

농업용 스프링클러를 이용한 작물재배 환경의 최적화 2nd edition

TEAM ★ AUTO LEVELS

2002008903

이재훈

2002006769

박정환

2002007245

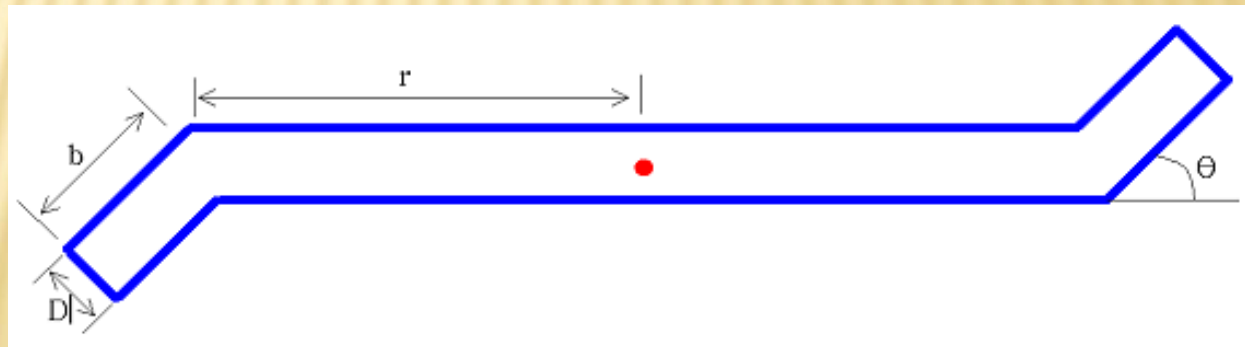
김승현

STEP 1. PROBLEM STATEMENT

- ✖ 배추를 재배하는 비닐하우스가 있다. 이를 재배하는 데는 지속적인 물 공급이 필요하다.
- ✖ 정해진 면적의 비닐하우스에 스프링클러 날개 끝 출구에서의 속도(V), 출구의 지름(D)에 따라 유량(수도요금)을 최소화 하면서, 배추가 자생하는데 필요한 최적의 물의 양을 공급하여야 한다.

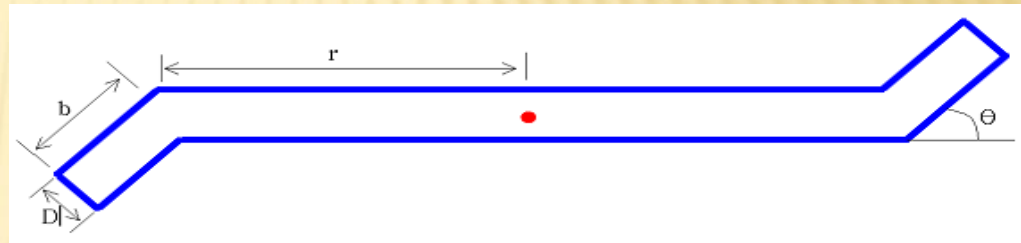
• ASSUMPTIONS •

- ✕ 하루에 3시간 작동.
- ✕ 물은 스프링 클러에서 모든 방향으로 일정하게 분사.
- ✕ 스프링클러는 물의 분출속도에 의한 자체 동력회전.
- ✕ 모든 스프링 클러는 하향식이고 동일.
- ✕ 관로 손실과 외부 인가력은 없음.(정상상태)
- ✕ 모든 부분에서 압력 구배가 동일.
- ✕ 전단력이 무시 가능.
- ✕ $b \approx 0$
- ✕ $r/V \ll 1$
- ✕ $b \ll r$



STEP 2. DATA INFORMATION COLLECTION

- × 물의 점성계수 (μ) = 1.005 kg/ms (20°C)
- × 원주율 (π) = 3.14159
- × 물의 밀도 (ρ) = 998.2 kg/m³ (20°C)
- × 중력 (g) = 9.806 m/s²



- × Parameter

스프링클러 스탠드의 높이 (h) = 1.5m

스프링클러의 끝부분의 꺾임각 (θ) = 45°

스프링클러의 중심에서 출구까지의 거리 (r) = 0.01 m

배추의 단위면적(m²)및 초당(s) 필요한 최소 수분(N)

$$= 0.0000185 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s} = 1.85 \text{ E-5 m}^3/\text{m}^2\text{s}$$

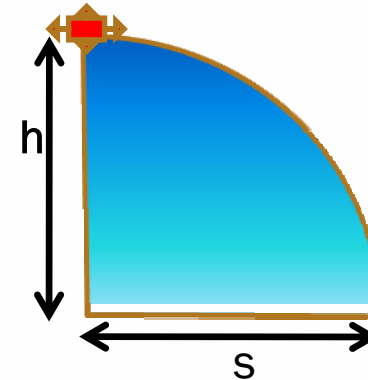
STEP 2. DATA INFORMATION COLLECTING

물의 분사거리

$$s = V \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

단위면적당 필요한 수분

$$\frac{Q}{\pi s^2} = \frac{AV}{\pi s^2} = \frac{(\frac{\pi D^2}{4})V}{\pi (V^2 \frac{2h}{g})} = \frac{D^2 g}{8 V h}$$



층류라 가정

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

각속도

$$\omega = \frac{V \sin \theta}{r}$$

STEP 3. DESIGN VARIABLES

✕ Design Variables

스프링클러 출구의 지름 : D (m)

스프링클러 날개 끝 출구에서의 속도 : V (m/s)

STEP 4. COST FUNCTION / STEP 5. CONSTRAINTS

Minimize_{v,a} $Q = VA$

Subject to

$$g_1 = s_1 - V\sqrt{\frac{2h}{g}} \leq 0$$

$$g_2 = V\sqrt{\frac{2h}{g}} - s_2 \leq 0$$

$$g_3 = V - \frac{D^2g}{8hN} \leq 0$$

$$g_4 = \frac{\rho VD}{\mu} - 2000 \leq 0$$

$$g_5 = -A \leq 0$$

$$g_6 = w_1 - \frac{V\sin\theta}{r} \leq 0$$

$$g_7 = \frac{V\sin\theta}{r} - w_2 \leq 0$$

$$s_1\sqrt{\frac{g}{2h}} \leq V \leq s_2\sqrt{\frac{g}{2h}}$$

$$V \leq \frac{D^2g}{8hN}$$

$$V \leq \frac{2000\mu}{\rho D}$$

$$A \geq 0$$

$$\frac{rw_1}{\sin\theta} \leq V \leq \frac{rw_2}{\sin\theta}$$

• RESULTS USING EXCEL •

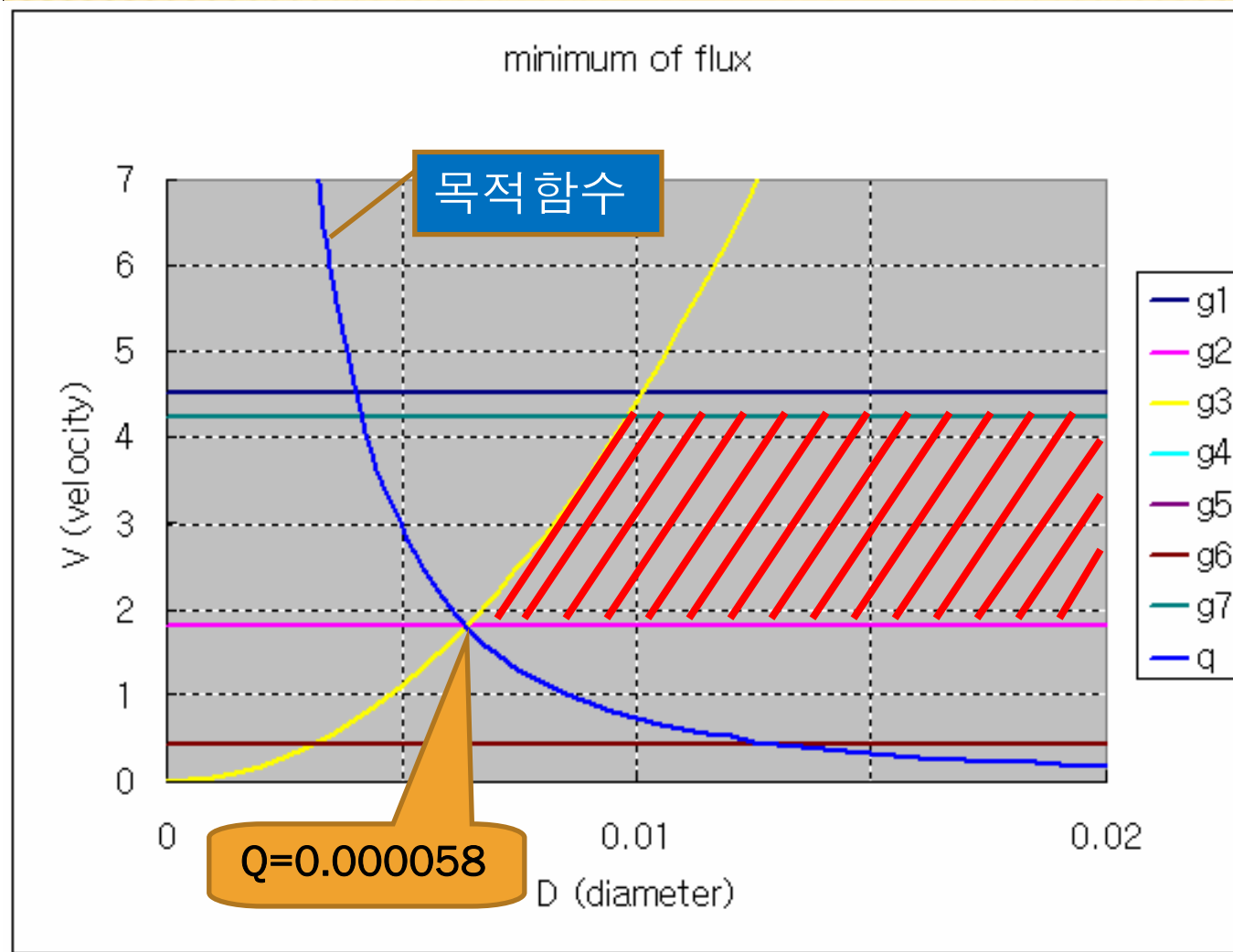
그래프(재운수정)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	$g(m/s^2)$	9.80663	$s_1(m)$	1	$w_1(rad/s)$	30			
2	κ	3.14159	$s_2(m)$	2.5	$w_2(rad/s)$	300			
3	$h(m)$	1.5	$N(m^3/m^2s)$	0.0000185	$r(m)$	0.01			
4	$\mu(20^\circ C 물)$	1.005	$Q(m^3/m^2s)$	0.000058					
5	$\rho(20^\circ C 물)$	998.2							
6	$\theta(rad)$	0.7853975							
7									
8									
9	D	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g
10	0	4.5200876	1.8080035	0	1.00E+60		0.42426435	4.2426435	1.00E+60
11	0.001	4.5200876	1.8080035	0.044174009	2013.624524		0.42426435	4.2426435	73.847956
12	0.002	4.5200876	1.8080035	0.176696036	1006.812262		0.42426435	4.2426435	18.461989
13	0.003	4.5200876	1.8080035	0.397566081	671.2081747		0.42426435	4.2426435	6.20532644
14	0.004	4.5200876	1.8080035	0.706784144	503.406131		0.42426435	4.2426435	4.61549725
15	0.005	4.5200876	1.8080035	1.104350225	402.7249048		0.42426435	4.2426435	2.95391824
16	0.006	4.5200876	1.8080035	1.590264324	335.6040874		0.42426435	4.2426435	2.05133211
17	0.007	4.5200876	1.8080035	2.164526441	287.6606463		0.42426435	4.2426435	1.50710114
18	0.008	4.5200876	1.8080035	2.827136577	251.7030665		0.42426435	4.2426435	1.15387431
19	0.009	4.5200876	1.8080035	3.57809473	223.7360582		0.42426435	4.2426435	0.91170316
20	0.01	4.5200876	1.8080035	4.417400901	201.3624524		0.42426435	4.2426435	0.73847956
21	0.011	4.5200876	1.8080035	5.34505509	183.0567749		0.42426435	4.2426435	0.61031369
22	0.012	4.5200876	1.8080035	6.361057297	167.8020437		0.42426435	4.2426435	0.51283303
23	0.013	4.5200876	1.8080035	7.465407523	154.8941942		0.42426435	4.2426435	0.43697015
24	0.014	4.5200876	1.8080035	8.658105766	143.8303232		0.42426435	4.2426435	0.37677529
25	0.015	4.5200876	1.8080035	9.939152027	134.2416349		0.42426435	4.2426435	0.32621314
26	0.016	4.5200876	1.8080035	11.30854631	125.8515328		0.42426435	4.2426435	0.28846858
27	0.017	4.5200876	1.8080035	12.7662686	118.4485014		0.42426435	4.2426435	0.25552926
28	0.018	4.5200876	1.8080035	14.31237892	111.8680291		0.42426435	4.2426435	0.22792579
29	0.019	4.5200876	1.8080035	15.94681725	105.9802381		0.42426435	4.2426435	0.20456497
30	0.02	4.5200876	1.8080035	17.6696036	100.6812262		0.42426435	4.2426435	0.18461989
31									

배수를 재배하는데 하루에 단위면적(m^2)당 필요한 물의 양이 최소한 $0.2m^3$ 만큼 필요한데, 이것을 하루에 3번으로 나눠 한시간씩 세번 스프링클러를 가동한다고 할 때 변환한 값.

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3 /

• GRAPHICAL METHOD •



$$g_1 = s_1 - V \sqrt{\frac{2h}{g}} \leq 0$$

$$g_2 = V \sqrt{\frac{2h}{g}} - s_2 \leq 0$$

$$g_3 = V - \frac{D^2 g}{8hN} \leq 0$$

$$g_4 = \frac{\rho V D}{\mu} - 2000 \leq 0$$

$$g_5 = -A \leq 0$$

$$g_6 = w_1 - \frac{V \sin \theta}{r} \leq 0$$

$$g_7 = \frac{V \sin \theta}{r} - w_2 \leq 0$$

• FURTHER POINTS

- ✕ 2변수 함수 Excel 해 찾기 → 다 변수 함수의 해 찾기 (높이 h , 스프링클러 분출구 각도 θ 추가)
- ✕ 매틀랩(fmincon) 을 이용한 최적해 구하기 및 비교
- ✕ 바닥에 닿는 물의 면적에 따른 스프링클러의 최적 배치
- ✕ 최적 유량을 공급 할 수 있는 펌프의 선택
- ✕ 기존 비닐 하우스 설계와의 비교

• EXCEL SOLVER METHOD FOR 2 D.Vs

	A	B	C	D	E	F	G
1			initial	optimum			
2	design valuables	V	1.5	1.808003503			
3		D	0.005	0.006397587			
4							
5	objective function	f	2.94524E-05	5.81195E-05			
6	constraints	g1	0.17035559	0			
7		g2	-2.041126768	-1.946903726			
8		g3	0.395649775	3.18559E-07			
9		g4	-1992.550746	-1988.511404			
10		g5	-1.9635E-05	-3.21457E-05			
11		g6	-76.06601718	-97.84515373			
12		g7	-193.9339828	-172.1548463			
13							
14							
15							
16	목표 셀 (최소값)						
17		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
18		\$D\$5	f optimum	2.94524E-05	5.8119E-05		
19							
20							
21	값을 바꿀 셀						
22		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
23		\$D\$2	V optimum	1.5	1.8080035		
24		\$D\$3	D optimum	0.005	0.00639759		
25							
26							
27	제한 조건						
28		셀	이름	셀의 값	수식	만족 정도	조건과의 차
29		\$D\$6	g1 optimum	0	\$D\$6<=0	만족	0
30		\$D\$7	g2 optimum	-1.946903726	\$D\$7<=0	부분적 만족	1.94690373
31		\$D\$8	g3 optimum	3.18559E-07	\$D\$8<=0	만족	0
32		\$D\$9	g4 optimum	-1988.511404	\$D\$9<=0	부분적 만족	1988.5114
33		\$D\$10	g5 optimum	-3.21457E-05	\$D\$10<=0	부분적 만족	3.2146E-05
34		\$D\$11	g6 optimum	-97.84515373	\$D\$11<=0	부분적 만족	97.8451537
35		\$D\$12	g7 optimum	-172.1548463	\$D\$12<=0	부분적 만족	172.154846
36							
37							

• EXCEL SOLVER METHOD FOR 2 D.Vs

	A	B	C	D	E	F	G
1			initial	optimum			
2	design valuables	V	1.5	1.808003503			
3		D	0.005	0.006397587			
4							
5	objective function	f	2.94524E-05	5.81195E-05			
6	constraints	g1	0.17035559	0			
7		g2	-2.041126768	-1.946903726			
8		g3	0.395649775	3.18559E-07			
9		g4	-1992.550746	-1988.511404			
10		g5	-1.9635E-05	-3.21457E-05			
11		g6	-76.06601718	-97.84515373			
12		g7	-193.9339828	-172.1548463			
13							
14							
15							
16	목표 셀 (최소값)						
17		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
18		\$D\$5	f optimum	2.94524E-05	5.8119E-05		
19							
20							
21	값을 바꿀 셀						
22		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
23		\$D\$2	V optimum	1.5	1.8080035		
24		\$D\$3	D optimum	0.005	0.00639759		
25							
26							
27	제한 조건						
28		셀	이름	셀의 값	수식	만족 정도	조건과의 차
29		\$D\$6	g1 optimum	0	\$D\$6<=0	만족	0
30		\$D\$7	g2 optimum	-1.946903726	\$D\$7<=0	부분적 만족	1.94690373
31		\$D\$8	g3 optimum	3.18559E-07	\$D\$8<=0	만족	0
32		\$D\$9	g4 optimum	-1988.511404	\$D\$9<=0	부분적 만족	1988.5114
33		\$D\$10	g5 optimum	-3.21457E-05	\$D\$10<=0	부분적 만족	3.2146E-05
34		\$D\$11	g6 optimum	-97.84515373	\$D\$11<=0	부분적 만족	97.8451537
35		\$D\$12	g7 optimum	-172.1548463	\$D\$12<=0	부분적 만족	172.154846
36							
37							

• EXCEL SOLVER METHOD FOR 2 D.Vs

	A	B	C	D	E	F	G
1			initial	optimum			
2	design valuables	V	1.5	1.808003503			
3		D	0.005	0.006397587			
4							
5	objective function	f	2.94524E-05	5.81195E-05			
6	constraints	g1	0.17035559	0			
7		g2	-2.041126768	-1.946903726			
8		g3	0.395649775	3.18559E-07			
9		g4	-1992.550746	-1988.511404			
10		g5	-1.9635E-05	-3.21457E-05			
11		g6	-76.06601718	-97.84515373			
12		g7	-193.9339828	-172.1548463			
13							
14							
15							
16	목표 셀 (최소값)						
17		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
18		\$D\$5	f optimum	2.94524E-05	5.8119E-05		
19							
20							
21	값을 바꿀 셀						
22		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
23		\$D\$2	V optimum	1.5	1.8080035		
24		\$D\$3	D optimum	0.005	0.00639759		
25							
26							
27	제한 조건						
28		셀	이름	셀의 값	수식	만족 정도	조건과의 차
29		\$D\$6	g1 optimum	0	\$D\$6<=0	만족	0
30		\$D\$7	g2 optimum	-1.946903726	\$D\$7<=0	부분적 만족	1.94690373
31		\$D\$8	g3 optimum	3.18559E-07	\$D\$8<=0	만족	0
32		\$D\$9	g4 optimum	-1988.511404	\$D\$9<=0	부분적 만족	1988.5114
33		\$D\$10	g5 optimum	-3.21457E-05	\$D\$10<=0	부분적 만족	3.2146E-05
34		\$D\$11	g6 optimum	-97.84515373	\$D\$11<=0	부분적 만족	97.8451537
35		\$D\$12	g7 optimum	-172.1548463	\$D\$12<=0	부분적 만족	172.154846
36							
37							

• EXCEL SOLVER METHOD FOR 3 D.V.s

<분출각 (θ)을 변수로 추가 했을 때>

	A	B	C	D	E	F	G
1			initial	optimum			
2	design valuables	V	1.5	1.808003503			
3		D	0.005	0.006397587			
4		θ	1.047197551	1.047197551			
5	objective function	f	2.94524E-05	5.81195E-05			
6	constraints	g1	0.17035559	0			
7		g2	-2.041126768	-1.946903726			
8		g3	0.395649775	3.18559E-07			
9		g4	-1992.550746	-1988.511404			
10		g5	-1.9635E-05	-3.21457E-05			
11		g6	-99.90381057	-126.5776964			
12		g7	-170.0961894	-143.4223036			
13							
14							
15	목표 셀 (최소값)						
16		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
17		\$D\$5	f optimum	2.94524E-05	5.8119E-05		
18							
19							
20	값을 바꿀 셀						
21		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
22		\$D\$2	V optimum	1.5	1.8080035		
23		\$D\$3	D optimum	0.005	0.00639759		
24		\$D\$4	θ optimum	1.047197551	1.04719755		
25							
26							
27	제한 조건						
28		셀	이름	셀의 값	수식	만족 정도	조건과의 차
29		\$D\$6	g1 optimum	0	\$D\$6<=0	만족	0
30		\$D\$7	g2 optimum	-1.946903726	\$D\$7<=0	부분적 만족	1.94690373
31		\$D\$8	g3 optimum	3.18559E-07	\$D\$8<=0	만족	0
32		\$D\$9	g4 optimum	-1988.511404	\$D\$9<=0	부분적 만족	1988.5114
33		\$D\$10	g5 optimum	-3.21457E-05	\$D\$10<=0	부분적 만족	3.2146E-05
34		\$D\$11	g6 optimum	-126.5776964	\$D\$11<=0	부분적 만족	126.577696
35		\$D\$12	g7 optimum	-143.4223036	\$D\$12<=0	부분적 만족	143.422304
36							

• EXCEL SOLVER METHOD FOR 3 D.Vs

- ✖ <분출각 (θ)을 변수로 추가 했을 때>
- ✖ $Q=0.00005812 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$
- ✖ $V= 1.808 \text{ m/s}$
- ✖ $D= 0.0064\text{m}$
- ✖ $s=1\text{m}$
- ✖ 2변수 함수로 했을 때, 목적 함수 값은 그대로이다. 하지만 θ 값이 바뀔때 따라 스프링클러의 각속도 값이 변화하는 걸 알 수 있었다.

• EXCEL SOLVER METHOD FOR 3 D.Vs

<높이 (h) 를 변수로 추가 했을 때>

	A	B	C	D	E	F	G
1	initial			optimum			
2	design valuables	V	1.5	1.564926565			
3		D	0.005	0.006876521			
4		높이(h)	1	2.002172465			
5	objective function	f	2.94524E-05	5.81194E-05			
6	constraints	g1	0.322598176	4.42186E-07			
7		g2	-2.194084512	-1.860992945			
8		g3	-0.156525338	-8.51108E-07			
9		g4	-1992.550746	-1989.311561			
10		g5	-1.9635E-05	-3.71388E-05			
11		g6	-76.06601718	-80.65701862			
12		g7	-193.9339828	-189.3429814			
13		g8	1	-0.002172465			
14							
15							
16	목표 셀 (최소값)						
17		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
18		\$D\$5	f optimum	2.94524E-05	5.8119E-05		
19							
20							
21	값을 바꿀 셀						
22		셀	이름	계산 전의 값	계산 값		
23		\$D\$2	V optimum	1.5	1.56492657		
24		\$D\$3	D optimum	0.005	0.00687652		
25		\$D\$4	높이(h) optimum	1	2.00217246		
26							
27							
28	제한 조건						
29		셀	이름	셀의 값	수식	만족 정도	조건과의 차
30		\$D\$6	g1 optimum	4.42186E-07	\$D\$6<=0	만족	0
31		\$D\$7	g2 optimum	-1.860992945	\$D\$7<=0	부분적 만족	1.86099294
32		\$D\$8	g3 optimum	-8.51108E-07	\$D\$8<=0	만족	0
33		\$D\$9	g4 optimum	-1989.311561	\$D\$9<=0	부분적 만족	1989.31156
34		\$D\$10	g5 optimum	-3.71388E-05	\$D\$10<=0	부분적 만족	3.7139E-05
35		\$D\$11	g6 optimum	-80.65701862	\$D\$11<=0	부분적 만족	80.6570186
36		\$D\$12	g7 optimum	-189.3429814	\$D\$12<=0	부분적 만족	189.342981
37		\$D\$13	g8 optimum	-0.002172465	\$D\$13<=0	부분적 만족	0.00217246
38							

• EXCEL SOLVER METHOD FOR 3 D.Vs

- × <높이(h)를 변수로 추가 했을 때>
- × 사람보다 높은 높이로 스프링클러를 설치 하고자, 높이에 대한 제한조건 ($h > 2\text{m}$)을 추가하고, 높이를 변수로 바꾸어 해찾기를 시도.
- × $Q = 0.00005812 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$
- × $V = 1.565\text{m/s}$
- × $D = 0.00688\text{m}$
- × $h = 2\text{m}$
- × $s = 1\text{m}$
- × 마찬가지로 목적함수 값은 변하지 않았다. 하지만 속도는 감소하고 스프링클러의 출구 반경은 증가 하였다.

• SOLVING USING FMINCON BY MATLAB

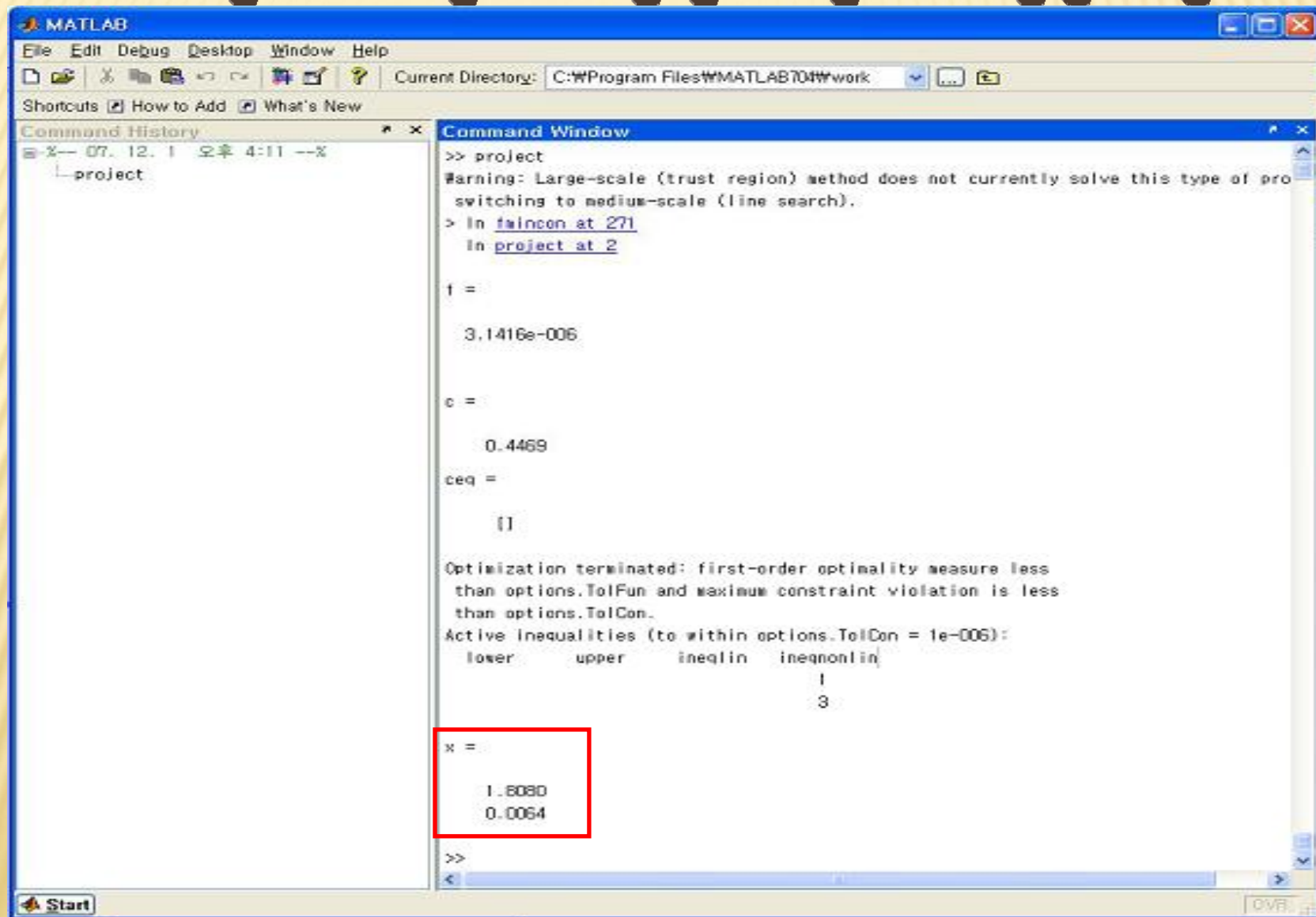
```
Editor - C:\WPROGRA~1\MATLAB~1\work\Wproject.m
File Edit Text Desktop Window Help
1 x0=[1;0.001];
2 x=fmincon('projectfun', x0, [], [], [], [], [], [], 'proconfun')
```

```
Editor - C:\WPROGRA~1\MATLAB~1\work\WPROCON~1.M
File Edit Text Desktop Window Help
1 function [c,ceq]=proconfun(x)
2 c(1)=1-x(1)+(2+1.5/9.80665)^0.5
3 c(2)=x(1)*(2+1.5/9.80665)^0.5-2.5
4 c(3)=x(1)-x(2)^2+9.80665/(8+1.5+0.0000185)
5 c(4)=998.2*x(1)+x(2)/1.005-2000
6 c(5)=-x(2)
7 c(6)=30-x(1)+0.707/0.01
8 c(7)=x(1)+0.707/0.01-300
9 ceq=[]
```

```
Editor - C:\WPROGRA~1\MATLAB~1\work\WPROJEC~1.M
File Edit Text Desktop Window Help
1 function f=projectfun(x)
2 f=x(1)+3.14159*x(2)^2
```

projectfun Ln 2 Col 22 OVR

• SOLVING USING FMINCON BY MATLAB (2)



```
MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: C:\Program Files\MATLAB704\work
Shortcuts How to Add What's New
Command History
> 07. 12. 1 오후 4:11 -->
  project
Command Window
>> project
Warning: Large-scale (trust region) method does not currently solve this type of problem.
switching to medium-scale (line search).
> In fmincon at 271
   In project at 2

f =

    3.1416e-006

c =

    0.4469

ceq =

    []

Optimization terminated: first-order optimality measure less than options.TolFun and maximum constraint violation is less than options.TolCon.
Active Inequalities (to within options.TolCon = 1e-006):
    lower    upper    ineqlin    ineqnonlin
         1
         3

x =

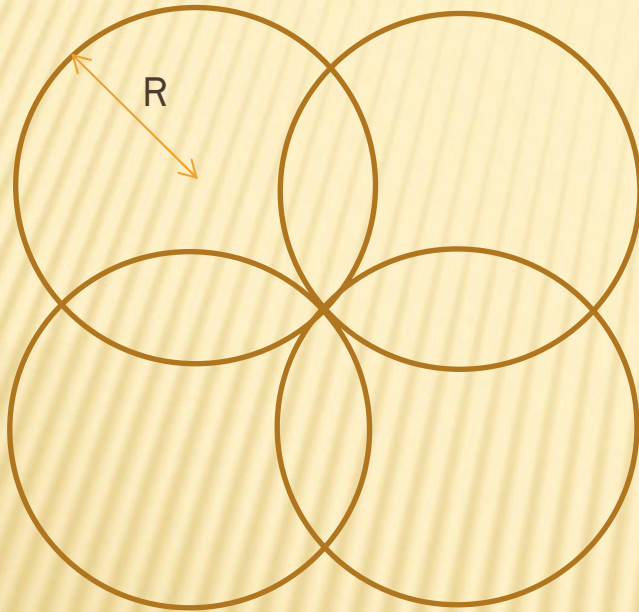
    1.6080
    0.0064

>>
```

• ARRANGEMENT (1)

(1) 정사각형 배치

$R=1\text{m}$



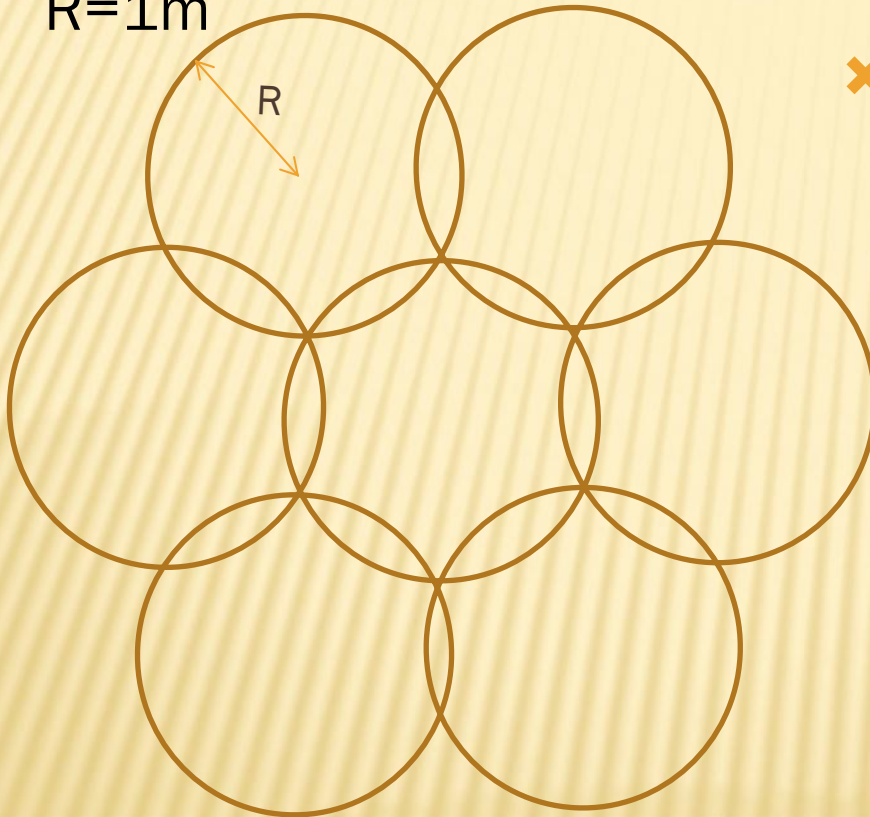
✕ 원 하나당 겹치는 면적

$$\begin{aligned} A &= 2\{(\pi R^2/4)-(R^2/2)\} \times 4 \\ &= 2R^2(\pi-2) = \mathbf{2.283\text{m}^2} \end{aligned}$$

• ARRANGEMENT (2)

(2) 정육각형 배치

$R=1\text{m}$

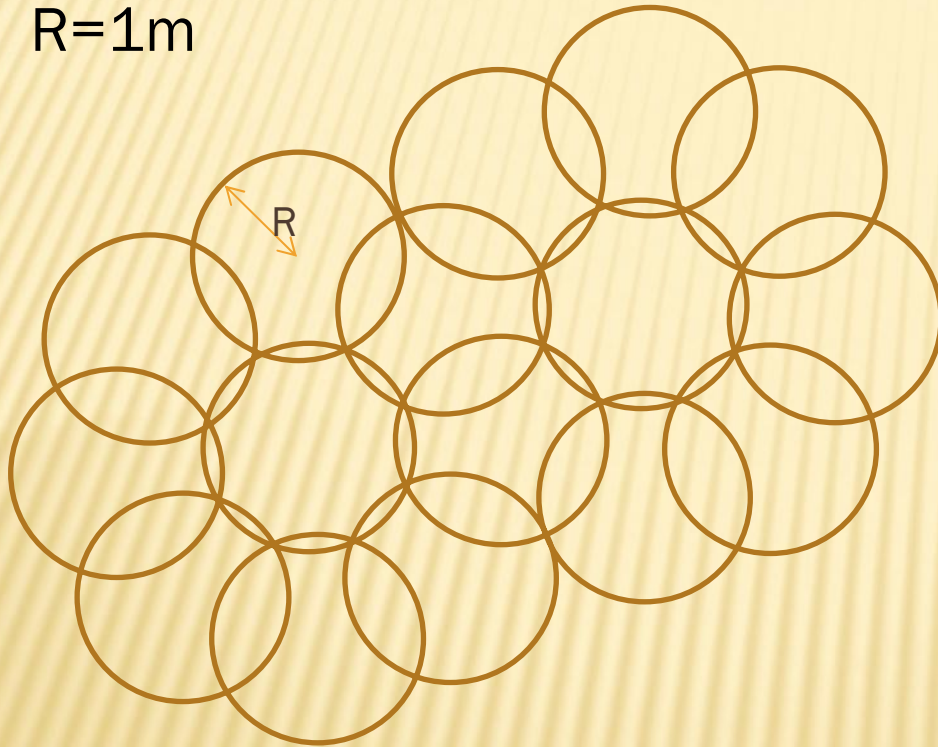


× 원 하나당 겹치는 면적

$$\begin{aligned} A &= 2\{(\pi R^2/6) - \\ & (0.5 * R^2 * 0.866025)\} * 6 \\ &= 1.08704 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

• ARRANGEMENT (3)

(3) 정팔각형 배치
 $R=1m$



✖ 중앙부 원 겹치는 면적

$$A' = 16(\pi R^2 / 8 - 0.5 * R^2 * (1/2^{0.5})) = 0.626 \text{ m}^2$$

✖ 원 5개당 겹치는 면적

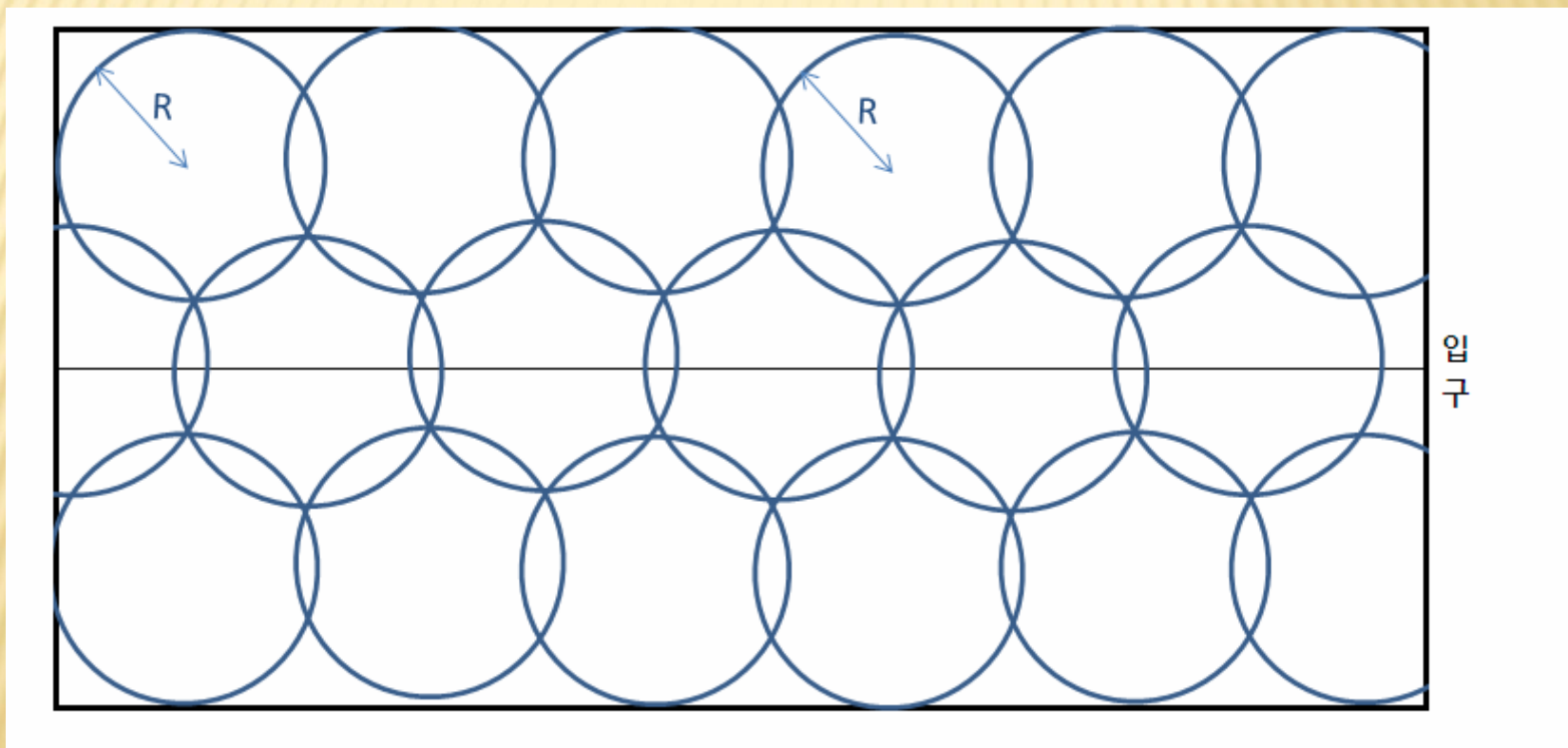
$$5A = 4 * (3 * (2.283/4)) + 0.626 + 0.5 * 0.626 = 7.78856 \text{ m}^2$$

✖ 원 한 개의 평균 겹 면적

$$A = 7.78856 / 5 = 1.557715 \text{ m}^2$$

• ARRANGEMENT (4)

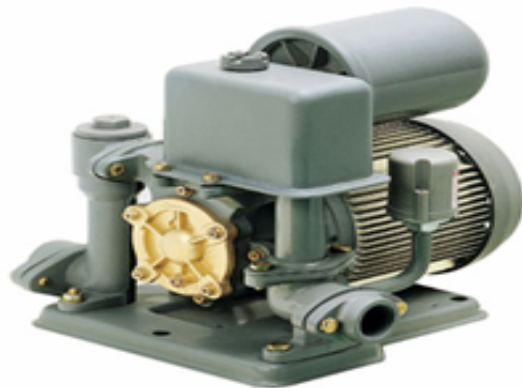
<비닐하우스에 스프링 클러의 최적배치 적용 예>



• SELECTION OF PUMP

분당 유량	밭의 면적	전체 유량
0.00348	50	174

펌프종류	용량	가격	필요한 개수	총가격
PH-150A	35	100000	5	500000
PH-405A	55	172000	4	688000
PH-751K	90	256000	3	768000
PA-600KV	210	499000	1	499000
PC-766KV	230,3333	547000	1	547000



PH-150A

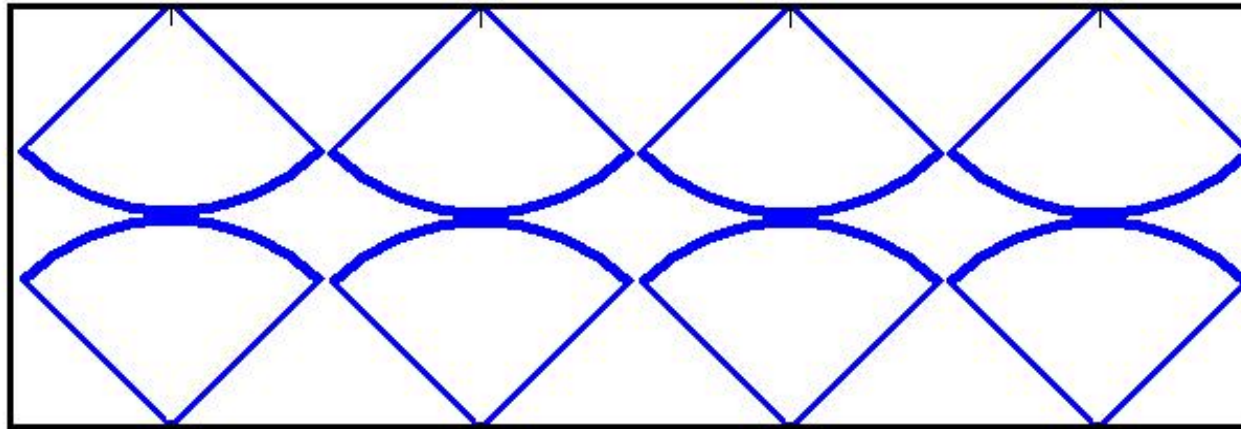


PA-600KV

• COMPARISON TO EXISTING DESIGN CID

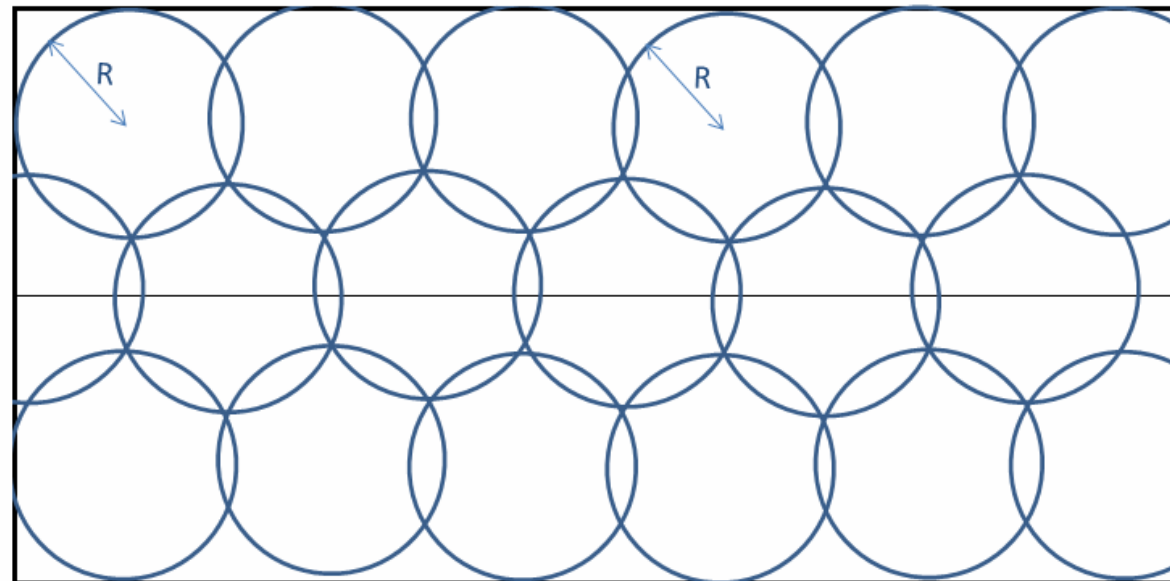


• COMPARISON TO EXISTING DESIGN (2)



← 기존 하우스 배치

최적화된 배치 →



입구

• ADVANCED POINTS

- ✖ 영향을 받는 인자가 너무 많아서 대부분 가정된 수치를 사용하였지만, **Parameter** 로 취급함으로써 후의 다변수 함수에 까지 적용 할 수 있다.

→Parameter 로 취급된 수치(h, θ) 를 다변수 함수에 적용하였다.

- ✖ 현재까진 스프링클러 한 개의 해당 면적만 계산된 결과이므로, 향후 비닐 하우스 면적에 따른 스프링클러의 최적배치 문제를 과제로 남겨 두었다.

→스프링 클러 한 개의 해당 면적을 넘어, 비닐 하우스 면적에 따라 최적 배치를 시도 하였다.