

동굴 조명설비의 평가 및 설계

(Estimation and Design of Cave Lighting Installation)

현동주* · 오성보**

(Dong-Ju Hyun* · Seong-Bo Oh**)

*제주대학교 산업대학원 · **제주대학교 전기전자공학부, 전기에너지연구소

요 약

화산섬과 용암동굴이 우리나라에서는 유일하게 자연유산으로 등재되어 제주는 천혜의 관광자원의 보고이다. 용암동굴은 경관적 아름다움과 지질학적 가치를 인정받음으로써 지금과 같은 무제한적 개방으로 동굴의 안전성 및 생태계 광해 등으로 공개된 동굴을 중심으로 검토 되어야 한다. 본 논문에서는 제주 동굴 조명설비의 실측을 통하여 실질적인 평가로 문제점을 제시하고 모델 시뮬레이션을 통하여 환경과 생태를 보존할 수 있는 적절한 조명 설계를 제시하고자 한다.

진입부 근처로서 주광의 영향을 받은 것으로 생각된다. 표 1은 만장굴의 조도 실측치를 나타내고 있다

1. 서론

천연동굴은 오랜 기간 외부와 단절된 상태로 고유의 생물이 서식하는 안정적인 생태계를 구성하고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 동굴이 단기간 인간에 의해 개발됨으로써 여러 가지 문제점이 발생되고 있다. 그 중 특히 조명이 설치되는 빛이 없는 환경인 동굴의 일부 구간에 조명기구가 설치되면서 빛에 의해 녹화현상으로 벽면에 이끼 등이 번식하게 되어 이른바 녹색오염이라는 새로운 문제가 발생하기 시작하였다. 이러한 문제는 천연동굴의 고유한 생태계도 많은 영향을 주게 되었다.[1]

이 논문에서는 제주 동굴의 조명설비의 실태를 조사하여 구역별 조도치를 평가 하였고, 이를 토대로 문제점을 파악하고, 동굴 조명 모델 해석을 위한 안정적인 설계안을 제시 하고자 하였다.

2. 동굴의 조명설비의 평가

제주도의 대표적 동굴인 만장굴, 미천굴, 협재굴 조도를 YOKOGAWA-1 조도계를 사용하여 측정하였다.

만장굴은 최소 조도치와 최대 조도가 현저한 차이를 보여 측정위치에 따라 차이가 심하게 났으며 기준 조도치에 미달한 지역이 많았다. 최대치를 나타내는 곳은

표 1. 만장굴 조도 측정치 (폭:m, 조도:lx)

위치	폭	좌측면		중앙		우측면	
		수평	수직	수평	수직	수평	수직
입구 제1계단	1.6	118.7	139.9	98.6	100.5	73.2	70.9
제2계단	2.8	4.1	0.7	9.3	0.6	26.8	0.2
용암 선반 150m지점	4.2	4.5	0.1	3.1	0.1	5.9	0.4
낙반 앞	6	5.8	0.2	0.2	2.2	6.4	0.2

표 2는 미천굴의 위치별 조도치를 나타내고 있으며 최소 0.3[lx], 최대 59[lx]을 보여 주고 있고 동굴내부로 진입 할수록 조도치가 감소함을 알 수있다.

표 2. 미천굴 조도 측정치 (폭:m, 조도:lx)

위치	폭	좌측면		중앙		우측면	
		수평	수직	수평	수직	수평	수직
계단	6	23.9	33.1	59.3	57.3	18	9.8
삼신할머니	6.4	18.8	1.7	3.3	0.5	5.3	0.3
분수대	5	0.6	0.3	0.8	0.3	6.2	0.3

표 3은 협재굴의 위치별 조도치를 나타내고 있으며, 최소 0.9[lx], 최대 59.3[lx]을 보여주고 있으며, 타 동굴에 비하여 조도의 분포가 균일함을 보여주고 있었다.

표 3 협제굴 조도 측정치 (폭:m, 조도:lx)

위치	폭	좌측면		중앙		우측면	
		수평	수직	수평	수직	수평	수직
입구	1.8	83.6	49.1	91	62.3	82	56.6
20m지점	3	3.4	0.9	1.6	1.2	1.7	1.2
살아있는 돌	3	2.3	2.6	2.2	2.6	2.0	2.6
출구	3	40.8	18.7	12.6	21.8	95.4	23.3

3. 조명 설계

관광지로 개발되어 완전 공개되고 있는 자연동굴이라는 관점에서 조명의 조도기준에 적합한 조명 설계를 위하여 등기구 에이밍 과 특성에 따른 조명 시뮬레이션을 실시하였다.

3.1. 조명기구 특성

시뮬레이션에 사용한 조명기구는 순용상태의 조건을 만족 시키기 위하여 콤팩트 형광등 13W 중각형과 고압 나트륨등 50W 광각형을 모델로 하여 시뮬레이션을 실시 하였다. 순차적인 조도 분포를 위하여 조명기구에 에이밍을 적용하였다. 그림 1은 콤팩트 형광등 13w의 배광곡선을 나타내고 있고, 그림 2는 고압나트륨 50w의 배광곡선을 나타내고 있다.

Test: 94122803 PUBLISHED CURVE CREATED
 Manufacturer: GE Lighting Systems - Hendersonville, NC, USA
 MINI-GARD
 Luminaire catalog: MGA13F****FG
 Lamp: 1; 13W CFL, COATED T4, VBU
 Lamp catalog: GE F13DBX23T4/SPX**

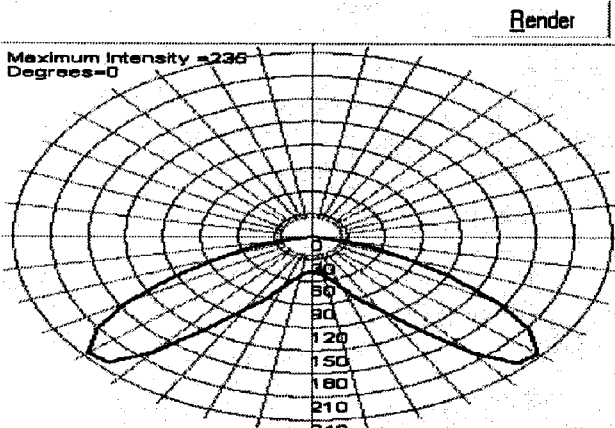


그림 1. 콤팩트 형광등 13w 배광곡선

Test: 01050301 PUBLISHED CURVE CREATED
 Manufacturer: GE Lighting Systems - Hendersonville, NC, USA
 LEGACY
 Luminaire catalog: LGC*055***1AB5***
 Lamp: 1; 50W HPS, CLEAR ED23.5, V8D
 Lamp catalog: GE LUS0

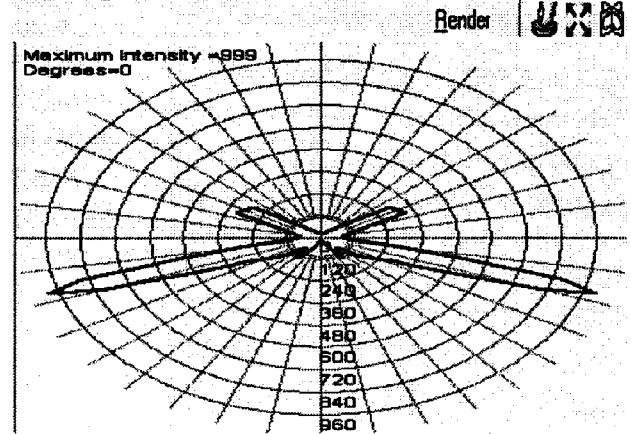


그림 2. 고압나트륨 50w 배광곡선

3.2. 조명 시뮬레이션

3.2.1. 시뮬레이션 구역

시뮬레이션 구역은 미천굴 입구 계단으로 주광이 거의 영향을 미치지 않는 계단점을 시작하여 계단이 끝나는 지점을 대상으로 하였고, 시뮬레이션은 좌측면 50cm, 중앙점, 우측면 50cm 지점을 기점으로 하여 총 세줄 53 지점을 대상으로 하여 계산하였다.

그림 3은 3ds max를 이용하여 모델링한 모양을 나타내고 있다.

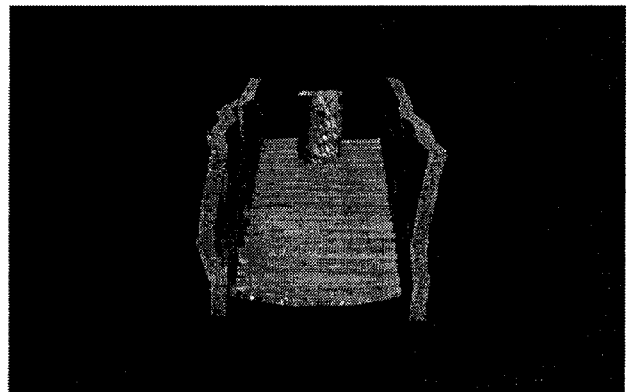


그림3 시뮬레이션 구역 모델링

3.2.2. 시뮬레이션

시뮬레이션은 Autodesk Inc. 의 Lightscape를 이용하였고, 16w 콤팩트 형광등 중각형을 사용한 시뮬레이션1은 등기구의 에이밍과 높이에 따라 계산할 결과는 표4와 같다.

계단 진입부의 좌측등은 x축 120도 y축 20도, 기둥면에 부착된 중앙등 x축 110도 y축 0도, 벽면의 우측등 x축 115도 y축 350도로 에이밍을 주었고, 높이는 2.5m로

적용하였다. 표 4는 18개 구역에 대한 평균 조도치이며, 6개씩 3구역으로 구분하였을 경우 표 5와 같고 각각 97.6[lx], 60.1[lx] 그리고 6.7[lx]로 계산 되었다.

그림 4는 시뮬레이션1의 컬러조도분포를 보여주고 있다.

시뮬레이션2는 동일한 조건하에 고압나트륨등 50w 광각형을 대상으로 계산 하였으며 결과는 표 6과 같고, 평균조도는 각각 323.9[lx], 54.5[lx] 그리고 6[lx]로 계산 되었으며 표 7과 같다.

그림 5는 시뮬레이션2의 컬러조도분포를 보여주고 있다. 그러므로 시뮬레이션1의 결과가 주광이 주는 높은 조도의 밝기에 순응상태를 적용하기 위하여 순차적으로 밝기를 줄여 나가 최종 지점인 진입계단 종단부에서는 북미조명학회 조도기준인 지방지역의 중심가 7[lx]를 고려한 결과 설계치에 일치함을 보였다[2].

표 4. 시뮬레이션1의 결과

구역	좌측면	중앙	우측면
1	7.6	16	32.7
2	16.9	기동면	145.1
3	40.7		322
4	74		209
5	28		124
6	58.7	182	90.2
7	82.3	122	84.9
8	91	69.6	105
9	72	43.5	99
10	53	29	71
11	34.2	18	42.9
12	21.2	11.8	32.6
13	12.2	11.2	19.6
14	7.6	8.7	10.1
15	5.6	4.7	8.6
16	4.6	4.4	4.3
17	3.5	3.5	4.0
18	3.4	3.2	3.6

표 5. 구역별 평균조도 수치

구역	좌측면	중앙	우측면	평균
1-6	37.6	107.3	147.6	97.5
7-12	58.9	48.9	72.5	60.1
13-18	6.1	5.9	8.3	6.7

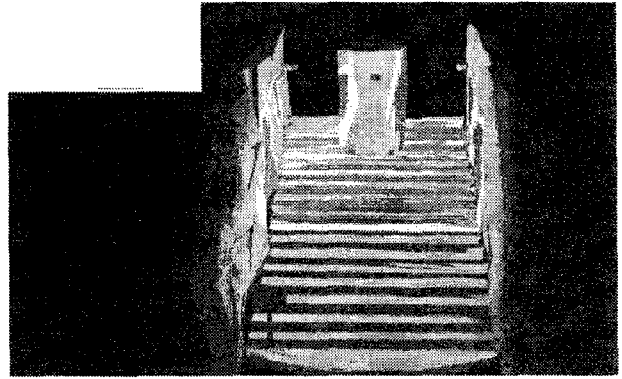


그림 4. 시뮬레이션1의 조도분포도

표 6. 시뮬레이션2의 결과

구역	좌측면	중앙	우측면
1	58.2	132.1	317
2	222.3	기동면	1042
3	101.5		192.3
4	58.8		271.3
5	48.2		576.6
6	652	246.1	214.3
7	173.2	79.8	85.9
8	90.7	77.1	72.1
9	50.7	53.7	44.6
10	47.4	38.7	38.7
11	37.7	18.2	25.4
12	25.2	10.4	12.1
13	12.7	10	10.7
14	12.4	7.3	5.5
15	8.8	3.8	4.0
16	5.1	3.7	3.4
17	5.3	3.7	3.6
18	4.1	2.7	2.7

표 7. 구역별 평균조도 수치

구역	좌측면	중앙	우측면	평균
1-6	190.1	318.2	463.5	323.9
7-12	70.8	46.3	46.4	54.5
13-18	8.0	5.2	4.9	6



그림 5. 시뮬레이션2의 조도분포도

4. 결과 및 고찰

제주도내의 3개의 동굴의 조도를 실측한 결과 만장굴의 측정위치에 따라 최소 0.1[lx], 최대 139[lx]로 기준 조도기준에 부합하지 않음을 확인할 수 있었다. 미천굴의 경우 최소 0.3[lx], 최대 59[lx]로 조도의 차는 심하지 않았지만 각종 투광기의 사용으로 인하여 불쾌 글레어를 형성되었다고 생각된다. 협재굴은 최소 0.9[lx], 최대 91[lx]로 조도기준은 만족하지는 못했지만 타동굴에 비하여 조도분포의 편차가 작아 다소 적합한 설계라 생각이 된다.

미천굴 진입계단의 조명설계를 통하여 외부와 내부간의 조도차로 인하여 발생하는 순응조건을 충족시키기 위하여 순차적인 조도분포에 대한 조명설계를 실시하였다. 13w 컴팩트 형광등을 이용한 시뮬레이션1에서는 구역 1-6에서는 최소 37.6[lx], 최대 147.6[lx], 구역7-12에서는 최소 48.9[lx], 최대 72.5[lx] 그리고 구역12-18구역에서는 최소 5.9[lx], 최대 8.3[lx]을 보였다. 시뮬레이션2에서는 구역 1-6에서는 최소 190.1[lx], 최대 463.5[lx], 구역7-12에서는 최소 46.3[lx], 최대 70.8[lx] 그리고 구역 12-18구역에서는 최소 4.9[lx], 최대 8[lx]을 보였다.

이중 양호한 설계는 시뮬레이션1로써 순응상태를 고려 함으로써 진입부 근처는 97.5[lx], 중간지점에서는 60.1[lx] 그리고 진입계단 종단부에서는 6.7[lx]로 설계되었다.

5. 결론

제주도내 대표적인 동굴 3개의 내부조도 현장 실측을 토대로 조명설비에 대하여 평가 하였고, 이를 토대로 미천굴을 모델로 한 진입 부 계단 조명 시뮬레이션을 통해서 광원과 에이밍 조정 등으로 동굴내부 진입에 따른 순응상태를 고려한 적합한 설계안을 제시 하였다.

금번 조명 설계를 통하여 보다 체계적이고 현실적인 영향들을 고려하여 동굴 전체에 대한 조명 설계가 제시 되어야 하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 손인석외 1인, "만장굴 실태(학술)조사 및 안전진단 보고서", 북제주군, pp.83~86, 2003.
- (2) 이상근, "제주시 도로조명 모델링 및 분석", 제주대학교 산업대학원 석사 학위 논문, p.3, 2006.
- (3) 현동주, 오성보, "제주도 동굴 조명설비의 실측 및 평가", 대한전기 학회 제주지부 학술발표회 논문집, p.57~61, 2008.