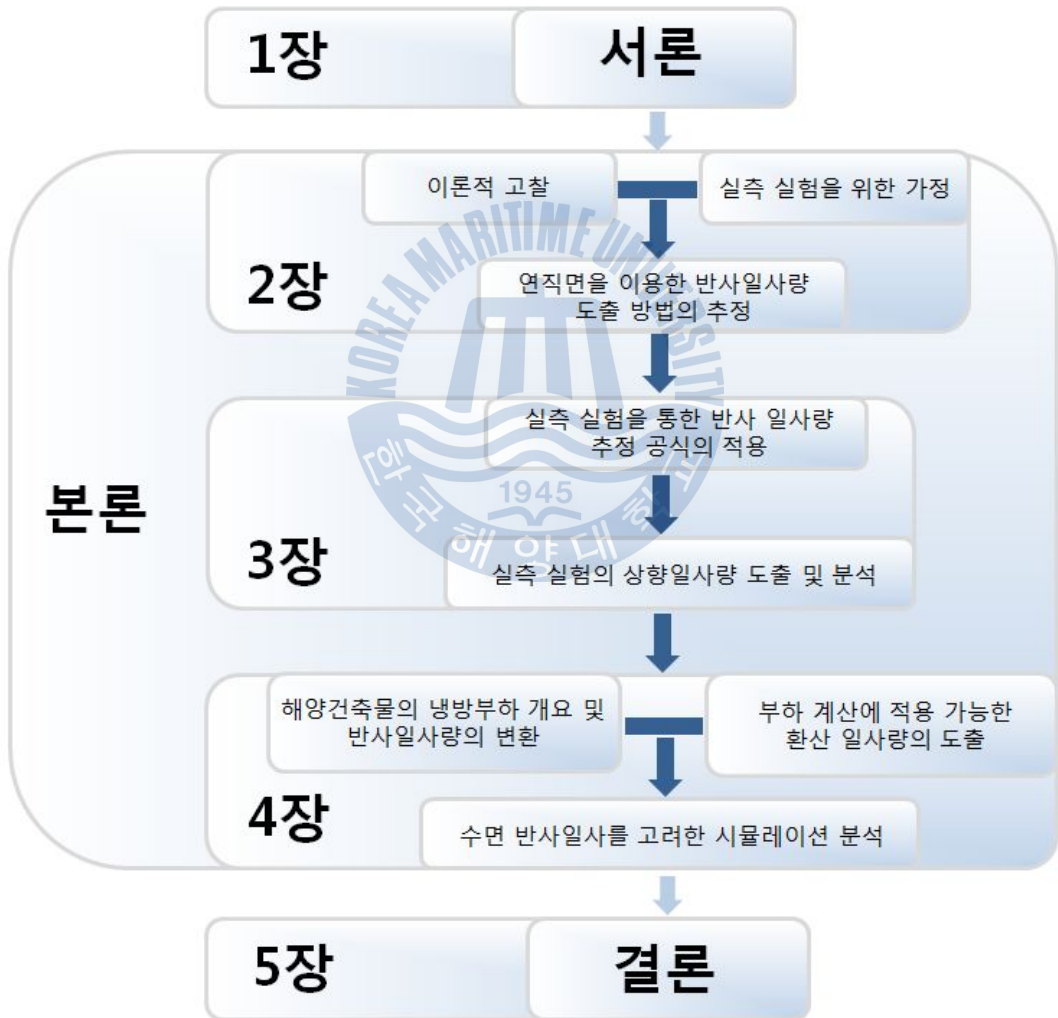
2) 이승호 : 기후학 푸른길 p.65

2장은 반사율에 대한 이론적 고찰 및 결론에 대한 가설을 세웠다. 또한 반사 일사량 도출 방법을 전일사량 분석을 통해 추정하였다.

3장은 실측실험을 통해 반사 일사량 도출 방법이 타당한지를 검증하였다.

4장은 3장에서 얻은 반사일사량을 시뮬레이션 모델의 수평면 전일사량에 포함하여 냉방부하 분석에 관한 과정을 다루었다.

마지막으로, 5장은 3장과 4장을 통합 분석하여 수면 반사일사량의 영향도에 관한 결론을 기술하였다.



[그림 1-1] 연구 흐름도

제 2 장 이론적 고찰 및 상향 일사 도출방법

2.1 이론적 고찰

2.1.1 빛과 열

빛과 열은 같은 것이 아니다. 빛은 전파와 같은 전기장과 자기장의 파동, 즉 전자기파이며 열은 물체를 구성하는 분자들의 진동운동이다. 전자기파에는 전파, 적외선, 가시광선(빛), 자외선, x선 r선 등이 있다. 이들 전자기파가 물체에 부딪혔을 때 일으키는 작용은 종류에 따라 다르다. 그중 적외선은 물체에 부딪혔을 때 그 물체의 분자의 진동을 일으키는 작용을 한다.

따라서 어떤 물체라도 적외선을 받기 되면 그 물체의 분자들이 진동을 일으키게 되고 이런 진동은 곧 열이므로 그 물체 표면의 열이 많아져 온도가 상승하게 된다. 유리창을 닫아도 안쪽이 따뜻한 것은 자연광 중 적외선이 통과하기 때문이다.

또한 모든 물체는 적외선을 방출한다. 뜨거운 물체는 차가운 물체보다 물체의 분자의 진동이 더 강하기 때문에 더 많은 적외선을 방출한다. 이러한 뜨거운 물체에서 나온 적외선은 다른 물체에 닿아 온도 상승을 돕는다. 이 현상을 뜨거운 물체의 열(물체 분자의 진동)이 빛의 형태(적외선)로 다른 물체에 전달된다고 표현할 수 있다. 이는 '열이 빛의 형태로 오는 것'을 보여주는 것이다. 즉 수면에 반사된 반사광이 실내에 침투할 경우 빛뿐만 아니라 열에너지도 반사된 형태로 침투하게 된다. 본 논문에서는 이를 착안하여 빛의 반사에 관한 이론을 반사 일사 도출에 접목시켜 이론적 고찰을 하였다.

2.1.2 일사량의 종류

(1) 태양상수

지구대기권 표면에 도달되는 평균일사량을 태양상수라 하며 $1,353 \text{ W/m}^2$ ($1.97 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$, $428 \text{ but/ft}^2 \cdot \text{h}$, $4.87 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h}$)이다. 이 값은 태양 자체의 복사량에 따라 $\pm 2\%$ 정도 변화하며 태양과 지구거리에 따라 $\pm 3.5\%$ 정도 변화한다.

한편, 지표면에 도달하는 일사량의 강도는 해발고도와 태양고도에 따라 증감하며 지구상에 어느 지점에 입사되는 일사량은 코사인 법칙, 대기투과율, 일조 시간에 영향을 받는다.

① 코사인 법칙

일사량은 일사방향에 수직인 면에서 가장 크고 입사각의 코사인 값에 따라 점점 작아진다.

② 대기 투과율

일사량의 세기는 공기분자, 수증기, 먼지 등에 의하여 산란, 흡수되어 감소된다. 태양의 고도가 낮을수록(입사각이 클수록), 대기를 통과하는 경로가 길수록 대기투과율이 낮아지는데, 특히 대기의 아래층, 밀도가 높은 층, 오염된 층에서는 대기투과율이 낮아진다. 대기투과율의 값은 0.2~0.7 정도의 범위에 있다.

대기를 통과하는 태양광선의 통과거리는 "대기질량(air mass)"이라는 개념으로 정의된다. 이것은 (식 2-1)과 같이 천정을 통과하는 태양광선의 수직거리(AC)에 대해 실제로 통과하는 태양광선의 경로(BC)와의 비율을 말한다.

$$\text{대기질량}(m) = \frac{BC}{AC} = \text{cosec}(\gamma) \quad (\text{식 2-1})$$

대기질량(m)은 해수면에서 태양이 천정(천정각 $\gamma=90^\circ$)에 있으면 1, 천정각 $\gamma=30^\circ$ 이면 2이고 천정각 γ 이 해수면에서 $0\sim 30^\circ$ 미만의 범위에 있을 때는 $m = (\cos \gamma)^{-1}$ 에 의해서 구한다.

청명일 때 지상에 직접 도달하는 일사(direct 또는 beam radiation)의 대기투

과율(P)은 지표면에 떨어지는 태양복사에너지 강도와 대기권 밖의 법선면이 받는 복사강도의 비율로 정의된다.

$$P = \frac{G_{mb}}{G_{sc}} \quad (\text{식 2-2})$$

G_{sc} : 대기권 밖의 법선면 일사량, 태양상수

G_{mb} : 태양광선에 대한 법선면 일사량

이때 G_{mb} 값은 태양고도와 대기상태에 따라 변화되는 직달일사를 말한다. P값은 입사되는 지점의 고도에 따라서도 달라지며, 해발 1,500m 지점에서의 오차는 3% 미만이다.

③ 일조시간

낮의 길이로서 구름량과 대기오염 영향 및 지역적으로 길이가 변화되고, 지구의 수열면적은 $124 \times 10^{12} \text{m}^2$ 이므로 전일사 에너지량은 다음과 같다.

$$1.353 \times 124 \times 10^{12} = 155 \times 10^{15} \text{W} \quad (\text{식 2-3})$$

(2) 전일사의 종류

청명일에 지상에 도달하는 일사량은 직달일사, 천공일사, 반사일사 성분으로 나눌 수 있다.

① 직달일사(直達日射; direct 또는 beam radiation)

대기의 산란없이 태양으로부터 직접 지표면에 도달하는 태양복사를 말한다.

② 천공일사(天空日射; sky radiation)

확산일사(diffuse radiation)라고도 하며 일사가 대기 중의 입자에 의해 산란되어 천공 전체로부터 복사하여 지면에 도달하는 일사로 수평면이 받는 천공일사량은 태양고도가 높을수록, 대기혼탁도가 클수록 크다. 또, 천공일사성분은 청명일에 대기권에서 산란에 의하여 일사의 방향이 달라진 후 지표면에 도달하는 일사량과 담천일에 구름에 반사된 일사량으로 나눌 수 있다.

③ 반사일사(反射日射; reflected radiation)

직달일사와 천공일사가 지면으로부터 다시 반사되어 받는 일사를 말한다.

이상에서 직접 지표면에 도달하는 직달일사량은 대기권 밖의 면이 받는 일사량의 26%에 해당하고, 대기 중에서 확산 또는 산란·반사되어 지표면에 도달하는 확산일사량은 약 25%에 해당한다. 직달일사량과 확산일사량의 합계를 전일사량(全日射量; global radiation : 51%에 해당)이라고 하며, 보통 일사량이라 할 때는 전일사량을 의미한다.

(3) 면적에 관한 용어 설명

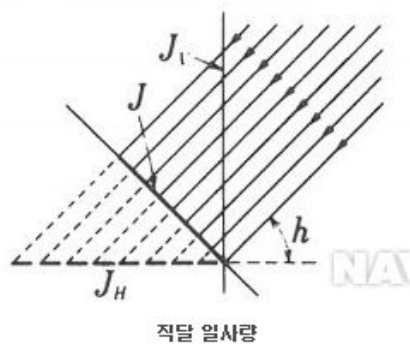
[그림 2-1]은 일사가 받는 면적의 도식화이다. 일사량은 해당 면적에 작용하는 에너지의 양으로 나타낼 수 있으며, 일반적으로 그 면적을 법선면, 수평면, 연직면으로 분류한다. 법선면의 경우 태양의 고도에 큰 영향을 받지 않고 일정한 에너지를 받지만 수평면, 연직면의 경우에 태양의 고도에 따라서 에너지의 편차가 크다.



[그림 2-1] 일사가 측정되는 면적의 도식화

(4) 법선면 직달일사량

법선면 직달일사량이란 직달 일사를 일사의 방향으로 수직인 면, 즉 법선면에 받는 일사량을 나타낸 것이다. 단위는 $\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 혹은 $\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 로 나타낸다. 단 본 연구에서는 태양고도별 일사량을 자세히 나타내기 위해 분당 적산일사량 ($\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{m}$)으로 산출하였다.



J_H 수평면 직달일사량
 J_v 연직면 직달일사량
 J 법선면 직달일사량
 h 태양고도

*화살표 방향이 태양 복사 에너지가 지면으로 오는 방향

주) 건축용어사전, 현대건축관련용어편찬위원회 성안당

[그림 2-2] 법선면 직달일사량의 정의

(5) 수평면 산란일사량

직달 일사를 제외하고 수평면에서 받는 일사량을 말한다. 산란 일사란 천공 일사와 반사일사, 구름에서의 일사로 나눌 수 있다. '천공일사'는 대기의 분자나 부유입자 때문에 산란된 태양 빛이 또 다른 태양이 되어 일부가 지표에 도달한 것을 말한다. '반사일사'는 해수면, 지표면, 건물, 초목 등에 반사된 일사를 뜻하며 이 반사 일사가 구름에서 재 반사하여 지표면에 도달한 것을 '구름에서의 일사'라고 한다.

2.1.3 일사량의 계산법

일사량은 에너지 밀도, 즉 일사의 세기(irradiance; G)로 정의되고 단위는 W/m^2 를 쓴다. 또 어느 표면 위의 단위면적당 일정기간(시간, 일, 월, 년)에 받는 일사량을 표시할 때는 그 기간 동안의 입사에너지를 적분한 값으로 나타내고 이것을 적산일사량(irradiation 또는 radiant exposure; D)이라 하며 단위로는 J/m^2 을 주로 사용한다. 보통 기상대에서 측정된 일사량은 적산일사량이다³⁾.

만일 $1W$ 의 열류가 1시간 동안 계속되면 입사에너지는 $1Wh=3,600J$ 이 되며, 1시간의 평균 일사 세기(G)가 $1W/m^2$ 이면 1시간의 적산일사량(D)은 $1Wh/m^2=3,600J/m^2$ 이 된다. 보통 D 는 하루에 받는 일사량을 표시하는 데 사용하고 G 는

3) 건축설비계획, 일진사, 이경희 p264

시간당 일사량을 표시할 때 사용한다.

(1) 법선면 직달일사량

청명한 날의 법선면 직달일사량 G_{nb} [W/m²]는 여러 가지 방식으로 나타낼 수 있다. 여기에서 얻어진 결과는 실제 측정값으로 대응될 수 없으나 자료가 없는 경우에는 이용할 수 있다.

$$G_{nb} = 910(\sin \gamma) + 0.25[910 \times \sin 2\gamma] \quad (\text{식 2-4})$$

$$G_{nb} = 1,370(\sin \gamma) - 2,889(\sin \gamma)^2 + 3,290(\sin \gamma)^3 - 1,824(\sin \gamma)^4 + 371(\sin \gamma)^5 \quad (\text{식 2-5})$$

$$G_{nb} = 950[1 - e^{-0.075 \gamma}] \quad (\text{식 2-6})$$

$$D_n = D_0(0.29 \cos \phi + 0.52 \frac{n}{N}) [Wh/m^2] \quad (\text{식 2-7})$$

D_0 : 같은 기간 동안의 대기권 밖의 일사량 (9,380 Wh/m²day)

ϕ : 위도

n : 같은 기간 동안 실제로 태양이 비치는 시간

N : 같은 기간 동안 태양이 비칠 수 있는 가능 시간

(2) 경사면 일사량

경사면의 일사량은 수평면 일사량, 직달일사량, 확산일사량에 의해서나 법선면 직달일사량과 수평면 확산성분에 의해서 구할 수 있다. 직달일사량은 벡터량이며 입사각(θ)에 의한 코사인 법칙으로 각 면에 대해 변환시킨다.

법선면 일사량(G_{nb})이 주어지면 주어진 면의 직달일사량을 구할 수 있다.

$$G_{pb} = G_{nb} \times \cos \theta \quad (\text{식 2-8})$$

수평면 직달일사량(G_{nb})이 주어지면 다음과 같이 주어진 면의 직달일사량을

구할 수 있다.

$$G_{nb} = \frac{G_{hb}}{\cos(90-\gamma)} = \frac{G_{hb}}{\sin \gamma} \quad (\text{식 2-9})$$

$$G_{pb} = G_{hb} \frac{\cos \theta}{\sin \gamma} \quad (\text{식 2-10})$$

경사면의 확산일사량은 천공에 대하여 그 면이 노출되는 비에 좌우되고 경사각을 ϕ 로 해서 다음 식에 의해 구한다.

$$G_{pd} = G_{hd} \frac{1 + \cos \phi}{2} \quad (\text{식 2-11})$$

$\phi=0^\circ$ (수평면)에서는 $(1+1)/2=1$ 이며, $\phi=90^\circ$ (수직면)에서는 $(1+0)/2=0.5$ 이다. 즉, 수직면은 수평면이 받는 확산일사량의 1/2만을 받는다.

반사일사량은 확산일사와는 반대의 방법으로 계산되며 지면의 반사율(ρ)에 의해 지면에 입사된 수평면 전일사량의 일부가 된다. 정확한 자료가 없을 때는 아래의 반사율을 적용한다.

$$G_{pr} = \rho G_h \frac{1 - \cos \phi}{2} \quad (\text{식 2-12})$$

$\rho = 0.2$: 고온 다습하거나 온난한 기후지역으로 초목으로 덮여 있는 곳

$\rho = 0.5$: 고온 건조 기후지역으로 황무지, 사막

이상에서 경사면의 전일사량은 (식 2-13)로 계산하며 수직면 전일사량은 (식 2-14)로 계산한다.

$$G_p = G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} = G_{hb} \frac{\cos \theta}{\sin \gamma} + G_{hd} \frac{1 + \cos \phi}{2} + \rho G_h \frac{1 - \cos \phi}{2} \quad (\text{식 2-13})$$

$$G_v = G_{hb} \frac{\cos \theta}{\sin \gamma} + 0.5 G_{hd} + \rho 0.5 G_h \quad (\text{식 2-14})$$

(3) 일사량의 측정

일사량은 지역별로 측정된 자료를 사용하지만 자료가 없을 때에는 태양고도의 함수로 표시된 값에 의해 맑은 날의 조건으로 사용한다. 자료를 이용할 때

는 그 지역대기의 혼탁 정도, 구름의 상태를 고려하지 않으면 안 된다. 따라서 태양에너지 이용 등의 경우에는 적당하지 않으나 건물의 부하계산에 사용하기에는 충분하다.

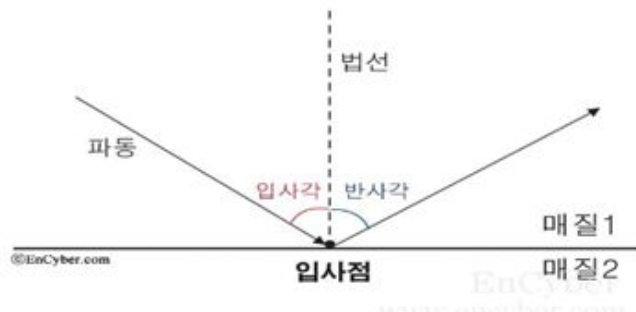
일사량 자료가 없을 때 일사량의 범위를 신속히 구하기 위해서는 도식적 방법을 사용하며 태양궤적도를 일사량 선도(sunpath overlay)와 같이 사용하여 구한다. 태양열을 실제 이용하기 위해서는 실측치를 이용하는 것이 가장 정확하지만 실측치에 없는 값이나 좀 더 자세한 값을 원할 경우 이론식을 이용하기도 한다. 그러나 일사에 의해 발생하는 냉방부하(冷房負荷)와 일사에 의한 온도 상승을 구하기 위해서는 건물 자체가 가진 열관성 효과를 고려하여야 한다.

2.1.4 반사율에 관한 이론

실험에 앞서, 상향 일사에 대한 반사율의 정도를 가늠하기 위해 빛의 반사에 대한 이론을 정리하였다. 크게 입사각과 반사각의 원리, 브레스터 앵글, 알베도 이론으로 나눌 수 있다.

(1) 입사각과 반사각의 원리

[그림 2-3]과 같이 입사각과 반사각은 동일하다. 즉, 태양고도가 30° 일 경우에 입사각과 반사각은 60° 가 된다. 단 본 연구에서는 매질1이 공기, 매질2가 해수면이므로 반사 면적이 유동적이다. 따라서 정밀한 실험을 하기 위해서는 파고가 낮은 날짜를 고르는 것이 필요함을 알 수 있다.



[그림 2-3] 입사각과 반사각의 원리

(2) 브레스터 앵글(Brewster's angle)의 정의

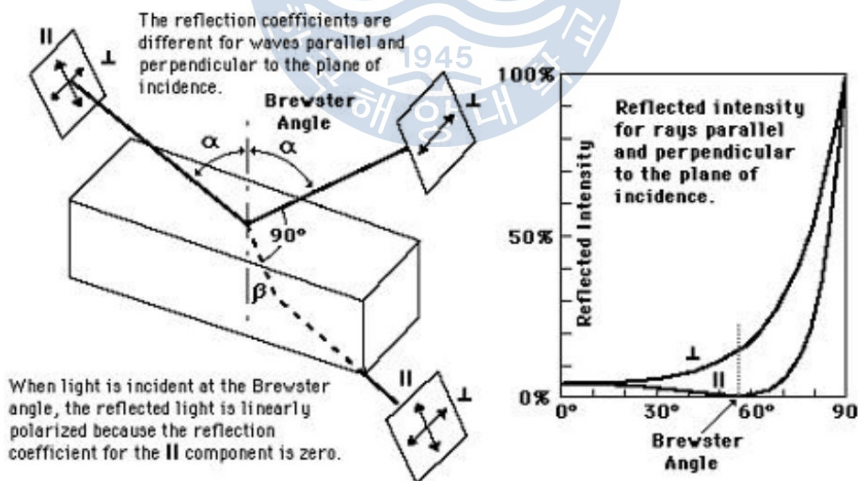
굴절률의 비가 n 인 서로 다른 두 균등 매질의 경계면에 $\tan\theta=n$ 인 입사각 θ 로 입사하는 평면 전자파의 반사파는 완전히 입사면에 수직인 직선 편파가 되고, 또 반사파와 굴절파는 서로 수직인 방향으로 진행하게 된다. 이와 같은 광학적 현상은 1815년에 Brewster에 의해서 발견되었으므로 이 입사각 θ 를 브루스터 각이라 한다. 굴절률이 1.57인 유리의 편광각은 약 57.5° 이다. 공기의 경우 $n=1.0003$, 물은 $n=1.33$ 이다. 00 식에 의하면 물과 공기의 브레스터 각은 53.04° 이다. 이 각도를 태양고도로 환산하면 36.96° 가 된다. 즉, 해당 각도에서 수평편광은 0이 되고 수직편광만 반사한다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (\text{식 2-15})$$

n_1 : 공기

n_2 : 매질

θ : 브레스터 각



[그림 2-4] 브레스터 앵글

[그림 2-4]의 α 값이 클수록 수직, 수평 편광성분의 값이 증가한다. 하지만 무편광인 자연광은 수직편광만 존재한다. [그림 2-4]의 그래프에서 '⊥'로 표시된

곡선을 보면 태양 천정각이 높은 시점 즉 태양고도가 낮을 때 반사율이 높다는 것을 알 수 있다. α 값이 $60^\circ \sim 90^\circ$ 사이에 반사율이 급격하게 높으므로 태양고도가 $0 \sim 30^\circ$ 사이일 때 반사가 많이 일어난다는 것을 알 수 있다. 즉 태양고도가 낮은 시점인 일출시간대가 해수면 반사 일사를 실험하기에는 최적의 시간대라고 할 수 있다. 또한 일반적으로 직사광에 의한 반사가 다른 산란일사보다 강하므로 직사광에 의한 반사 일사를 측정하기 위해서 0° 에서 30° 사이에서는 반드시 직달일사량이 연직면 전 일사량을 측정하는 일사계에 실측이 이뤄져야 한다.

뷰레스터 법칙에 의하면 투명한 매개체의 최대 반사율은 일사의 입사각에 따라 최대 100%까지 나올 수 있으며 태양고도 30° 이후에는 일정한 반사율만 수렴할 것이라는 것을 추정할 수 있다.

(3) 알베도(Albedo) 이론의 정의

대기상단에 도달한 태양복사에너지는 대기를 통과하면 산란과 흡수과정에 의하여 감쇠되어 지표면에 도달하게 된다. 이렇게 지표면에 도달한 태양복사에너지는 지표면의 성질에 따라 그 일부를 반사하게 되는데 어떤 면에서 입사한 태양복사에너지량에 대하여 반사된 태양복사에너지량을 그 면의 알베도라 한다.⁴⁾ 일반적으로 알베도는 그 어느 특정 파장에 대해 정의하는 것이 아니라 태양복사에너지의 전파장에 걸친 평균값으로 정의한다.

4) 대기환경과학, 시그마프레스, C. Donald Ahrens P 43

[표 2-1] 표면에 따른 알베도

표면	알베도(%)
신적설	75~95
구름(두꺼운)	60~90
구름(얇은)	30~50
얼음	30~40
모래	14~45
수면	일평균 : 10 최대 : 80
초지	10~30
삼림	3~10
지표와 대기	30

(4) 반사율 추정

(1)~(3)을 종합적으로 분석하면 태양의 위치가 수평에 가까울 때 50~80%, 태양이 수직인 경우는 3~5%이다. 따라서 해수면 반사 일사를 실험에서 도출했을 때 태양고도가 낮은 시점에는 최대 80% 정도의 해수면 반사 일사량이 측정되리라 예상할 수 있다.

지면은 그 지면의 재료와 초목 등에 따라 다르다. 하지만 대체적으로 10% 내외의 반사율을 보인다. 해수면에 비하면 최대반사율이 대체적으로 낮기 때문에 태양고도가 낮은 시점에서는 지면 반사일사량이 해수면 반사일사량보다 낮게 나올 것으로 예상할 수 있다.

2.1.5 알베도계를 이용한 반사일사량 도출 방법

(1) 알베도계의 정의

알베도계(albedometer)는 알베도(반사율)를 측정하는 복사계를 말하며, 반사율 계라고도 한다. 가장 일반적으로 반사일사량을 측정하는 방법이다. [그림 2-5]는 천공을 바라보는 수평면 일사계와 지면을 바라보는 일사계가 설치된 알베도계이다.



[그림 2-5] 알베도계

(2) 알베도계를 이용한 사례

1983년 히로시마 대학에서 쓴 ‘세토나이카이의 태양에너지의 계절변동과 수체내의 분포(카와니시 토시마사 외 3인 저)’의 논문을 살펴보면 해수면 위에 일사계 거치대를 띄워서 상향 일사와 하향 일사를 동시에 측정한 사례가 있음을 알 수 있었다. [그림 2-6]은 일본 사례의 실험 장치의 도식화이며 [그림 2-7]은 해수면 아래를 향하고 있는 일사계이다.

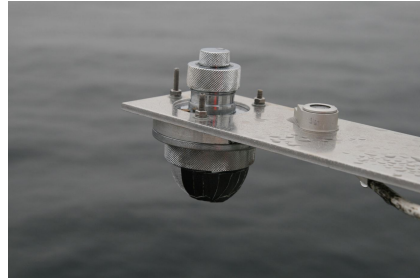
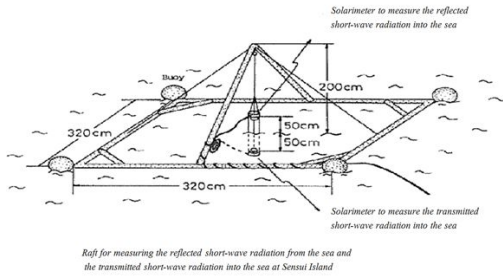
[그림 2-8]의 그래프를 살펴보면 반사일사량이 전일사량에 비해 상당히 작다는 것을 알 수 있다. 또한 시간대별로 큰 변화가 없으므로 태양고도에 따라 반사일사량의 변화가 미약하다는 것으로 판단할 수 있다. 하지만 전일사량에 대한 반사일사량의 비율은 태양고도가 낮은 시점에 크다는 것을 알 수 있다.

뷰레스터 앵글의 이론에 의하면 태양고도가 높은 시간대는 반사율이 낮을 것으로 예상할 수 있다. 하지만 [그림 2-8]의 결과를 보면 태양고도가 높은 시간대인 9시부터 15시까지 측정된 반사일사량이 태양고도가 낮은 5시부터 8시까지의 반사일사량과 큰 차이가 없다.

[그림 2-8]의 반사일사량은 태양고도가 높아짐에 따라 값이 변동하지 않고 일정한 값에 수렴하고 있다. 수평면 전일사량에 대한 반사일사량의 비율을 고려하면 태양고도가 높은 시점에서 반사율이 낮은 경향을 보인다. 이는 태양고도가 높아지면 직사광에 의한 반사일사가 줄어들고 대기에 산란되는 상향 일사가 측정된 것으로 추정할 수 있다.

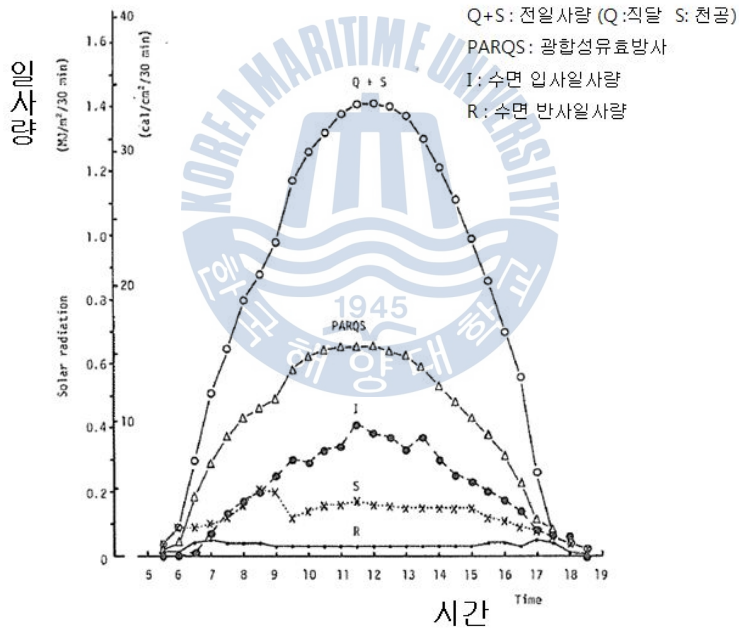
따라서 본 연구에서 실측실험의 결과도 마찬가지로 태양고도가 높은 시간대

에는 직사광에 의한 반사 성분이 아닌 산란 일사가 측정될 것이라고 추정할 수 있다.



[그림 2-6] 일본 사례의 실험 장치

[그림 2-7] 해수면 위의 알베도계



[그림 2-8] 일본 논문의 실험 결과표

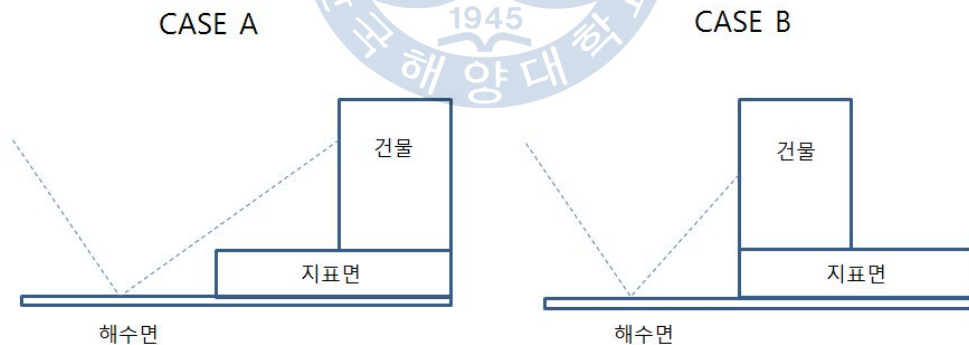
2.2 실측 실험을 위한 고려사항

2.2.1 건축물과 해수면과의 거리에 따른 반사 일사량의 변화

해수면으로부터 건물과의 거리에 따라 반사일사량의 영향이 다를 수 있다. 거리가 가까울수록 반사일사량에 대한 영향이 클 것이며 멀수록 그 영향이 미비할 것이다. 또한 해수면과의 고도는 건물이나 지형에 의해 입사각과 반사각이 방해받지 않는 경우 그 차이가 미비할 것이다. 따라서 해수면과의 거리가 반사일사량의 크기에 가장 영향을 미칠 수 있는 요인 중에 하나이다.

본 연구에서는 거리와 고도를 고려하여 실험을 진행하기엔 많은 애로사항이 있는 것을 감안하여 실험장소에 한해 측정 장소를 고정하였다. 즉 해수면에 직접적으로 인접한 임의의 건물을 대상으로 실험을 진행하였다.

[그림 2-9]와 같이 건물과 해수면까지의 거리를 도식화하면 CASE B의 경우가 해수면에 반사되는 반사일사량에 대한 영향이 CASE A보다 더 클 것으로 예상할 수 있다. 본 논문은 CASE B의 경우만 고려하여 반사일사량을 도출하였다.



[그림 2-9] 해수면과의 거리에 대한 가정

2.2.2 파고에 대한 가정

본 연구의 실험에서 쓰인 파고의 실측 방법은 뷰포트 스케일(Beaufort Scale)이다. 본래 해수면이란 특수한 반사면은 움직이는 면이다. 본 연구에서 반사일사량 도출과정에서 해수면을 평지로 가정하였으므로, 파고에 대한 고려를 최소화하기 위해 뷰포트 스케일을 이용하여 총 13개 등급 중에 스케일 1인 파고가 0.1m인 시간대에서 측정된 일사량을 기준으로 하였다. [그림 2-10]은 실험 장소의 바다의 상태이다. 또한 본 논문에서 진행한 실험은 모두 뷰포트 스케일 1을 기준으로 하였다.

[표 2-2]는 뷰포트 스케일의 등급표이다. 계급에 따른 명칭이 있으며 해면의 상태를 육안으로 식별하여 풍속과 파고를 예상할 수 있다.



[그림 2-10] 실험 장소의 바다 표면 상태

[표 2-2] 뷰포트 스케일

계급	명칭	해면상태	풍속 (m/s)	파고 (m)
0	고요, 평온	거울면 같이 고요함	0~0.2	0~0.1
1	실바람, 지경풍	작은 파가 일어나나 거품은 없음	0.3~1.5	0.1
2	남실바람, 경풍	작은 파가 보임	1.6~3.3	0.2~0.3
3	산들바람, 연풍	해면의 군데군데에서 백파를 볼 수 있음	3.4~5.4	0.6~1.0
4	건들바람, 화풍	파도의 파장이 길어지고 백파가 많아짐	5.5~7.9	1.0~1.5
5	흔들바람, 질풍	해면 대부분이 백파로 됨	8.0~10.7	2.0~2.5
6	된바람, 웅풍	백파가 전면에 발생함	10.8~13.8	3.0~4.0
7	센바람, 강풍	물거품이 바람에 날림	13.9~17.1	4.0~5.5
8	큰바람, 질강풍	파도의 물결이 바람에 날림	17.2~20.7	5.5~7.5
9	큰센바람, 대강풍	포말에 시계가 막힘	20.8~24.4	7.0~10.0
10	노대바람, 전강풍	해면은 흰색으로 되며 시계가 나빠짐	24.5~28.4	9.0~12.5
11	왕바람, 폭풍	큰 파가 산더미 같고 해면은 포말로써 덮임	28.5~32.6	11.5~16
12	쌩쓸바람, 태풍	해상이 물거품과 포말로써 덮임	32.7이상	14~

2.2.3 계절에 대한 고려

반사율은 단순히 일사량의 세기에 따라 값이 변하는 성질이 아니다. 겨울과 여름의 수평면 전일사량의 경우 여름이 실험장소에서 남중고도가 최대 77°를 상회하기 때문에 값이 크고, 겨울은 남중고도가 최소 31°이므로 상대적으로 수평면에 도달하는 일사량이 작다. 이와 같이 계절별로 수평면 전일사량의 값이 차이가 나는 요인은 태양방위각과 태양고도이다. 동일한 태양고도일 경우, 태양방위각이 연직면에 도달하는 반사일사량을 결정한다.

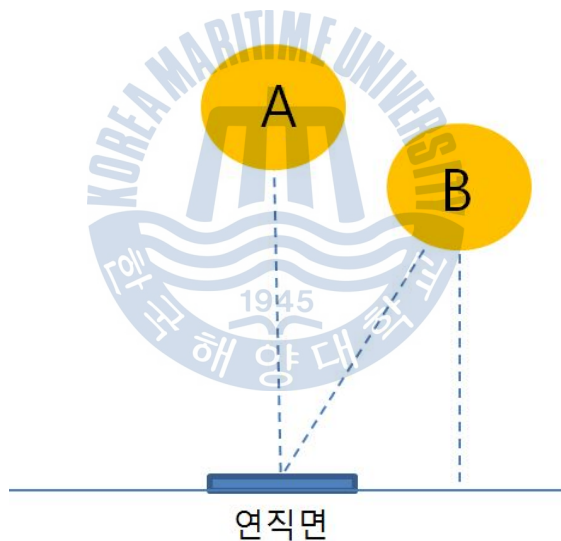
태양을 광원으로 볼 때 연직면에 도달하는 반사일사량은 태양방위각에 따라 값이 다르다. 여름과 겨울 두 계절의 태양 고도가 같더라도 연직면에 도달하는 반사일사량은 태양방위각에 따라 다르다. [그림 2-11]의 A와 B가 같은 태양고도로 가정을 했을 때, 연직면에 도달하는 반사일사량은 A의 경우가 값이 크며 B는 A에 비해 양이 작다. 이것은 광원을 기준으로 면과 수직을 이룰 경우 가

장 큰 일사량이 단위 면적별로 작용을 하기 때문이다.

또한 실질적으로 반사율이 큰 태양고도는 2.1.4의 반사율에 관한 이론을 검토해 볼 때, 0°에서 30° 부근이므로 태양고도가 사계절 중 최저인 겨울에 실험을 진행하더라도 여름에 적용할 수 있다. 왜냐하면 겨울의 태양고도의 범위가 반사율이 큰 태양고도 범위 안에 포함되기 때문이다.

태양고도 40°이후의 반사율은 겨울에 실험을 진행한 데이터로 여름에 적용시킬 수 없다. 하지만 반사율이 태양고도가 낮은 시간대에서 가장 높은 점을 고려하면 태양고도가 높을 때의 데이터는 무의미할 것으로 사료된다.

때문에 본 연구는 최대 냉방부하를 구하기 위해서 여름에 실험을 진행하는 것이 가장 타당하나 실험장소에서 태양이 가장 잘 보이는 계절을 선정하는 것을 우선시하였다.



[그림 2-11] 연직면에 도달하는 일사량의 차이

2.3 연직면을 이용한 반사일사량 도출 방법의 추정

[그림 2-12]은 수평면에 대한 연직면의 반사율을 도식화한 것이다. 수평면에 도달하는 일사량을 100%로 본다면 연직면에 도달하는 일사량을 반사일사량을 볼 수 있으며 이 과정에서 반사율을 구할 수 있다. 알베도계를 이용하여 측정하는 방법은 건물의 캔틸레버보 하부에 들어오는 일사량을 측정할 수 있다. 하지만 건물은 일반적으로 연직면으로 반사일사를 취득한다. 연직면 반사일사량이 냉방부하 계산 시에 유리의 일사열 취득에서도 연직면이 알베도계를 이용한 반사일사를 측정하는 방법보다 더 설득력이 있다는 것을 뜻한다.

본 연구에서는 이를 착안하여 알베도계를 이용한 반사일사량의 도출이 아닌 연직면에 도달하는 성분을 분석하여 연직면 반사일사량을 도출했다.



[그림 2-12] 수평면에 대한 연직면의 반사율 도식화

2.3.1 직산분리

(1) 직산분리 식의 개요

해수면을 면한 수직면에 비치는 일사는 직달일사, 천공일사 및 반사일사의 3 종류이며 반사일사에도 해수면으로부터의 반사일사와 지면 및 기타의 면으로부터의 반사일사로 나눌 수 있다.

기상청에서 측정하는 일사량은 수평면 전천일사량이며 이를 근거로 경사면 또는 연직면에 입사하는 일사량을 계산하기 위해 직산분리의 식을 이용한다. 직산분리란 수평면에서 측정한 전천일사량을 법선면 직달 일사량과 수평면 산란 일사량으로 분리하는 식으로 Erbs model, 宇田川 model, Bouguer model, Berlage model, Reindl model 등이 있다.

본 연구에 적용한 직산분리 공식은 실측치와의 오차가 가장 작다는 장점을 지닌 宇田川을 적용하였다⁵⁾.

(2) 宇田川 직산분리 공식

수평면에 설치한 일사계에서 실측할 수 있는, 전천일사량으로부터 법선면 직달 일사량, 수평면 산란 일사량을 분리하는 宇田川의 식은 아래와 같다.

① 법선면 직달일사량(I_{ND} ; MJ/m²h)

$$I_{ND} = I_0 K_D \quad (\text{식 2-16})$$

I_0 : 대기권의 일사량(태양상수 ; 4.932 MJ/m²h)

$$K_D = (2.277 - 1.258 \sin h + 0.2396 \sin^2 h) K_T^3 \quad (K_T < K_{TC})$$

$$= -0.43 + 1.43 K_T \quad (K_T \geq K_{TC}) \quad (\text{식 2-17})$$

$$K_T = I_{HT} / (I_0 \sin h) \quad (\text{식 2-18})$$

$$K_{TC} = 0.5163 + 0.333 \sin h + 0.00803 \sin^2 h \quad (\text{식 2-19})$$

I_{HT} : 수평면 전천일사량(MJ/m²h)

h : 태양고도(°)

② 수평면 천공일사량(I_{HS})

$$I_{HT} = I_{ND} \sin h + I_{HS}$$

$$= I_0 P^{\text{cosech}} + I_{HS} \quad (\text{식 2-18})$$

5) 서울지역 실측일사량을 이용한 일사량 직산분리 모델의 정밀성 검증 연구, 윤종호 외

(3) 직산분리로 도출한 법선면 직달일사량

대기 중의 수증기나 작은 먼지에 흡수, 산란되지 않고, 태양으로부터 직접 지표면에 도달하는 일사를 말한다. 직달 일사량은 지표의 단위 면적이 단위 시간에 받는 일사열량을 나타낸다. 宇田川 공식에서는 K_t , K_{tc} 값의 관계에 따라 다른 식이 적용된다. 일반적으로, 태양의 고도와 크게 상관없이 이 두 변수 값은 일정한 값을 유지한다.

(4) 직산분리로 도출한 수평면 천공일사량

천공의 일부가 지상의 장애물 등으로 차단되는 경우에 그 부분을 제외하고 실제로 보이는 천공 부분에서 도래하는 확산일사이다. 宇田川 공식에서 직달일사량과 태양고도, 실측된 수평면 전일사량의 영향을 받는다. 태양고도가 낮을수록 감소하며 태양고도가 높아질수록 증가한다.

2.3.2 연직면 직달일사량과 연직면 천공일사량

(1) 연직면 직달일사량 도출

연직면 직달일사량은 다음과 같은 공식에 의해 도출할 수 있다. 태양 방위각을 고려하는 것은 방위에 따라 일사량이 입사하는 면적이 틀리기 때문에 시각에 따른 연직면 직달일사량을 구할 수 있기 때문이다. 건물이 받는 면이 이동하여 일사량을 받지 않기 때문에 본 실험에서는 면이 향하고 있는 방위각을 고정하여 연직면 직달일사량을 산출하였다.

$$J_v = J \cos h \cos (\alpha - \alpha') \quad (\text{식 2-20})$$

α : 태양 방위각

α' : 면이 향하고 있는 방위각

J_v : 연직면 직달일사량

J : 법선면 직달일사량

h : 태양고도

(2) 연직면 천공일사량 도출

일반적으로 천공일사량은 그 대상지역의 수평면을 기준으로 측정되는 일사량을 말한다. 연직면이면 천공에서 산란되는 천공일사량이 연직면 뒷면에는 도달하지 않는다. 따라서 연직면 천공일사량은 수평면 천공일사량의 절반으로 계산된다. (식 2-11)에서도 일사량이 도달하는 면을 수직으로 하였을 경우는 수평면의 절반으로 계산됨을 확인할 수 있다.

2.3.3 반사일사량 도출 방법의 추정 공식

연직면에서 들어오는 전일사량을 분석하면 다음과 같다.

$$J_{vt} = J_v + J_{vd} + J_{vr} \quad (\text{식 2-21})$$

J_{vt} : 연직면 전일사량

J_v : 연직면 직달일사량

J_{vd} : 연직면 천공일사량

J_{vr} : 연직면 반사일사량

즉, 상향 일사량을 도출하기 위해서는 연직면 전일사량에 연직면 직달일사량, 연직면 천공일사량을 뺀 값은 연직면에 들어오는 상향일사, 즉 해수면 반사일사량과 지면 반사일사량임을 알 수 있다. 유리창에 입사하는 일사량을 구할 때도 (식 2-21)을 활용한다. 하지만 연직면 반사일사량에 대한 고려는 일반적으로 하지 않기 때문에 실측실험을 통하여 반사일사의 유무를 확인을 해 볼 필요가 있다.

따라서 연직면 전일사량의 값이 연직면 직달일사량과 연직면 천공일사량의 합보다 상당히 큰 값이 나오게 되면, 연직면 반사일사량이 무시할 수 없는 수준의 양으로 연직면 전일사량에 포함되어 있는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 다음 장인 3장에서는 본 장에서 고안한 반사일사량 도출 방법을 실측 실험을 통해 확인하는 과정을 다루었다.

2.3.4 수평면 반사일사량 환산 공식

일사부하 계산은 수평면을 기준으로 하기 때문에 연직면 반사일사량을 수평면으로 환산하여 계산하는 과정이 필요하다. 연직면 상향 일사량을 부하계산이 가능한 수평면 상향 일사량으로 변환하는 도출과정은 다음 (식 2-22), (식 2-23)과 같다. 이러한 과정은 본 논문 4장의 냉방부하 분석에 적용된다.

$$J_{vR} = J_R \cos h \cos (\alpha - \alpha') \quad (\text{식 2-22})$$

$$J_{hR} = J_R \cdot \sin h \quad (\text{식 2-23})$$

α : 태양 방위각

α' : 면이 향하고 있는 방위각

J_{vR} : 연직면 반사일사량

J_R : 법선면 반사일사량

J_{hR} : 수평면 반사일사량

h : 태양고도



제 3 장 연직면 상향 일사 실험 분석

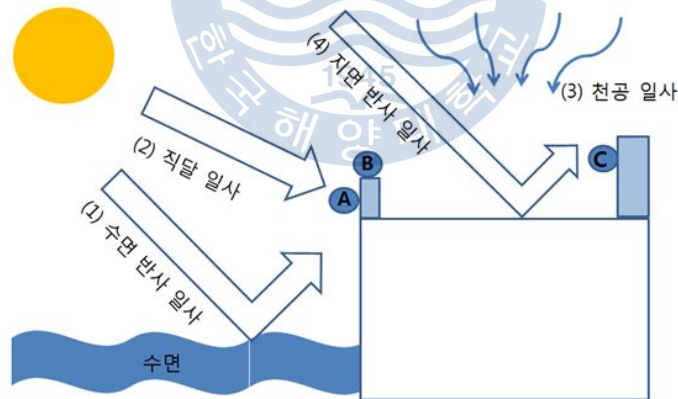
3.1 실측 실험에 반사일사량 추정 공식의 적용

2장의 2.3에서 설명한 내용을 도식화하면 [그림 3-1]과 같다.

A는 해수면을 바라보는 위치인 연직면에 설치한 일사계로 연직면 직달일사량, 연직면 해수면 반사일사량, 연직면 천공일사량이 측정된다.

B는 수평면에 위치한 일사계로 수평면 직달일사량, 수평면 천공일사량이 측정된다.

C는 지면을 바라보는 위치인 연직면에 설치한 일사계로 연직면 직달일사량, 연직면 지면 반사일사량, 연직면 천공일사량이 측정된다.



A (연직면 일사계 1) : 연직면 수면 반사일사 + 연직면 직달일사 + 연직면 천공일사

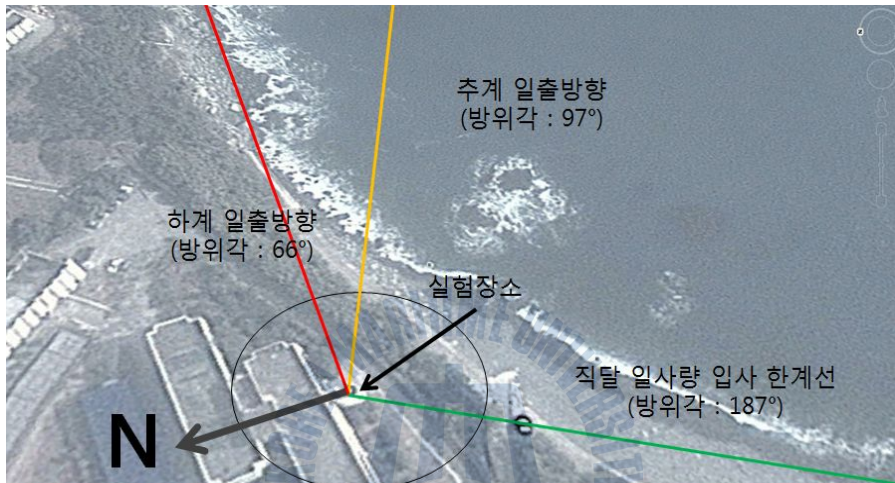
B (수평면 일사계) : 수평면 직달일사 + 수평면 천공일사

C (연직면 일사계 2) : 연직면 지면 반사일사 + 연직면 직달일사 + 연직면 천공일사

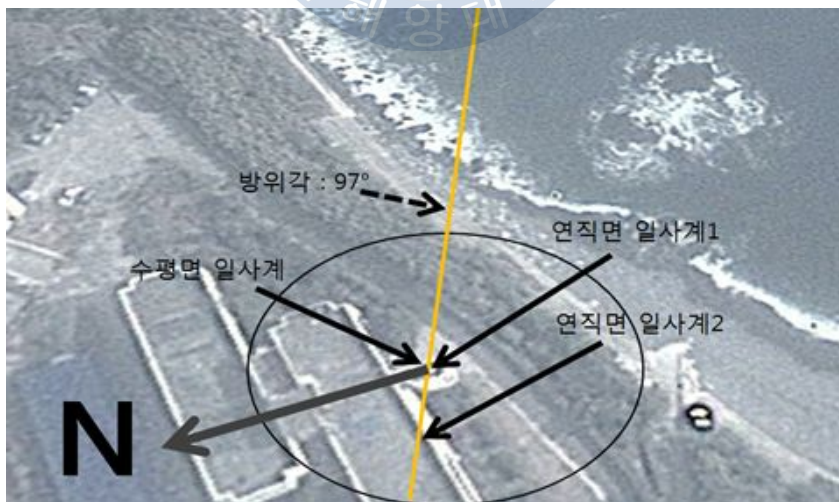
[그림 3-1] 상향 일사량 도출 과정 도식화

[그림 3-2]와 [그림 3-3]은 구글 어스(Google Earth)를 통해 실험장소를 살펴본 것이다. 직달 일사량 입사 한계선이란 방위각이 187° 를 넘어가게 되면 더 이상 직달일사량이 방위각 97° 를 바라보는 연직면에 도달하지 않기 때문에 표시한 선이다. 연직면의 방위각은 일출시점 97° 로 고정하여 실험을 진행하였다.

수평면 일사계를 제외한 연직면 일사계 두 개는 방위각 97° 을 바라보는 면으로 설치하였다. [그림 3-3]은 각 일사계의 위치이다.



[그림 3-2] 한국해양대 예섬회관 옥상



[그림 3-3] 각 일사계의 위치

3.1.1 실험 개요

(1) 실험장소 및 시간

실험은 영도에 위치한 한국해양대의 예섬회관으로 정하였다. 정상적인 실험을 위해서 주변의 간섭을 최대한 피하기 위해 하계보다는 추계에 실험을 진행하기로 했다. [그림 3-6], [그림 3-7]을 살펴보면 추계가 하계보다 방위각이 크기 때문에 해수면 위로 일출이 진행되는 시점이 명확하게 보이는 것을 알 수 있다.



[그림 3-4] 한국해양대 예섬회관 옥상-2

실험 시간대는 일출부터 정오까지 측정하였다. 또한 운량이 0~2인 맑은 날짜와 운량이 3이상인 날을 구분하여 실험을 진행하였다. 해수면에서 해당 건물까지의 거리는 약 52m이며 해수면으로부터 건물까지의 고도는 약 32m이다. 파고의 경우, 뷰 포트 스케일을 이용하여 2m가 넘지 않는 날짜를 선택했다.



[그림 3-5] 파노라마로 본 실험장소 전경



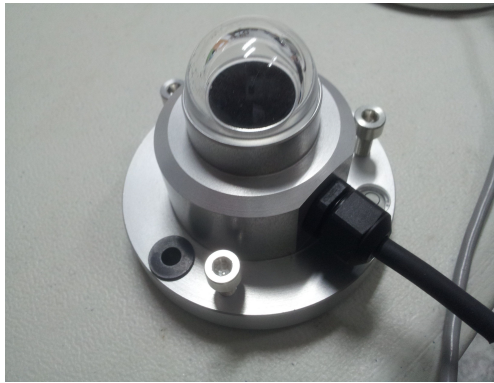
[그림 3-6] 하계의 일출

[그림 3-7] 추계의 일출

(2) 실험장비

[그림 3-8]은 일사계이며 [그림 3-9]은 데이터 로거, [그림 3-10]은 일사계의 거치대이다. 일사계는 수평면 전일사량을 측정하기 위한 일사계와 지면과 해수면 두 장소에 설치하기 위한 연직면 일사계를 포함하여 총 3개가 사용됐다.

일사계는 W/m^2 단위로 측정이 된다. 이를 J 단위로 환산하여, 최종적으로 $J/m^2 \cdot m$ (분 단위)으로 변환하였다.



[그림 3-8] 일사계



[그림 3-9] 데이터 로거



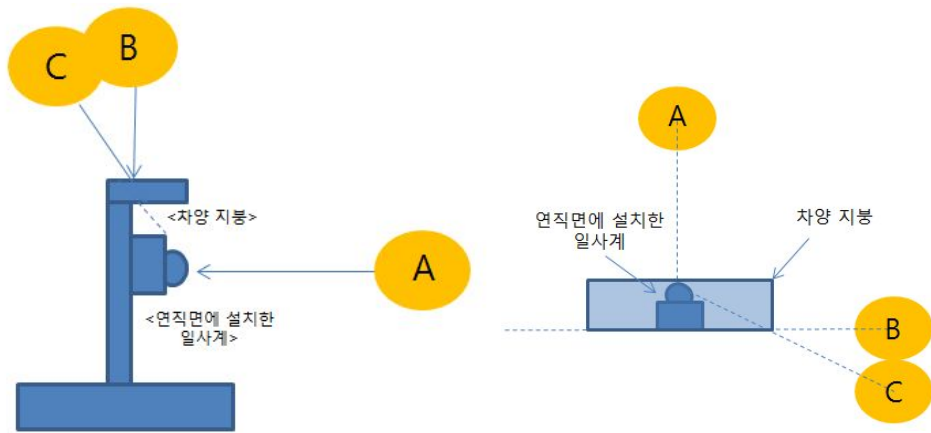
[그림 3-10] 일사계 거치대



[그림 3-11] 일사계 거치대 측면 도식화

(3) 일사계 거치대의 차양 설치

[그림 3-12]은 거치대 형태로 인한 직달일사량의 유입 및 차단 도식화이다. 일반적인 연직면의 경우 태양방위각이 A에서 B의 위치에 도달했을 때 연직면 직달일사량은 0이 된다. 하지만 차양 지붕이 없는 경우, 일사계의 등근 형태로 인해 연직면 직달일사량이 C의 위치까지 측정된다. 따라서 이러한 오류를 최소화하기 위해 실측실험에서는 차양 지붕을 설치하였다.



[그림 3-12] 일사계 거치대에 설치한 차양 지붕의 도식화

(4) 실험 장소 전경

[그림 3-13]은 일사계 설치 장소의 전경이다. 지면에 위치한 연직면 일사계는 해수면에 위치한 연직면 일사계에 비하면 동일한 방위각을 향하고 있지만 반사면적이 넓지 않다. 하지만 일반적으로 내륙지역에 위치한 건축물들도 넓은 반사면적을 갖추고 있지 않기 때문에 본 연구에서는 실험 장소에서 측정된 반사일사량을 내륙지역의 반사일사량으로 가정하여 지면 반사일사량을 추출하였다.

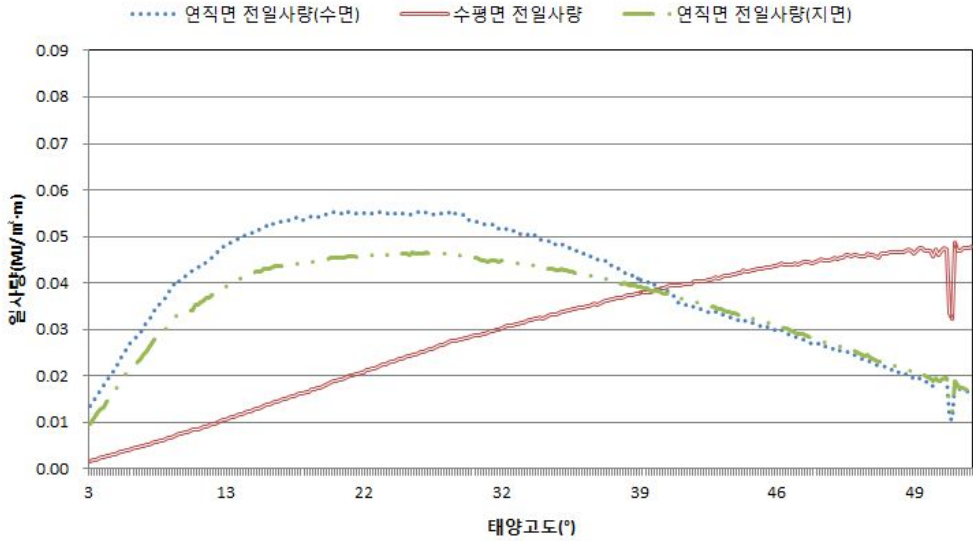
해수면에 위치한 연직면 일사계의 후방에 위치한 일사계는 해수면에서 상향하는 일사계가 차단되는 위치에 있으며 태양고도가 3° 이후일 때부터 직사광이 실측된다. 본 연구에서는 이를 착안하여 태양고도 3° 이후부터 실험을 진행하여 지면 반사일사량과 해수면 반사일사량을 비교하였다.



[그림 3-13] 일사계 설치 장소

3.1.2 실측 일사량

[그림 3-14]는 2013년 10월 4일에 실측된 일사량 그래프이다. 정오시간까지 실험을 진행하였으며 정오일 때 태양고도는 50° 이다. 연직면에 설치한 두 일사계를 각각 지면과 해수면에 설치하였고 나머지 하나는 수평면에 설치하여 실측하였다. 해수면상에 위치한 일사계에서 측정된 일사량이 지면에 위치한 일사계보다 일사량 값이 큰 것은 태양고도가 낮은 시점에서 해수면 반사율이 높다는 사실을 입증하는 데이터라고 할 수 있다.

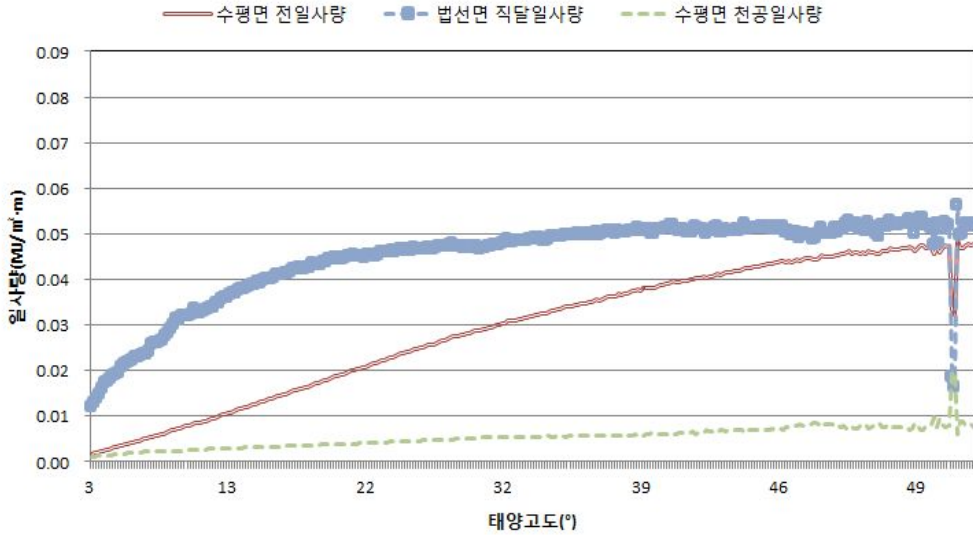


[그림 3-14] 10월 4일 실측 일사량

3.1.3 宇田川 공식에 의한 직산분리

[그림 3-15]는 2.6.1에서 설명한 宇田川 공식을 실측한 수평면 전일사량에 대입하여 각각 법선면 직달일사량과 수평면 천공일사량으로 도출한 것이다. 직산분리 식에 사용된 방위각과 태양고도는 KASI 천문우주지식정보 사이트에서 부산지역 데이터를 추출하여 사용하였다.

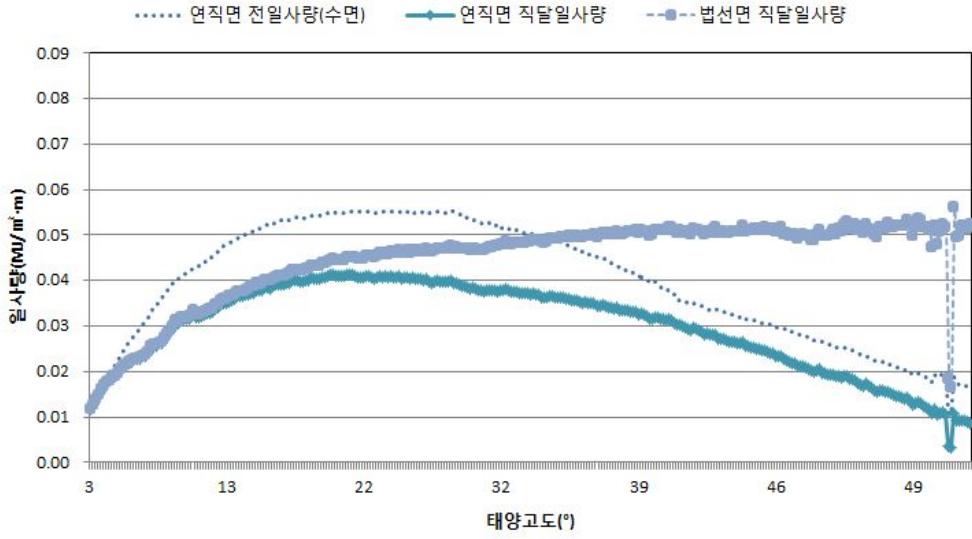
태양고도 32°이상을 기준으로 법선면 직달일사량은 큰 변화 폭이 없으며 수평면 전일사량은 태양고도에 비례하는 경향을 보인다. 또한 수평면 천공일사량은 큰 변화 없이 최대 0.01 MJ/m²·m을 나타내었다.



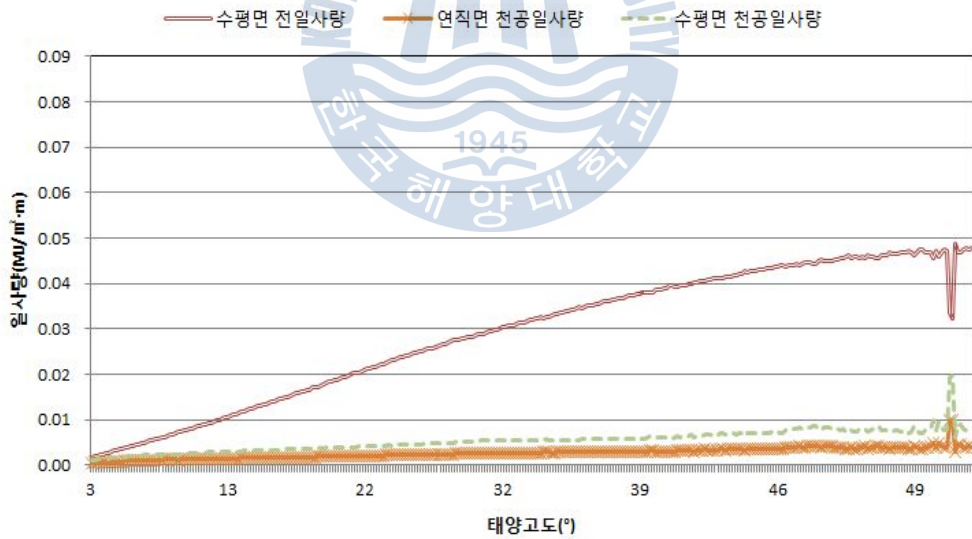
[그림 3-15] 실측 일사량의 직산분리

3.1.4 연직면 직달일사량 및 연직면 천공일사량 도출

2.3.2에서 설명한 연직면 직달일사량을 구하는 공식을 이용하여 [그림 3-16]의 그래프로 나타내었다. 연직면 직달일사량은 태양 방위각이 187° 일 때 더 이상 해당 연직면에 들어오지 않게 되므로 태양고도가 높아질수록 낮아지는 경향을 보인다. 법선면 직달일사량의 경우, 태양방위각을 따라 움직이면서 면과 태양이 수직을 이루기 때문에 태양이 연직면 후방으로 넘어가도 값이 0이 되지 않는다. [그림 3-17]은 수평면 천공일사량의 절반인 연직면 천공일사량을 수평면 천공일사량, 수평면 전일사량과 비교한 그래프이다.



[그림 3-16] 연직면 직달일사량 도출



[그림 3-17] 연직면 천공일사량 도출

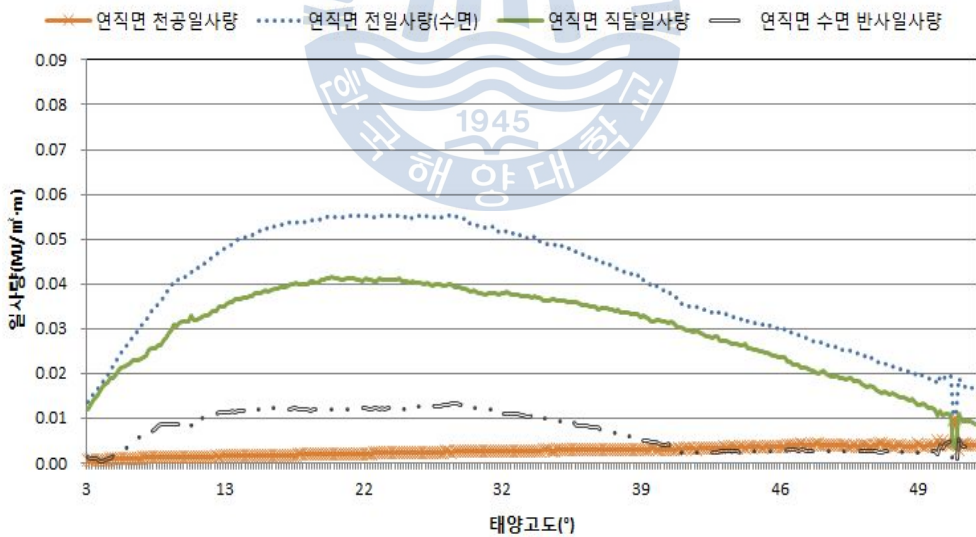
3.2 실측 실험의 상향 일사량 도출

3.2.1 해수면 반사일사량 및 지면 반사일사량

(1) 해수면 반사일사량

2.3.3에서 설명한 내용과 같이 연직면 전일사량에서 연직면 직달일사량, 연직면 천공일사량을 뺀 값은 상향 일사로 볼 수 있다. 이러한 상향 일사량은 연직면이 해수면을 향해 있는 경우, 지면을 향해 있는 경우에 따라 해수면 반사일사량, 지면 반사일사량으로 나눌 수 있다.

[그림 3-18]은 해수면을 향하는 연직면에서 측정된 연직면의 해수면 반사일사량과 도출과정에서 필요한 일사량을 나타내었다. 실험에서 측정된 해수면을 바라보는 연직면에서 측정된 반사일사량은 태양고도 약 42° 를 기점으로 연직면 천공일사량과 양이 거의 유사하게 나타난다.

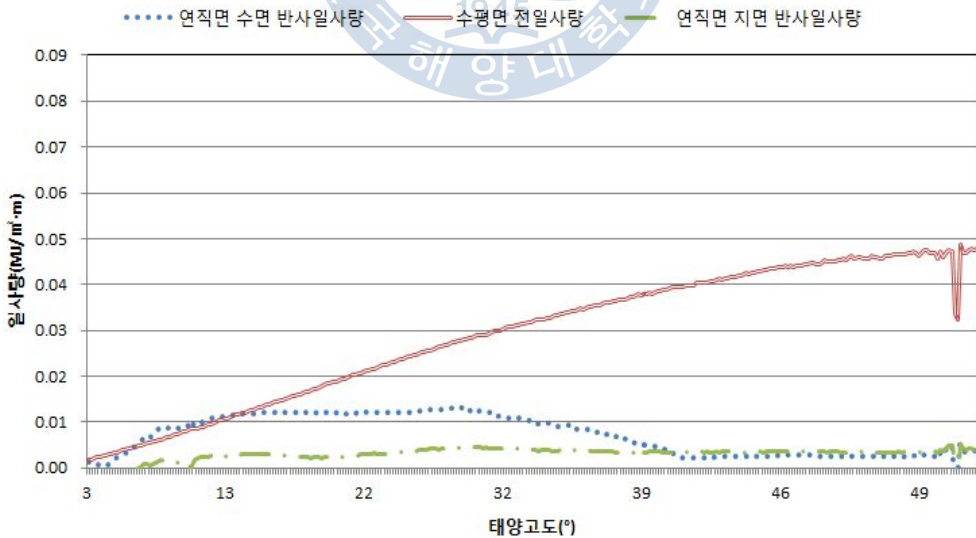


[그림 3-18] 연직면에 도달하는 해수면 반사일사량

(2) 지면 반사일사량

[그림 3-19]는 지면 반사일사량과 해수면 반사일사량을 비교한 그래프이다. 도출 과정은 두 반사일사량 모두 동일하다. 단, 지면 반사의 경우 지면을 바라보고 있는 연직면 일사계에서 측정된 일사량을 연직면 전일사량으로 가정하여 도출하였다. 그래프를 보면 지면 반사일사량은 태양고도가 낮은 시점에는 큰 값을 유지하다가 태양고도 42° 부근에서 해수면반사와 비슷한 양에 수렴한다. 반사율이 높은 해수면이 태양고도가 높은 시점에는 연직면에 많은 일사량을 공급하지 못하는 것으로 판단된다. 즉, 반사되는 일사량보다는 해수면 아래로 입사하는 일사량이 더 많아지는 시점이고 더불어 태양의 직사광에 의한 반사광이 감소함을 알 수 있다.

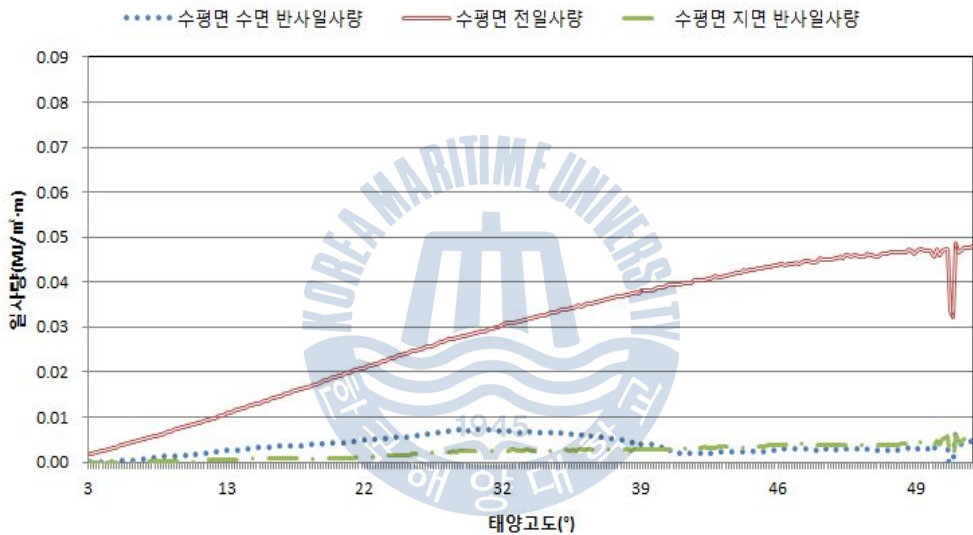
태양고도 42° 이후에는 지면반사일사량과 해수면 반사일사량의 값이 일정한 값에 수렴하는 경향을 보인다. 이는 태양고도가 올라가면 직사광에 의한 해수면 반사가 현저하게 감소되고 전방위에 대한 상향일사만 실험에서 실측된 것으로 예상된다. 즉, 42° 이후의 해수면 반사일사량은 태양고도 및 태양 방위각에 영향을 받지 않는다고 추정할 수 있다.



[그림 3-19] 연직면에 도달하는 해수면 및 지면 반사일사량

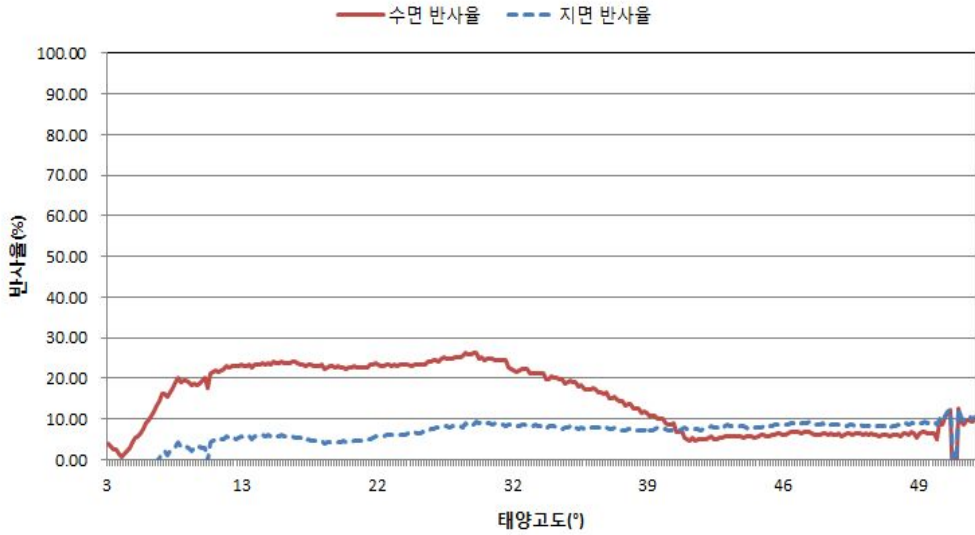
3.2.2 해수면 및 지면 반사율 도출

이론상으로 태양에 수평인 수면의 알베도는 0.50~0.80, 태양에 수직인 수면은 0.03~0.05이며 콘크리트의 알베도는 0.17~0.27이다.⁶⁾ 그러나 장소에 따라, 대기의 상태에 따라, 지표면의 모양에 따라 알베도는 다를 수 있다. [그림 3-20]은 [그림 3-19]에서 도출한 연직면 수면 및 지면 반사일사량을 수평면으로 환산한 것이며 [그림 3-21]은 수평면 전일사량에 대한 각 반사일사량의 반사율을 그래프로 나타낸 것이다. 이론상의 최대 반사율보다는 낮은 경향을 보였지만 태양 고도가 상승함에 따라 반사율이 감소할 것이라는 가정을 실험으로 확인하였다.



[그림 3-20] 연직면에서 수평면으로 환산된 반사일사량

6) 이승호 : 기후학 P.65

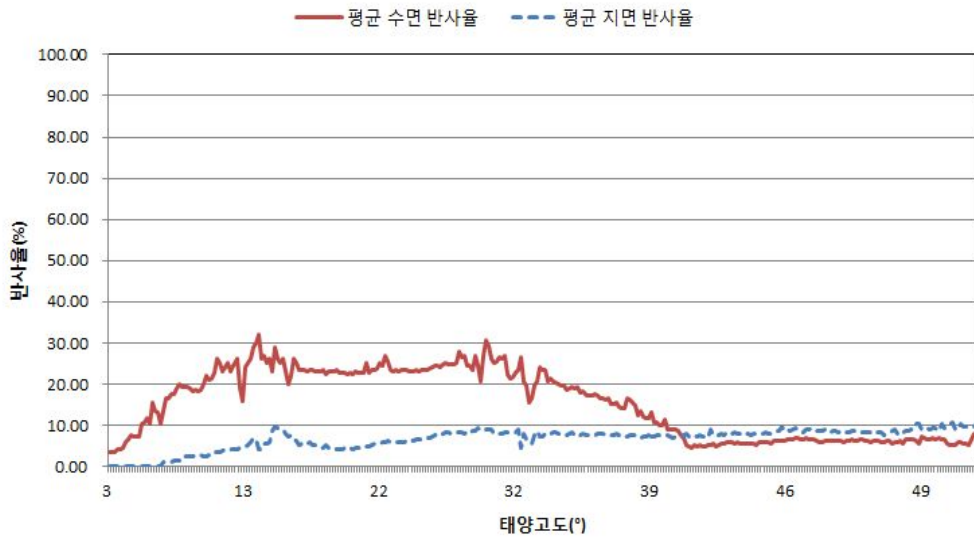


[그림 3-21] 해수면 및 지면 반사율

태양고도 42° 이후의 반사율은 지면 반사율이 수면 반사율보다 높다. 일반적으로 지면의 재질에 따라 지면 반사율의 편차는 매우 크다. 본 그래프가 지면 반사에 대한 전형적인 반사율을 보여주는 것은 아니지만 수면 반사율이 항상 지면 반사율보다 높지 않으며 태양고도가 낮은 시점에만 지면 반사보다 높다는 것을 보여주는 데이터이다.

3.2.3 해수면 및 지면 반사율의 평균 반사율

3.2.2까지는 청천공인 하루 분량의 일사량 데이터를 통해 수면 반사율의 도출 과정을 나타내었다. 3.2.3에서의 [그림 3-22]는 2013년 10월 1일부터 10월 31일 까지의 청천공 기준 날짜 7일치를 추출하여 시간당 평균 해수면 및 지면 반사율을 나타낸 것이다. 뷰 포트 스케일 1등급에 해당된다. 대체적으로 [그림 3-21]과 동일한 경향을 나타내었다.



[그림 3-22] 평균 수면 및 지면 반사율

실험을 통해 해수면 반사율보다는 태양고도가 낮을수록 반사율이 높은 경향을 확인하였다. 또한 태양고도가 낮은 시간대에서는 수면 반사율이 지면 반사율에 비해 낮다는 것을 알 수 있었다. 그리고 수평면에 도달하는 해수면 반사 일사량은 수평면 전일사량에 대해 약 최대 30%의 비율로 도출되었다.

[그림 3-21]의 평균 반사율인 경우, 한달동안 측정된 데이터의 평균값이므로 태양방위각의 변화 폭이 크지 않다. 하지만 절기가 다를 경우 태양방위각의 차이가 크기 때문에 추계에 실측한 데이터를 하계에 적용이 불가능하다. 따라서 실측실험 날짜를 제외한 다른 날짜에 도출한 반사율을 적용하기 위해서는 태양 방위각별로 반사율 도출이 필요하다.

제 4 장 해수면 반사일사를 고려한 냉방부하 검토

4.1 해양건축물의 냉방부하 개요

[표 4-1]은 일반적인 육상 건축물, 선박, 해양건축물의 부하계산에 있어서 고려해야 할 부하요소들을 비교한 것이다. 선박의 경우는 냉방부하계산에 있어서는 객실의 외부에 면한 문이 없으며 창이 기밀성이 높기 때문에 틈새바람에 의한 부하를 고려하지 않는다. 그리고 유리의 면적이 적기 때문에 유리창을 통한 일사부하는 고려하지 않는다. 또한 난방부하의 계산에는 전열부하와 환기부하만을 고려하고 있어 육상의 건축물과는 상당한 차이가 있다.

한편 연안역의 육역에 건설되는 해양건축물은 일반 육상건축물의 부하계산에 준하여 계산한다. 부유식 해양건축물의 경우에도 일반 육상건축물의 부하계산에 준하여 계산하면 되지만 1층 부분은 월파에 의한 해수의 침수를 방지하기 위한 수밀구조로 해야 하기 때문에 기밀성이 우수하여 침입외기에 의한 부하는 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

7) (社)日本造船學會造船設計委員會第2分科會 編(1970), JSDS-I・6 造船艙裝設計基準 船用空氣調和裝置設計基準 船舶の通風裝置設計基準, 海文堂

[표 4-1] 부하계산 시 해양건축물, 육상건축물, 선박의 부하요소 비교

부 하 구 성 요 소		냉방부하				난방부하			
		육상 건축물	선박	해양건축물		육상 건축물	선박	해양건축물	
				연안역	부유식			연안역	부유식
실 내 부 하	유리창 투과 일사부하	○	×	○	○	△	×	△	△
	전열부하	○	○	○	○	○	○	○	○
	투습 열부하	△	×	△	△	△	×	△	△
	틈새바람 열부하	○	×	○	△	○	×	○	△
	실내발열부하	○	○	○	○	△	×	△	△
	간헐공조에 따른 축열부하	△	—	△	△	○	—	○	○
장 치 부 하	실내부하	○	○	○	○	○	○	○	○
	송풍기에 의한 부하	○	○	○	○	×	×	×	×
	덕트 통과 열부하	○	○	○	○	○	×	○	○
	재열부하	○	○	○	○	—	—	—	—
	외기부하	○	○	○	○	○	○	○	○
열 원 부 하	장치부하	○	—	○	○	○	—	○	○
	펌프에 의한 부하	○	—	○	○	×	—	×	×
	배관통과 열부하	○	—	○	○	○	—	○	○
	장치 축열부하	×	—	×	×	△	—	△	△

○ 고려 × 무시 △ 무시(영향이 크다고 생각될 때는 고려)

주) 연안역 해양건축물은 연안역의 육역에 건설된 해양건축물을 말함

일사 부하의 계산방법은 해양 건축물과 일반 육상건축물은 동일하다. 하지만 해수면에 면한 벽체나 유리창을 통해 실내로 유입되는 일사량은 3장에서 차이가 있음을 확인하였으므로 해양건축물의 경우 육상과 다른 계산방법의 적용이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 본 장에서는 3장에서 도출한 반사일사량을 토대로 냉방부하에 대한 시뮬레이션 검토를 진행하였다.

4.1.1 냉방부하 계산에 포함된 일사부하

(1) 유리창을 통한 열부하

현재 여름철, 일사에 의한 냉방부하 계산 시 유리창을 통해서 들어오게 되는 표준 일사열 취득에 관한 값은 다음의 [표 4-2]을 참조하여 계산을 하고 있다.

[표 4-2]은 계절별(대표일), 방위별, 시각별로 구분되어 있으나 내륙지역과 워터프론트 지역의 구분은 없는 실정이다. 참조된 값은 SHGC(Solar Hear Gain Coeff)에 활용된다.⁸⁾

표준 일사열 취득은 수평면 전일사량을 기준으로 한다. 따라서 이러한 지표를 시뮬레이션에 이용하기 위해선 환산된 수평면 반사일사량을 활용해야 한다.

[표 4-2] 여름철, 유리창에서의 표준 일사열 취득

하계, 7월 23일 (kcal/m ² · h)											
방 위	시						각				
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
수평	243	440	602	732	816	844	816	732	602	440	243
N 그늘	53	33	40	45	49	50	49	45	40	33	53
NE	447	406	277	117	49	50	49	45	40	33	24
E	554	573	506	363	159	50	49	45	40	33	24
SE	323	339	412	363	255	120	49	45	40	33	24
S	24	38	62	117	164	181	164	117	62	33	24
SW	24	38	40	45	49	120	255	363	412	399	323
W	24	38	40	45	49	50	159	363	506	573	554
NW	24	38	40	45	49	50	49	117	277	406	447

주)일본 공기조화, 위생공학, Vol.46 No.3, 유리창에서의 표준 일사열 취득

(2) 벽체(지붕)을 통한 열부하

벽체(지붕)을 통한 열부하는 일사 영향을 고려할 때 (식4-1)과 같은 식으로 계산한다. 상당외기온도차(Equivalent Temperature Difference)는 일사를 받는 외벽이나 지붕과 같이 열용량을 갖는 구조체를 통과하는 열량을 산출하기 위하여 외기온도나 태양의 일사량을 고려하여 정한 온도인 상당외기온도와 실내온도의 차이이다.

$$H_w = K \cdot A \cdot \Delta \Theta_e \quad (\text{식 4-1})$$

K : 열관류율 [kcal/m²·h·°C]

A : 열전달면적 [m²]

8) SHGC : 태양복사에너지에 대한 취득율을 나타내는 지표. 지표가 낮을수록 일사 투과량이 적으며, 높을수록 투과하는 일사량이 크다.

θ_e : 상당외기온도차

4.1.2 부하계산을 위한 ECOTECT 시뮬레이션

(1) 시뮬레이션 개요

본 연구에서 활용한 시뮬레이션은 Autodesk ECOTECT Analysis이다. 2000년대 Square One Research Ltd.에서 개발된 ECOTECT를 Autodesk에서 2008년 6월에 인수하여, 출시한 건축분야의 환경분석 및 평가 소프트웨어다.

ECOTECT는 건물의 친환경 및 에너지 관련 성능을 손쉽게 평가할 수 있는 여러 기능들을 제공한다. 특히, 설계 초기단계에서 건축가가 해당지역의 기후 특성을 분석하거나 건물의 다양한 성능을 평가할 수 있는 적합한 기능을 제공하는데, 이는 친환경 건축물 및 저에너지 건축물을 구현을 위한 건축계획안 구상에 많은 도움을 줄 수 있다.

(2) 시뮬레이션 활용

부산 기후데이터의 수평면 전일사량 데이터에 3장에서 도출한 수평면 반사일사량의 합으로 일사부하를 분석하였다. ECOTECT는 냉방부하 계산에 필요한 유리창을 통한 열부하, 벽체를 통한 열부하, 축열을 모두 고려하므로 다양한 방면으로 분석이 가능하다. 하지만 본 연구에서는 경우의 수를 최소화하여 가장 일반적으로 고려될 수 있는 모델을 선정하였다.

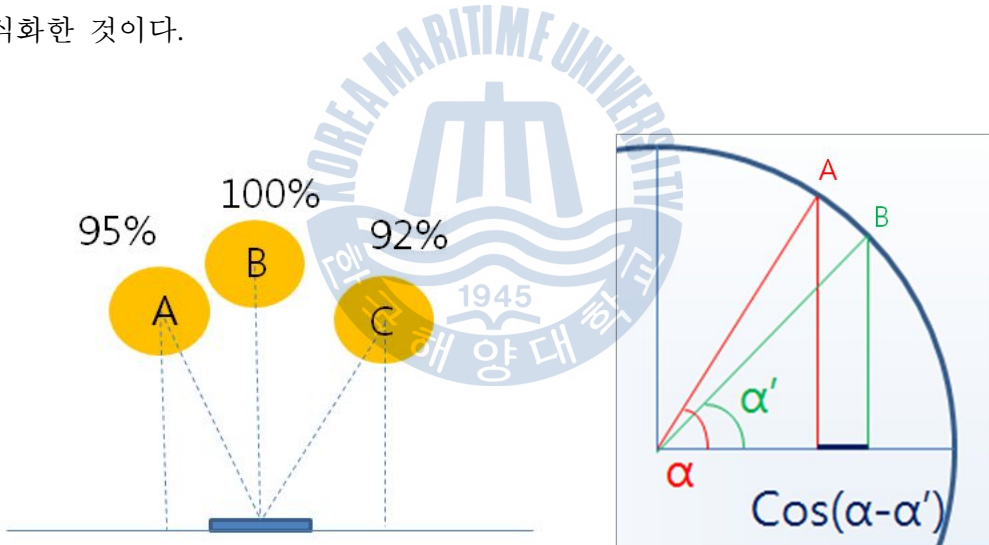
4.2 부하 계산에 적용 가능한 환산 일사량의 도출

4.2.1 태양방위각에 따른 반사일사량 도출 방법

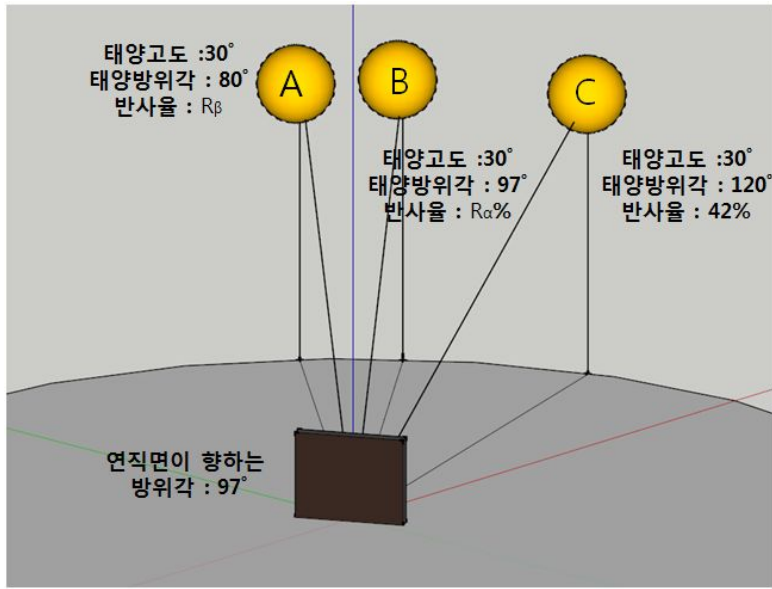
(1) 코사인 법칙에 의한 태양방위각별 일사량

일사량은 코사인 법칙에 의해 일사방향에 수직인 면에서 가장 크고 입사각의 코사인값에 따라 점점 작아진다. 즉, [그림 4-1]의 태양을 바라보는 면적이 수직인 B의 경우에는 그 시각의 일사량 에너지를 100% 받을 수 있다. 하지만 태양 방위각이 좌우측으로 떨어진 B와 C의 경우에는 측정되는 일사량이 감소한다. 이를 이용하여 태양방위각 및 태양고도 별로 일사량을 구할 수 있다.

[그림 4-2]은 방위각에 따른 일사량이 감소하는 A, B, C의 경우를 입체적으로 도식화한 것이다.



[그림 4-1] 방위각에 따른 일사량의 감소



[그림 4-2] 방위각에 따른 일사량 감쇠의 도식화

(2) 코사인 법칙을 이용한 태양방위각별 일사량 감쇠 수식

일반적으로 태양고도가 같아도 태양방위각이 다르면 일사량을 받는 면적의 총량은 다르다. 따라서 해수면 반사일사를 장소에 따라, 계절에 따라 적용하기 위해서는 태양고도와 태양방위각을 고려할 필요가 있다.

$$R / \cos(\alpha - \alpha') = R_{\alpha} \quad (\text{식 4-2})$$

$$R_{\alpha} \times \cos(\beta - \beta') = R_{\alpha'} \quad (\text{식 4-3})$$

R : 기준 실험의 반사율

α : 기준 실험의 태양방위각

α' : 기준 실험에서의 해당 면의 방위각

β : 반사율을 구하고자 하는 날짜의 태양방위각

β' : 반사율을 구하고자 하는 날짜에서의 해당 면의 방위각

R_{α} : 태양방위각에 따라 해당 면이 이동한 반사율

$R_{\alpha'}$: 해당 태양방위각에서의 반사율

R_a 는 R_a' 를 구하기 위한 값으로, 기준 실험에서 구한 반사율을 일사량을 받는 면의 방위각을 태양방위각과 동일하게 변환한 것이다. 이것은 3장에서 실험한 연직면은 방위각이 97°로 고정된 값이므로 면이 태양방위각에 따라 이동하도록 값을 보정하는 과정이다. 이는 2장에서 설명한 코사인법칙을 이용하여 수직인 면에서 받는 일사량이 태양방위각이 변화함에 따라 감소하는 정도를 계산하는 것과 동일하다.

R_a' 는 반사율을 구하고자 하는 날짜의 태양방위각과 방위각이 고정된 면을 이용하여 반사율을 구한 값이다. 이 값을 이용하면 태양고도 및 태양방위각별로 연직면에 도달하는 반사율을 구할 수 있으며 최종적으로, 수평면으로 환산한 수평면 반사율을 나타낼 수 있다.

4.2.2 실측 실험과 계산된 값의 비교

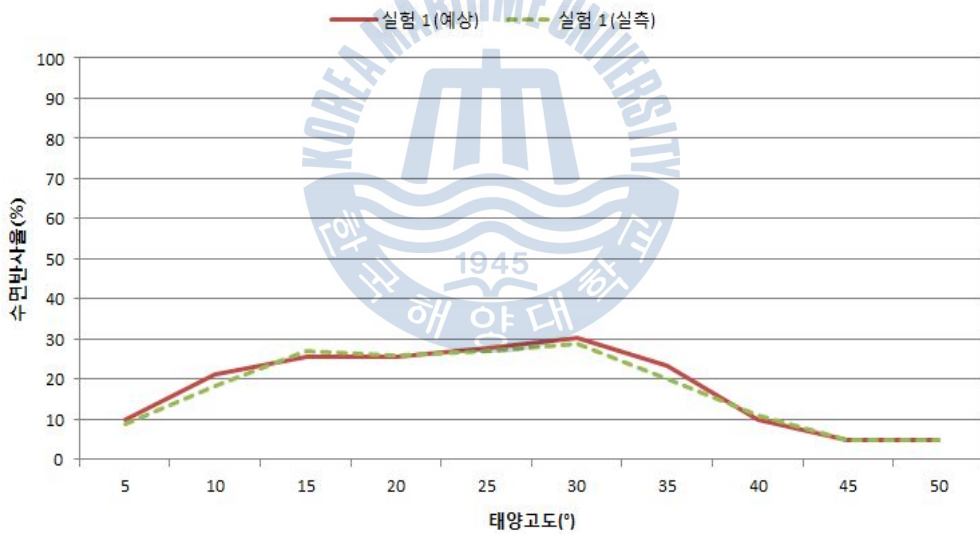
본 연구에서는 태양방위각에 따른 코사인 법칙이 반사율에 적용 가능한지의 여부를 실험을 통해 확인해 보았다. [표 4-4]를 바탕으로 [그림 4-3], [그림 4-4], [그림 4-5]을 통해서 실측된 반사율과 수식을 통해 구한 반사율의 차이가 크게 없음을 알 수 있다. 이는 수식에 의한 반사율 도출이 가능하다는 것으로 판단된다. 여기서 실측 반사율과 비교해 놓은 예상 반사율은 3장에서 도출한 [그림 3-20]의 해수면 반사율을 (식 4-2), (식 4-3)을 이용하여 구한 것을 말한다.

[표 4-3] 기준 실험의 태양방위각 및 반사율

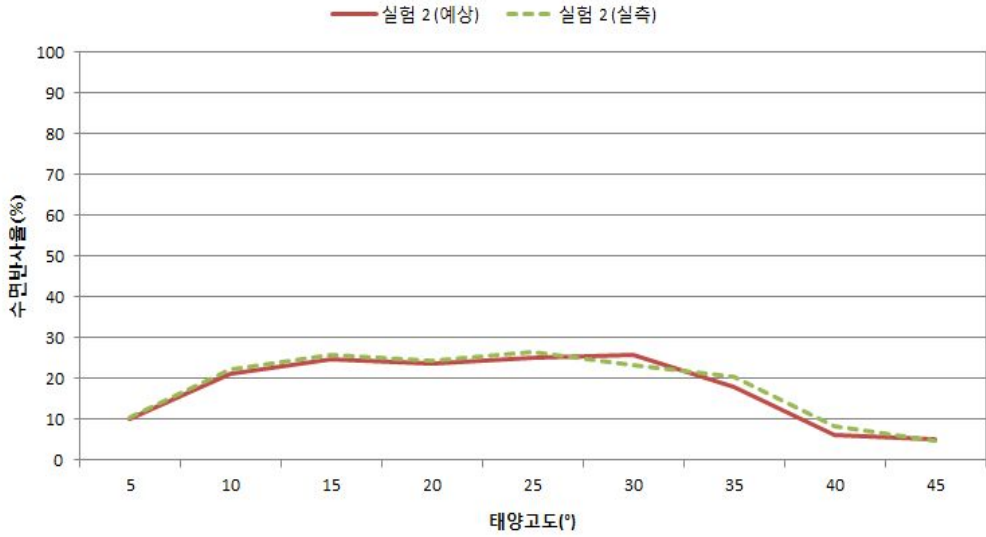
태양고도	태양방위각	반사율(%)
5	97	10.2
10	102	21.5
15	106	25.4
20	110	24.8
25	115	26.4
30	120	28.3
35	127	20.7
40	136	8.2
45	147	7.8
50	175	7.6

[표 4-4] 실험별 태양고도 및 태양방위각

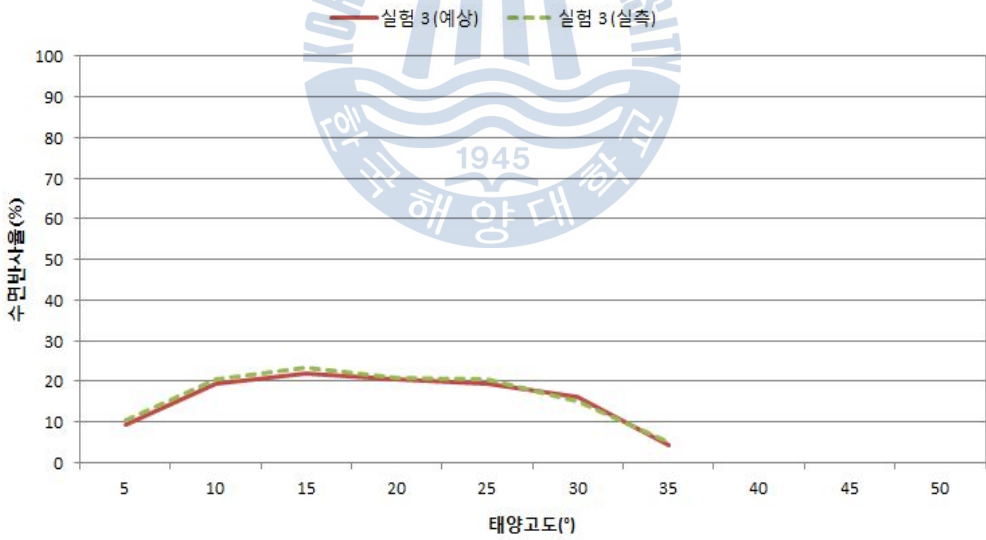
태양고도(°)	실험 1 (2013.9.5)		실험 2 (2013.10.15)		실험 3 (2013.11.20)	
	태양방위각(°)	반사율(%)	태양방위각(°)	반사율(%)	태양방위각(°)	반사율(%)
5	85	9.5	104	10.5	118	10.1
10	89	18.2	109	22.4	123	20.5
15	92	27.5	112	25.7	128	23.6
20	97	26.2	119	24.5	133	21.0
25	100	26.5	122	26.3	142	20.5
30	105	29.0	130	23.2	155	15.3
35	109	20.3	138	20.4	177	5.2
40	118	11.4	152	8.5		
45	123	4.8	172	4.9		
50	135	4.7				



[그림 4-3] 실험 1의 예상수치와 실측수치의 비교



[그림 4-5] 실험 2의 예상수치와 실측수치의 비교



[그림 4-5] 실험 3의 예상수치와 실측수치의 비교

4.3 해수면 반사일사를 고려한 시뮬레이션 분석

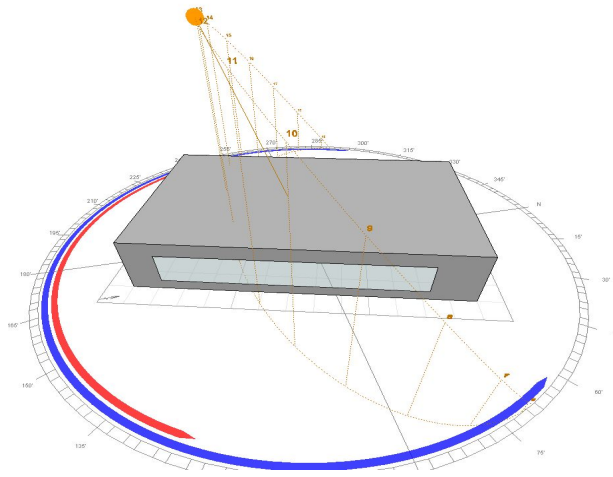
4.3.1 반사일사 적용의 개요

냉방부하에 따른 일사부하의 영향을 일반화하는 것은 매우 난해하다. 해당 날짜의 기후와 건물 방위 및 수평면 전일사량의 크기, 주변 지형의 일영에 따라 일사부하는 크게 다를 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 환경적 특성요인을 모두 고려하는 것이 아니라 최대부하를 나타낼 수 있는 조건으로만 시뮬레이션 검토를 실시하였다. 건물의 면을 3장에서 실시한 실험의 연직면 방향과 동일하게 하고 또한 주변 지형에 대한 영향을 무시하며 최대부하가 산정되는 날짜만 시뮬레이션 검토를 실시했다.

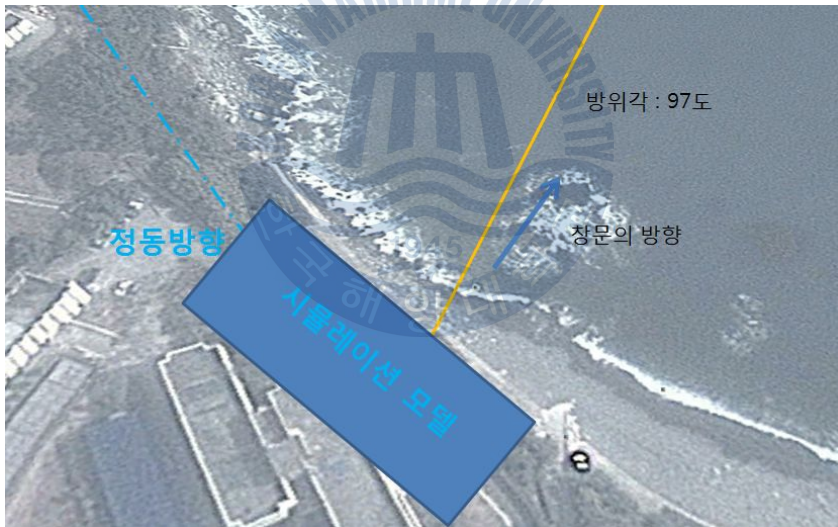
4.3.2 모델링

[그림 4-6], [그림 4-7]과 같이 건물 방위를 실험장소와 같은 향으로 설정하고 임의의 건물을 ECOTECT를 이용하여 모델링하였다. HAVC 시스템은 공조기만으로 냉방과 난방을 하는 Air-Conditioning을 사용하였고 나머지 기타 부재의 관류율은 건축물 에너지절약 설계기준을 따랐다.

모델링은 실제 실험의 연직면과 동일한 방향으로 설정하였다. [표 4-6]와 [표 4-7]은 모델링의 제원과 부속적으로 설정한 사항을 정리한 표이다. 본 연구의 모델은 일반적인 오피스 건물을 참고하여 설정하였다.



[그림 4-6] 시뮬레이션 모델



[그림 4-7] 시뮬레이션 모델의 실험 장소 적용

[표 4-5] 시뮬레이션 모델의 제원 및 관류율

Zone	Material	U-Value [W/ m ² ·K]
Wall	ConcBlockPlaster	0.480
Floor	ConcSlab_Carpeted_OnGround	0.470
Window	DoubleGlazed_LowE-AlumFrame	2.400
Door	SolidCore_Pine Timber	2.400
Roof	ConcSlab_OnGround	0.220

[표 4-6] 시뮬레이션 모델의 개요

항목	내용
건물 위치	부산
건물 형태	주변의 간섭이 없는 개방형
건물향	동남향(3장 실험 방향과 동일)
건물 면적	104 m ²
건물 층수	1층
최적 온도	18 ~ 26°C
재실인원	오피스 일반 기준(12 m ² ea)
Active System	Full Air Conditioning
풍속	0.5m/s
습도	60%
착의량	1.00(clo)
Lighting Level	400 lux
Internal Gains	10(Sensible Gain)
창 면적비	50%
최대 냉방부하	8월 4일 16:00 (4403W)

4.3.3 시뮬레이션 분석을 위한 환산일사량 적용

[표 4-7]은 4.2.1에서 설명한 환산 반사율을 시뮬레이션 모델에 적용하여 반사율을 도출한 것이다. 표에서 표기한 '실측 실험을 통해 도출한 해수면 반사율'이란 3장의 [그림 3-21]의 수면 반사율이며, 이를 기준으로 하여 최대 냉방부하가 발생하는 8월 4일의 수면 반사율을 예측하였다. 예측된 반사율을 '시뮬레이션의 예상 반사율'로 표기하였다.

[표 4-8]은 시뮬레이션에 필요한 환산 일사량 도출과정 항목이다.

[표 4-7] 환산 반사율 도출과정 항목

시간	실측 실험의 태양고도 (°)	실측 실험의 태양방위각 (°)	시뮬레이션의 태양방위각 (°)	실측 실험을 통해 도출한 해수면 반사율(%)	시뮬레이션의 예상 반사율(%)
6시	3	97	71	3.2	2.7
7시	15	106	79	26.1	25.0
8시	28	118	87	27.4	28.4
9시	40	136	96	8.2	10.3
10시	50	175	108	5.0	5.0

[표 4-8] 환산 일사량 도출과정 항목

시간	해당 날짜의 수평면 전일사량 (W)	해당 날짜의 수평면 직달일사량 (W)	해당 날짜의 연직면 반사일사량 (W)	해당 날짜의 수평면 반사일사량 (W)	해수면 반사일사가 고려된 수평면 전일사량 (W)
6시	219	198	104	5	224
7시	417	348	358	87	504
8시	511	399	248	111	622
9시	572	422	106	43	615
10시	615	434	87	21	636

4.3.4 냉방부하 분석

(1) 해수면 반사일사량이 적용된 냉방부하와 기존 냉방부하의 비교

4.5.3에서 적용한 수평면 전일사량을 ECOTECT 기후 데이터에 삽입하여 냉방부하 분석을 실행하였다. 태양방위각과 태양고도의 영향이 없는 태양고도 50° 이후의 해수면 반사일사량은 고려하지 않았다.

[표 4-9]은 경우별 공조기 작동시간이다. 그리고 [표 4-10]은 CASE별 냉방부하이다. [표 4-10]에서 각 CASE 별 옆에 있는 CASE (숫자)의 의미는 해수면 반사일사량을 적용한 냉방부하 계산값을 말한다.

CASE 1의 경우 6시부터 가동하며, CASE 2의 경우에는 7시부터 가동된다. CASE 1과 2의 냉방부하가 8시까지의 동일하다가 9시의 냉방부하에서 일찍 가동한 CASE 1의 냉방부하가 CASE 2보다 작다. 이는 축열로 저장된 일사량이 그 시간대에 즉각적으로 부하에 영향을 주는 것이 아니라 2시간 이후에 영향을 주는 것으로 판단할 수 있다. CASE 2와 3, CASE 3과 4를 비교해도 동일하다.

마찬가지로 CASE 1'과 CASE 2'의 경우, 8시까지의 동일한 냉방부하가 발생하지만 CASE 1'의 9시 냉방부하가 2739W이고, 동일한 시각에 CASE 2'는 3031W로 상승하였다. 즉 해수면 반사일사량이 적용된 경우에도 2시간 이후에 부하가 상승하였다.

[표 4-9] CASE 별 공조기 작동시간

경우별	공조기 작동시간
CASE 1	06:00~19:00
CASE 2	07:00~19:00
CASE 3	08:00~19:00
CASE 4	09:00~19:00

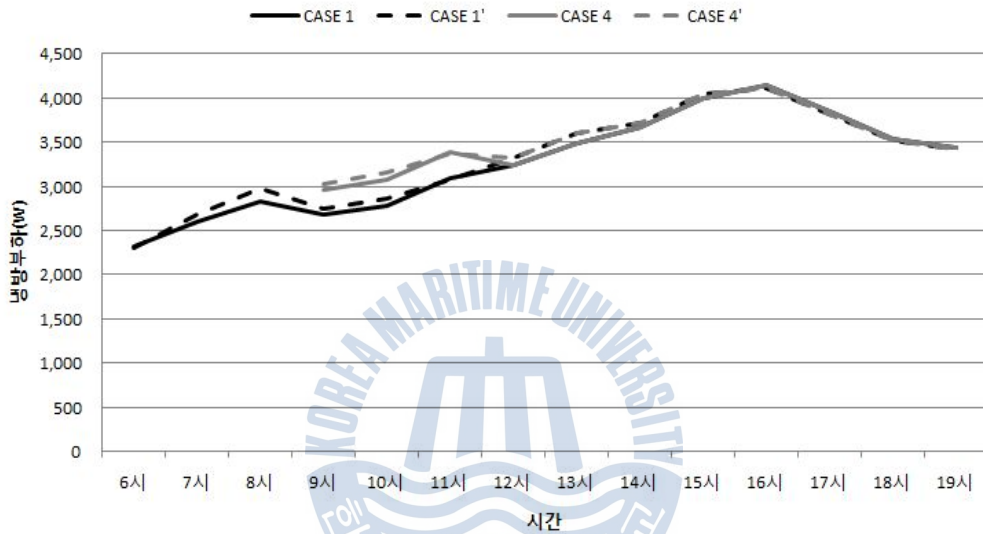
[표 4-10] CASE 별 냉방부하

시간	CASE 1	CASE 1'	CASE 2	CASE 2'	CASE 3	CASE 3'	CASE 4	CASE 4'
6시	2310	2304						
7시	2598	2687	2598	2687				
8시	2822	2976	2822	2976	2822	2976		
9시	2672	2739	2965	3031	2965	3031	2965	3031
10시	2781	2859	2781	2859	3077	3157	3077	3157
11시	3093	3072	3093	3072	3093	3072	3392	3373
12시	3242	3325	3242	3325	3242	3325	3242	3325
13시	3490	3594	3490	3594	3490	3594	3490	3594
14시	3669	3710	3669	3710	3669	3710	3669	3710
15시	4000	4041	4000	4041	4000	4041	4000	4041
16시	4142	4116	4142	4116	4142	4116	4142	4116
17시	3849	3849	3849	3849	3849	3849	3849	3849
18시	3528	3528	3528	3528	3528	3528	3528	3528
19시	3434	3434	3434	3434	3434	3434	3434	3434
합계	45630	46234	43613	44222	41311	41833	38788	39158

*단위 : W * CASE 숫자' : 해수면 반사일사가 고려된 냉방부하

(2) 스케줄에 따른 분석

[표 4-10]의 CASE 1과 CASE 4를 비교하면 [그림 4-7]과 같다. 해수면 반사일사에 의해 냉방부하 상승한 정도를 표기한 [표 4-11]를 보면 오전 시간대에 최대 5.4%가 상승함을 알 수 있다. 또한 모든 경우의 수에서 16시 이후의 부하는 수면 반사를 고려하지 않은 부하와 동일한 결과를 나타내었다.



[그림 4-7] CASE 1과 CASE 4의 냉방부하 비교

[표 4-11] CASE 별 냉방부하 상승률

시간	CASE 1의 상승률(%)	CASE 2의 상승률(%)	CASE 3의 상승률(%)	CASE 4의 상승률(%)
6시	0.2			
7시	3.4	3.4		
8시	5.4	5.4	5.4	
9시	2.5	2.2	2.2	2.2
10시	2.8	2.8	2.6	2.6
11시	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
12시	2.6	2.6	2.6	2.6
13시	3.0	3.0	3.0	3.0
14시	1.0	1.1	1.1	1.1
15시	1.0	1.0	1.0	1.0
16시~19시	0	0	0	0

4.4 소결

본 장에서는 건축물 에너지 절약 설계기준에 맞는 모델링을 통해 냉방부하 검토를 실시하였다. 또한 코사인 법칙을 이용하여 태양방위각에 따른 일사량의 감쇠를 실험을 통해 확인하는 과정을 다루었다. 즉 부하 계산을 하고자 하는 날짜의 태양고도 및 태양방위각 정보를 통하여 해당 날짜의 반사일사량을 시각 별로 도출할 수 있음을 확인하였다. 추정된 반사일사량과 기존의 수평면 전일 사량의 합으로 냉방부하 분석을 진행하였다.

시뮬레이션 분석을 한 결과, 수면 반사일사를 고려한 경우에 약 최대 5%의 증가를 나타내었다. 이는 안전율을 통상적으로 최대부하의 10%를 가산하는 것을 고려하면 안전율 범주 내에서 부하가 상승함을 알 수 있었다.

또한 공조기의 스케줄에 따라 냉방부하를 검토한 결과, 이른 시간에 공조기를 가동한 경우가 에너지부분에서는 손해이지만 부하의 최대 피크치가 감소함을 알 수 있었다. 따라서 해수면 반사일사량으로 인해 해수면을 바라보는 위치의 건물의 냉방부하가 안전율을 상회할 만큼 크지는 않지만 부하의 피크치가 상승하므로 공조기의 용량 산정 및 부하 설정을 재검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

제 5 장 결론

본 연구는 해수면 반사 일사량에 관한 연구로 해수면 반사 일사가 하절기에 냉방부하의 증가에 영향이 클 것이라는 가정으로 연구를 진행하였다. 반사각 및 입사각의 원리에 따라 태양고도에 따라 반사율이 다르며, 알베도가 태양고도 0° 에서 30° 부근에 많은 반사 일사가 연직면에 도달한다는 이론적 고찰을 하였다. 그리고 연직면 반사일사량을 냉방부하 계산에 적용하기 위해서 일사량이 입사하는 면적을 수평면으로 환산하였다. 또한 태양방위각 별로 연직면이 받는 일사량이 감소함을 확인하였다. 이것을 근거로 태양방위각 및 태양고도별 반사율을 해당 실험에서 추출하여 시뮬레이션 검토에 활용하였다.

기존의 반사 일사를 구하는 알베도계 대신에 연직면을 대상으로 태양복사에너지의 성분 분리 공식을 통해 연직면 반사일사량을 구하였다. 이를 수평면으로 환산했을 때, 태양고도가 낮은 시점에서는 수평면 전일사량 대비 거의 30%에 가까운 반사율을 나타냈다. 태양고도가 낮을 때, 알베도 이론에 의해 해수면은 최대 50%의 반사율을 나타낼 수 있지만 실험결과가 최대 반사율에 미치지 못하였다. 하지만 태양고도가 낮은 시점에서 높아 질 때 반사율이 낮아지는 경향을 확인하였다.

반사율은 실험 방법, 장소, 기상상태 등의 요인으로 변동이 있을 것으로 추정되므로 본 연구와 다른 방법으로 해수면 반사일사를 분석할 경우 최대 반사율이 상이할 수 있다. 하지만 태양고도에 따른 경향은 동일한 형태로 나올 것으로 추정된다. 반사율의 도출과정의 경우, 정밀한 분석을 위해서는 목업 테스트를 비롯한 축소모형 실험이 그 신뢰성을 높일 것으로 보인다.

어떤 면에서 입사한 태양복사에너지량에 대하여 반사된 태양복사에너지량을 그 면의 알베도라 정의한다. 즉, 반사된 에너지량이 어느 면적에 도달하느냐에 따라 반사율이 다를 수 있다. 본 연구에서는 수평면 전일사량에 대한 수평면

반사일사량의 비율로 반사율을 나타내었으나 이러한 반사율에 대한 기준에 대한 부분은 추후에 검토를 통해 보강할 필요가 있을 것으로 판단된다.

시뮬레이션을 통해 해수면 반사를 고려하면 냉방부하 산정에서 최대 5%의 부하가 상승함을 알 수 있었다. 일반적으로 쓰이는 안전율 10%의 범주 내의 부하 상승이나 건물의 형태 및 재료, 차양 유무와 기상 조건에 따라 반사일사의 영향이 증가할 수 있으므로 다양한 실험 방법의 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구의 데이터 분석을 통해 해수면 반사일사가 존재하며 태양고도별로 도출할 수 있음을 확인하였다. 또한 해수면에 위치한 건축물을 대상으로 냉방부하의 재조명 및 새로운 매뉴얼의 필요성을 언급하였다. 따라서 본 연구는 해양 건축물의 냉방부하 계산의 기초가 되는 자료로서 그 의의가 있다고 사료된다.



감사의 글

대학원 진학을 결심하기 전에 지도 교수님이 저에게 해 주신 말씀이 떠오릅니다.

“대학원에서는 특별한 것을 배우는 게 아니다. 문제 해결 능력을 배운다.”

그리고 졸업을 앞둔 이 시점에 다음과 같은 의문이 생깁니다.

-문제 해결, 즉 위 아래의 소통을 통해 하나의 문제를 해결해 나가는 과정, 쉬워 보이지만 어려운, 그런 능력을 과연 내 자신이 배워 나갈 수 있을까.-

이러한 의문 자체가 무의미하다는 것은 분명합니다. 하지만 자신의 성찰과 배움의 길은 한없이 깊고 어렵다는 점을 깨달은 것만으로도 충분히 가치가 있었다고, 믿어 의심치 않습니다.

지도교수님을 비롯하여 학과에 모든 교수님들에게 감사의 말씀을 전합니다.

그리고 연구실에서 동고동락했던 모두에게도 감사의 말씀을 전합니다.

마지막으로 저에게 이러한 문제해결의 과정을 배우는 것을 허락해주신 부모님께 감사의 말씀을 전합니다.

논문이란. 논하는 것. 자신의 주장을 펼치는 것. 요즘 고위직, 혹은 공인의 논문표절이 이슈화되고 있습니다. 과연 본인은 몇몇한가...제 자신에게 끝없이 물어보고 논문의 한자 한자를 채워 나갔었습니다. 부족함이 많고 완성도가 낮은 점은 많이 아쉽지만 훗날에 더욱 완성도가 높은 논문을 쓸 날이 오기를 진심으로 바랍니다.

읽어주셔서 감사합니다.

2014년 2월

참고문헌

1. 대한설비공학회, 2011. 설비공학편람 제2권. 대한설비공학회
2. 도근영, 2012. 플로팅 해상호텔의 부하계산에 관한 연구. 한국항해 항만학회 지 제 35권 제 5호(p401-406)
3. 마쓰다 오사무, 1983. 세토나이카이의 태양에너지의 계절변동과 수체내의 분포. 히로시마 대학
4. 박방열, 1983. 건물의 일조계획을 위한 인동계수 산정모델. 대한건축학회 학술 논문집
5. 박종일, 서기원, 1999. 건축 설비 설계. 도서출판 세진사
6. 부산기상청, 해양기상 관측등표
7. 서승직, 2011. 건축 설비계획. 일진사
8. 오기환, 2006. 태양 일사에 의한 냉방부하의 동적수치 해석에 관한 연구. 대한건축학회 지회연합논문집 8권 3호
9. 오은경, 2011. 다중위성자료를 활용한 해해수면 온도(SST) 합성기법 개발 연구. 해양 환경 안전 학회지 제17권 제3호
10. 원종호, 2000. 서울지역 실측일사량을 이용한 일사량 직산 분리 모델의 정밀성 검증, 태양에너지 vol 20.1.2000
11. 이경희, 2010. 건축환경계획. 문운당
12. 이철기, 홍봉재, 방승기, 2007. 실무지식 건축설비. 문운당
13. 이한석, 2011. 도시수변과 인간행동. 대덕문화사
14. 임정명, 2004. 건축설비. 기문당
15. 조덕기, 윤창열, 김광득, 강용혁, 2010. 실측에 의한 국내 법선면 직달일사량과 청명일 정밀조사. 한국태양에너지학회

16. 조덕기, 윤창열, 김광득, 강용혁, 2012. 태양열발전단지 건설을 위한 최적지 선정에 관한 연구. 한국태양에너지학회
17. 지준범, 2012. 한반도 태양에너지 연구를 위한 일사량 자료의 TMY 구축. 국립 기상 연구소
18. 카와니시 토시마사, 해수면반사를 고려한 자외방사 살균에 대한 연구
19. 하대웅, 2008. 건물외피 창호면적 변화에 따른 에너지 소비량에 관한 연구. 한국 산업 응용학회 춘계학술대회 논문집
20. 이승호, 2012. 기후학

