

가로등의 설치 및 유지비용 의 최적화

2002008505 구현철

2002008390 최대운

2002006597 문성진



Problem Statement



2008년 세계군문화 EXPO를 대비하여, 밝은 거리 조성과 시민 안전을 위해 가로등 설치 및 정비사업을 시행하고자 한다.

연화입체교차로부터 계룡대 2정문 간 930m 구간에 가로등을 설치하고자 할 때, 설치비용 및 유지비용을 최소화 할 수 있는 가로등 간 거리, 가로등의 높이, 가로등의 밝기를 결정하라.

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

Data and information Collection



- 가로등 사용요금 : 68.61원/kWh
- 전구 출력당 구입가격
- 전구의 수명 : 5 year
- 자재비 : 18만원 / m (높이)
- 가로등 개당 설치비 : 183만원
- 연간유지비 : 설치비용의 5%로 책정

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

Identification/Definition Design variable



- h : 가로등의 높이
(7 ~ 210m)
- S : 가로등간 거리
- 전구의 밝기
(200W, 250W, 400W, 1000W)

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

Problem Formulation Process

$$\text{Cost Function} = (\text{초기설치비용}) + (\text{유지비용})$$

- 초기설치비용
= (자재비) + (기타재료 및 설치비)
- 자재비
= $h * (\text{단위길이당 가격}) * (\text{총 설치개수})$
= $h * (18\text{만원}) * (2 * 930 / S)$
- 기타 재료및 설치비
= $183\text{만원} * (\text{총 설치개수})$
= $(183\text{만원}) * (2 * 930 / S)$

- 유지비용
= (유지보수비) + (전력사용비) + (전구가격)
- 유지보수비
= (총 설치개수) * (기타재료 및 설치비) * 5%
= $(2 * 930 / S) * (183\text{만원}) * 0.05$
- 전력사용비
= (총 설치개수) * (전구의 소비전력) * (사용시간) * (전력당 가격)
= $(2 * 930 / S) * 68.61 * 365 * 24 * (\text{전구전력})$
- 전구가격
= (총 설치개수) * (전구가격) * 2

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

Identification of constraints

- 최소 노면휘도($L_{\min}$)

$$L = \frac{F \cdot N \cdot U \cdot M}{W \cdot K \cdot S}$$

$$G(1) = L_{\min} \cdot w \cdot k \cdot s - F \cdot N \cdot M \cdot U(h) \leq 0$$

- 최대 노면휘도($L_{\max}$)

$$G(2) = F \cdot N \cdot M \cdot U(h) - L_{\max} \cdot w \cdot k \cdot s \leq 0$$

- 최소 눈높이 조도(E)

$$E_n = \frac{I(\theta)}{H^2 + (S/2)^2 + (W/2)^2}$$

$$G(3) = E \cdot ((h-1.5)^2 + (0.5 \cdot s)^2 + (0.5 \cdot w)^2) - I \leq 0$$

$$U : \text{조명률} : U(h) = 0.4 - 0.3e^{\left(\frac{-1.33 \times W}{h}\right)}$$

L : 노면휘도 (cd/m²)

F : 램프광속 (lm)

N : 기구배열 계수

M : 보수율

W : 차로폭 (m)

K : 조도환산계수

I : 광도 (cd)

$$400W, 1000W \rightarrow G(1) = 12 - 11 \leq 0$$

자료에 대한 근거

우리 시의 재정운영에 관심을 가져 주신데 대하여 감사 드립니다. ↓
 우리 시에서는 금년도 남산면 정장리 일원에서 개최예정인 지상군페스티벌, 2008년 세계군문화 EXPO를 대비하고, 밝은 거리 조성과 시민안전을 위해 가로등 설치 및 정비사업을 시행하고 있습니다. ↓
 귀하가 말씀하신 사업은 연화 입체교차로에서 계룡대 2정문간 가로등 설치사업으로 226백만원을 투자하여 5월말 완공예정으로 마무리 공정을 진행하고 있습니다. ↓
 ↓
 < 공사개요 > ↓
 ○ 공 사 명 : 연화입체교차로 ~ 계룡대 2정문간 가로등 설치공사 ↓
 ○ 설치수량 : 62개소 (30m 간격) ↓
 ○ 설치형태 ↓
 - 가로등주 : 스테인레스+주철(높이=10m, 팔길이=1.8m, 2등용) ↓
 - 조명등 : 나트륨램프 (소비전력 : 250w, 조도 : 20룩스) ↓
 ○ 공 사 비 : 226백만원 ↓
 ○ 공사기간 : 2006.3.1 ~ 5.28(3개월) ↓
 ↓
 < 공사내용 > ↓
 1. 가로등주 높이와 간격 ↓
 ○ 가로등주 높이는 교통량, 조도, 노면포장형태 등에 따라 결정하는데, 4차 로이상 도로에는 8m 이상의 가로등주를 설치하고 있습니다. ↓
 2. 공사비 ↓
 ○ 가로등 1개당 설치 단가는 365만원으로 가로등주가 180만원, 조명등 설치비 등 기타제비용 185만원입니다. ↓
 3. 기존에 설치된 가로등 존치여부 ↓
 ○ 사업구간내 기존에 설치된 가로등은 20개소로 가로등이 중복된 6개소는 공사완료 후 철거할 계획이며, 나머지 14개소는 횡단보도 및 엄사지역 진입을 위해 추가 설치되어 있는 차로와 보행자 편의 제공을 위해 존치할 계획입니다. ↓

- 가로등 주 : 단위미터 당 18만원
- 가로등 1개소 당 조명 및 기타 설치비용 : 183만원 + 전구종류별 개당가격
- 연간 가로등의 유지비 : 가로등 설치비용의 5%
- 전력 사용비(가로등) : 68.61원/kWh 일반 전력비보다 저렴

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구



Additional Information



9~13번 슬라이드는 1차 발표의 자료를 기본으로 다듬은 것으로 U값에 대한 함수를 정의하지 못한 상태로 Excel을 이용하여 나타낸 것 입니다.

U의 근사식을 이용한 2차 발표와의 비교를 위해 남겨두었습니다.

2차 발표 때 이 화면은 보이지 않습니다.

최소 노면휘도에 따른 가로등간 최대거리

		최소 노면휘도에 따른 가로등간 최대거리					
높이 H	S by 3H	S at 100W	S at 150W	S at 200W	S at 250W	S at 400W	S at 1000W
210	630	1.85714286	2.88888889	4.12698413	5.15873016	9.49206349	20.84126984
105	315	3.71428571	5.77777778	8.25396825	10.3174603	18.984127	41.68253968
70	210	5.57142857	8.66666667	12.3809524	15.4761905	28.4761905	62.52380952
52.5	157.5	7.42857143	11.5555556	16.5079365	20.6349206	37.968254	83.36507937
42	126	8.91428571	13.8666667	19.8095238	24.7619048	45.5619048	100.0380952
35	105	9.65714286	15.0222222	21.4603175	26.8253968	49.3587302	108.3746032
30	90	10.3257143	16.0622222	22.9460317	28.6825397	52.775873	115.8774603
26.25	78.75	11.1428571	17.3333333	24.7619048	30.952381	56.952381	125.047619
23.333333	70	11.5142857	17.9111111	25.5873016	31.984127	58.8507937	129.215873
21	63	11.8857143	18.4888889	26.4126984	33.015873	60.7492063	133.384127
19.090909	57.272727	12.2571429	19.0666667	27.2380952	34.047619	62.647619	137.552381
17.5	52.5	12.6285714	19.6444444	28.0634921	35.0793651	64.5460317	141.7206349
16.1538462	48.4615385	13	20.2222222	28.8888889	36.1111111	66.4444444	145.8888889
15	45	13.1857143	20.5111111	29.3015873	36.6269841	67.3936508	147.9730159
14	42	13.3714286	20.8	29.7142857	37.1428571	68.3428571	150.0571429
13.125	39.375	13.494	20.9906667	29.9866667	37.4833333	68.9693333	151.4326667
12.3529412	37.0588235	13.6165714	21.1813333	30.2590476	37.8238095	69.5958095	152.8081905
11.6666667	35	13.7428571	21.3777778	30.5396825	38.1746032	70.2412698	154.2253968
11.0526316	33.1578947	13.8654286	21.5684444	30.8120635	38.5150794	70.867746	155.6009206
10.5	31.5	13.988	21.7591111	31.0844444	38.8555556	71.4942222	156.9764444
10	30	14.1142857	21.9555556	31.3650794	39.2063492	72.1396825	158.3936508
9.54545455	28.6363636	14.1662857	22.0364444	31.4806349	39.3507937	72.4054603	158.9772063
9.13043478	27.3913043	14.2182857	22.1173333	31.5961905	39.4952381	72.6712381	159.5607619
8.75	26.25	14.2702857	22.1982222	31.711746	39.6396825	72.9370159	160.1443175
8.4	25.2	14.3222857	22.2791111	31.8273016	39.784127	73.2027937	160.727873
8.07692308	24.2307692	14.3742857	22.36	31.9428571	39.9285714	73.4685714	161.3114286
7.77777778	23.3333333	14.43	22.4466667	32.0666667	40.0833333	73.7533333	161.9366667
7.5	22.5	14.4857143	22.5333333	32.1904762	40.2380952	74.0380952	162.5619048
7.24137931	21.7241379	14.5228571	22.5911111	32.2730159	40.3412698	74.2279365	162.9787302
7	21	14.56	22.6488889	32.3555556	40.4444444	74.4177778	163.3955556

도로를 일정 밝기 이상으로 비추기 위한 가로등의 최대 거리 입니다.

표에 나온 값 이상으로 가로등을 설치하게 되면 기준치보다 어두운 지역이 부분적으로 발생하게 되므로 표에 나온 거리 이하의 영역에서 가로등을 설계하여야 합니다.

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

눈높이 최소조도에 따른 가로등간 최대거리

		눈높이 최소조도에 따른 가로등간 최대거리					
높이 H	S by 3H	S at 100W	S at 150W	S at 200W	S at 250W	S' at 400W	S at 1000W
210	630	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
105	315	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
70	210	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
52.5	157.5	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
42	126	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	41.37300437
35	105	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	61.51199469
30	90	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	16.6921374	70.87824412
26.25	78.75	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	32.8234284	76.30514721
23.3333333	70	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	40.2597774	79.78688935
21	63	#NUM!	#NUM!	#NUM!	13.9593247	44.7953954	82.16888395
19.0909091	57.2727273	#NUM!	#NUM!	6.83592463	21.8655531	47.852556	83.87469916
17.5	52.5	#NUM!	#NUM!	16.1397087	26.3032839	50.0362614	85.13944732
16.1538462	48.4615385	#NUM!	#NUM!	20.6288479	29.2732287	51.6593324	86.10333711
15	45	#NUM!	6.1516776	23.5688395	31.4143716	52.9020553	86.85462273
14	42	#NUM!	11.9097917	25.6805412	33.0282114	53.8760378	87.45127495
13.125	39.375	#NUM!	15.0426273	27.275038	34.2826522	54.6540479	87.93271854
12.3529412	37.0588235	#NUM!	17.195866	28.5192017	35.2805529	55.2854603	88.32655411
11.6666667	35	#NUM!	18.7989014	29.5134842	36.089033	55.8048654	88.65258623
11.0526316	33.1578947	#NUM!	20.0457491	30.322914	36.753934	56.237144	88.92533053
10.5	31.5	3.38682569	21.0438385	30.9917763	37.3076768	56.6005959	89.15562512
10	30	6.81693393	21.8596234	31.5513898	37.7738368	56.90894	89.35169551
9.54545455	28.6363636	8.74947043	22.5372088	32.0245662	38.169954	57.1726341	89.51987564
9.13043478	27.3913043	10.1280032	23.1073364	32.4283218	38.5093314	57.3997675	89.66510665
8.75	26.25	11.1902005	23.5922262	32.7756037	38.802226	57.5966792	89.7912885
8.4	25.2	12.0428646	24.0083972	33.0764296	39.0566607	57.7683949	89.90153219
8.07692308	24.2307692	12.7454666	24.3684113	33.3386642	39.2789903	57.9189415	89.99834344
7.77777778	23.3333333	13.3352395	24.6820008	33.56856	39.4743052	58.051576	90.08375833
7.5	22.5	13.8372898	24.9568255	33.7711444	39.6467243	58.1689561	90.15944482
7.24137931	21.7241379	14.2694374	25.1989958	33.9505	39.7996105	58.2732675	90.22677953
7	21	14.6448144	25.413444	34.1099721	39.9357327	58.3663212	90.28690653

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

최대 노면휘도에 따른 가로등간 최소거리

		최대 노면휘도에 따른 가로등간 최소거리					
높이 H	S by 3H	S at 100W	S at 150W	S at 200W	S at 250W	S at 400W	S at 1000W
210	630	0.92857143	1.44444444	2.06349206	2.57936508	4.74603175	10.42063492
105	315	1.85714286	2.88888889	4.12698413	5.15873016	9.49206349	20.84126984
70	210	2.78571429	4.33333333	6.19047619	7.73809524	14.2380952	31.26190476
52.5	157.5	3.71428571	5.77777778	8.25396825	10.3174603	18.984127	41.68253968
42	126	4.45714286	6.93333333	9.9047619	12.3809524	22.7809524	50.01904762
35	105	4.82857143	7.51111111	10.7301587	13.4126984	24.6793651	54.18730159
30	90	5.16285714	8.03111111	11.4730159	14.3412698	26.3879365	57.93873016
26.25	78.75	5.57142857	8.66666667	12.3809524	15.4761905	28.4761905	62.52380952
23.3333333	70	5.75714286	8.95555556	12.7936508	15.9920635	29.4253968	64.60793651
21	63	5.94285714	9.24444444	13.2063492	16.5079365	30.3746032	66.69206349
19.0909091	57.2727273	6.12857143	9.53333333	13.6190476	17.0238095	31.3238095	68.77619048
17.5	52.5	6.31428571	9.82222222	14.031746	17.5396825	32.2730159	70.86031746
16.1538462	48.4615385	6.5	10.1111111	14.4444444	18.0555556	33.2222222	72.94444444
15	45	6.59285714	10.2555556	14.6507937	18.3134921	33.6968254	73.98650794
14	42	6.68571429	10.4	14.8571429	18.5714286	34.1714286	75.02857143
13.125	39.375	6.747	10.4953333	14.9333333	18.7416667	34.4846667	75.71633333
12.3529412	37.0588235	6.80828571	10.5906667	15.1295238	18.9119048	34.7979048	76.40409524
11.6666667	35	6.87142857	10.6888889	15.2698413	19.0873016	35.1206349	77.11269841
11.0526316	33.1578947	6.93271429	10.7842222	15.4060317	19.2575397	35.433873	77.80046032
10.5	31.5	6.994	10.8795556	15.5422222	19.4277778	35.7471111	78.48822222
10	30	7.05714286	10.9777778	15.6825397	19.6031746	36.0698413	79.1968254
9.54545455	28.6363636	7.08314286	11.0182222	15.7403175	19.6753968	36.2027302	79.48860317
9.13043478	27.3913043	7.10914286	11.0586667	15.7980952	19.747619	36.335619	79.78038095
8.75	26.25	7.13514286	11.0991111	15.855873	19.8198413	36.4685079	80.07215873
8.4	25.2	7.16114286	11.1395556	15.9136508	19.8920635	36.6013968	80.36393651
8.07692308	24.2307692	7.18714286	11.18	15.9714286	19.9642857	36.7342857	80.65571429
7.77777778	23.3333333	7.215	11.2233333	16.0333333	20.0416667	36.8766667	80.96833333
7.5	22.5	7.24285714	11.2666667	16.0952381	20.1190476	37.0190476	81.28095238
7.24137931	21.7241379	7.26142857	11.2955556	16.1365079	20.1706349	37.1139683	81.48936508
7	21	7.28	11.3244444	16.1777778	20.2222222	37.2088889	81.69777778

도로를 일정 밝기 이하로 맞추기 위한 가로등간 최소거리입니다.

표에 나온 값 이하의 거리로 가로등을 설치한다면 기준치 이상의 밝기로 도로를 비추게 되므로 전력낭비 및 눈부심 현상이 일어날 수 있습니다.

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

	990m당 설치대수					
높이 H	100W	150W	200W	250W	400W	1000W
19.09091			272.091941	85.0658074	88.86989709	
17.5			115.2487158	70.71860988	87.1780411	
16.15885			90.18499635	69.59928434	98.98095298	
15			78.91775814	59.20858893	41.88888889	
14		156.1740168	72.42898014	56.81549284	44.28571428	
13.125		128.8486128	68.19422221	54.25484547	47.28809524	
12.95294		108.1855822	65.21821878	52.72028214	50.18047619	
11.88887		98.94195215	68.02204054	58.14285714		
11.05288		92.7877522	61.88975111	56.0952881		
10.5		88.88891889	60.01592118	59.04781905		
10				82		

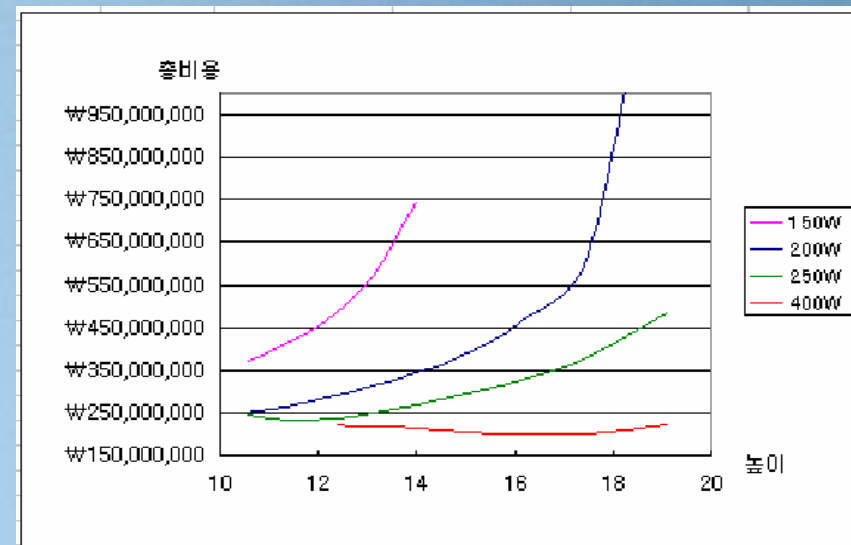
	사용가능한 가로등간 최대거리					
높이 H	8 at 100W	8 at 150W	8 at 200W	8 at 250W	8 at 400W	8 at 1000W
19.09091			8.885924827	21.88555815	47.85255805	
17.5			16.18970867	28.30828892	50.09828188	
16.15885			20.62884795	29.27822867	48.48158848	
15			28.58888891	31.41487168	45	
14		11.90979185	25.8805412	38.02821185	42	
13.125		15.04282784	27.27508797	34.28285225	39.875	
12.95294		17.19588889	28.51820178	35.28855295	37.05882353	
11.88887		18.79890187	29.51848428	35		
11.05288		20.0457491	30.82291404	38.15789474		
10.5		21.04888846	30.98177827	31.5		
10				30		

	유지비용					
높이 H	100	150	200	250	400	1000
19.09091			₩119,189,458	₩95,988,172	₩18,170,128	
17.5			₩47,842,748	₩29,417,884	₩15,484,424	
16.15885			₩37,509,702	₩26,499,092	₩15,886,929	
15			₩32,890,719	₩24,881,469	₩17,195,154	
14		₩64,970,284	₩30,181,081	₩28,427,910	₩18,428,880	
13.125		₩51,489,282	₩28,869,801	₩22,570,656	₩19,651,605	
12.95294		₩44,998,198	₩27,181,984	₩21,982,251	₩20,879,880	
11.88887		₩41,181,020	₩26,217,919	₩22,108,058		
11.05288		₩38,600,800	₩25,518,080	₩23,936,281		
10.5		₩38,770,000	₩24,987,991	₩24,584,508		
10				₩25,782,782		

	초기설치비용					
높이 H	100	150	200	250	400	1000
19.09091			₩1,492,985,104	₩447,984,842	₩204,700,879	
17.5			₩578,918,705	₩352,158,747	₩185,121,745	
16.15885			₩427,174,010	₩301,029,579	₩181,887,148	
15			₩357,497,449	₩268,214,819	₩187,240,000	
14		₩879,858,972	₩315,088,454	₩244,972,894	₩192,842,857	
13.125		₩518,898,008	₩285,904,277	₩227,488,440	₩198,045,714	
12.95294		₩488,452,168	₩264,888,018	₩218,708,188	₩208,448,571	
11.88887		₩388,841,872	₩247,878,819	₩208,851,429		
11.05288		₩354,400,878	₩234,285,585	₩214,254,288		
10.5		₩328,799,881	₩228,259,227	₩218,857,148		
10				₩225,080,000		

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

	총 비용 (초기설치비용 + 유지비용)					
높이 H	100	150	200	250	400	1000
19.09091			₩1,546,128,582	₩489,979,019	₩220,870,507	
17.5			₩821,858,450	₩681,571,441	₩200,588,168	
16.15385			₩464,688,712	₩927,482,871	₩197,804,072	
15			₩390,928,168	₩292,848,282	₩204,485,154	
14		₩744,927,206	₩845,194,514	₩288,400,909	₩211,088,287	
13.125		₩569,888,090	₩614,273,878	₩250,094,098	₩217,887,919	
12.85294		₩488,450,904	₩291,499,977	₩235,885,884	₩224,928,402	
11.66667		₩490,002,892	₩278,894,582	₩230,959,484		
11.05283		₩399,001,178	₩259,809,825	₩237,590,567		
10.5		₩665,569,991	₩248,228,558	₩244,221,649		
10				₩250,852,782		

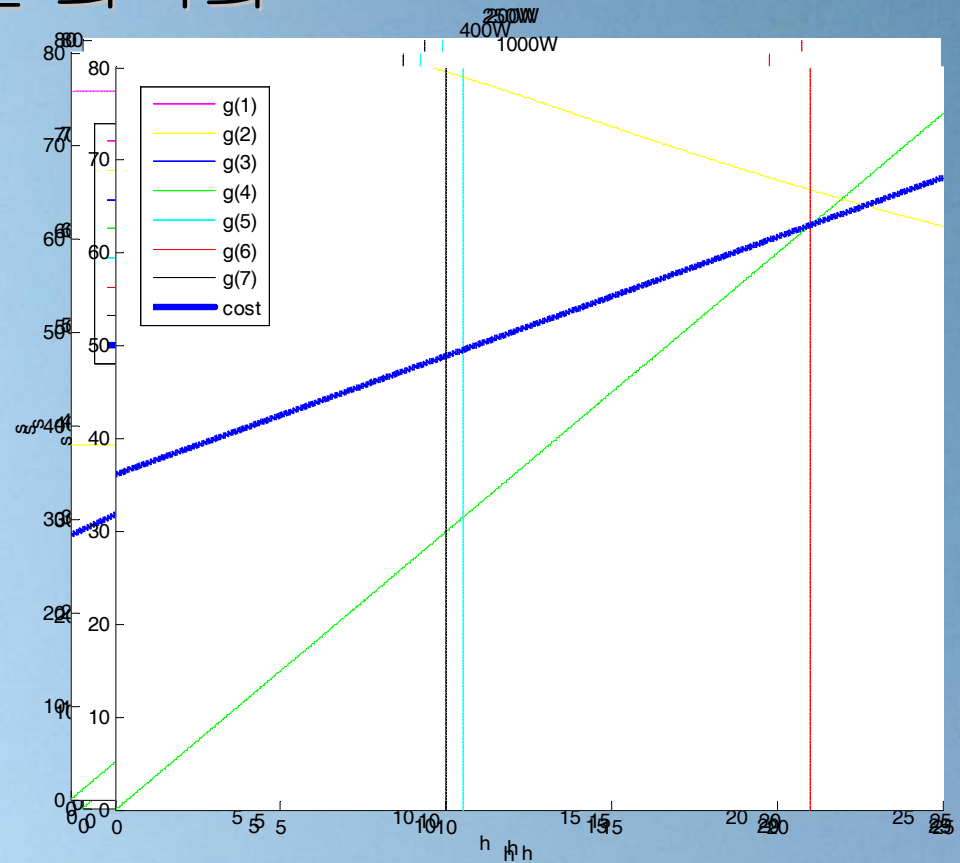


가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

Excel과 Matlab을 이용한 최적화

1000W					
variables	h	s	sum of LHS	RHS limit	총비용
variables' value	21	63			
object function					₩261,599,194
const_1			-22257.2	0	
const_2			2412.24	0	
const_3			-41474.5	0	
const_4			1E-06	0	
const_5			-10.5	0	
const_6			-9	0	
const_7			0	0	

```
options = optimset('LargeScale','off');
options = optimset('LargeScale','off');
x0=[15,30];
x=fmincon('pro1000',x0,[],[],[],[],[],[],[],'conpro1000',options)
Optimization terminated: no feasible solution found, Magnitude of search
direction less than 2*options.TolX but constraints are not satisfied,
x = 21.4432    65.7311
4
x = 20.4634    61.3902
```



가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

Comparison with object

계룡대 2 정문 앞 가로등

구간 : 930m

전구의 밝기 : 250W

가로등의 수 : 62개

가로등의 높이 : 10m

가로등간 간격 : 30m

총 공사비 : 226 백만원

최적화 된 가로등

구간 : 930m

전구의 밝기 : 450W

가로등의 수 : 39개

가로등의 높이 : 20.42m

가로등의 간격 : 67.88m

총 공사비 : 207 백만원

가로등의 설치 및 유지비용의 최적화 - 1000W를 꿈꾸는 꼬마전구

The background features a dark blue horizontal bar across the middle. To the left of this bar is a staircase-like graphic composed of several squares in various shades of blue and purple, arranged in a descending pattern from top-left to bottom-right. The top and bottom sections of the slide are light gray, while the leftmost section is a light blue gradient.

Thank You

한 학기 동안 수고하셨습니다