

효율적인 도로 열선 설계

뜨끈뜨끈

임현우 최민재

목차

1

서론

2

전제조건

3

COMSOL 해석모델

4

결과해석

5

결론

6

추가 제언

서론

- 주제

- 4개의 다른 패턴(직선형패턴, 정삼각형패턴, 정사각형패턴, 정육각형패턴) 중에서 가장 효율적인(열선길이/도로면적) 열선배치 구하기

- 팀소개

- 이래서 우리팀은 **“뜨끈뜨끈”**이다!

전제조건

- 아스팔트의 물성
 - 열전도율 $k=1.4\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
 - 밀도 $\rho=2400\text{kg}/\text{m}^3$
 - 비열 $C_p=900\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Thermal conductivity:

k

$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Density:

ρ

kg/m^3

Heat capacity at constant pressure:

C_p

$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

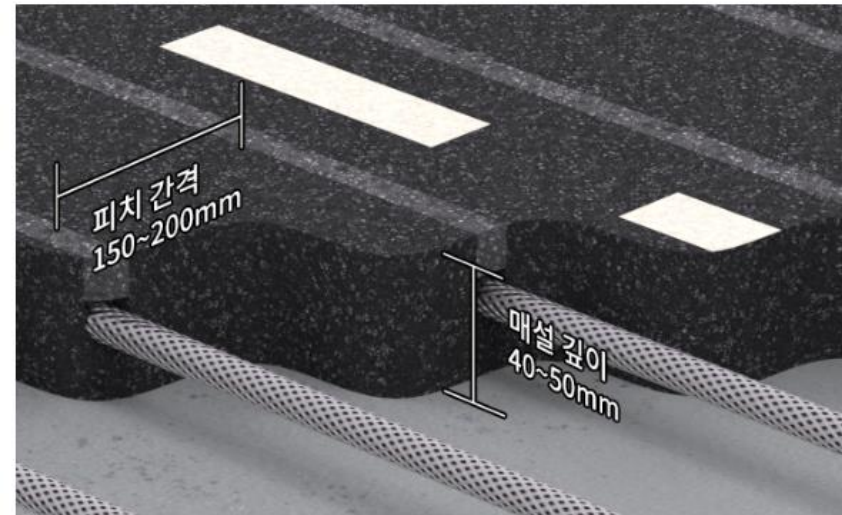
- https://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/articles/pavement_thermal.cfm
- 논문 Towards the Efficient Way of Asphalt Regeneration by Applying Heating and Mechanical Processing(Vytautas Bucinskas 외 저) 2페이지
- <https://www.omnicalculator.com/construction/asphalt>

전제조건

- 도로 포장두께: 100mm / 열선 매설깊이: 45mm

아스팔트 콘크리트 교면포장은 견고한 바닥판 위에 5~10cm 정도의 얇은 아스팔트 혼합물이 시공됨으로 인하여 진동, 충격 및 가혹한 기상조건 등에 그대로 노출됨으로써 일반

교면포장 설계 및 시공 잠정지침, 국토해양부, 2011



<http://www.enerpia.co.kr/kr/road/index.htm>

전제조건

- 열선 지름: 7.5mm / 열선 출력: 40W/m

☞ 참고사항

1) 스노우멜팅 케이블 적용규격 (220V 기준)

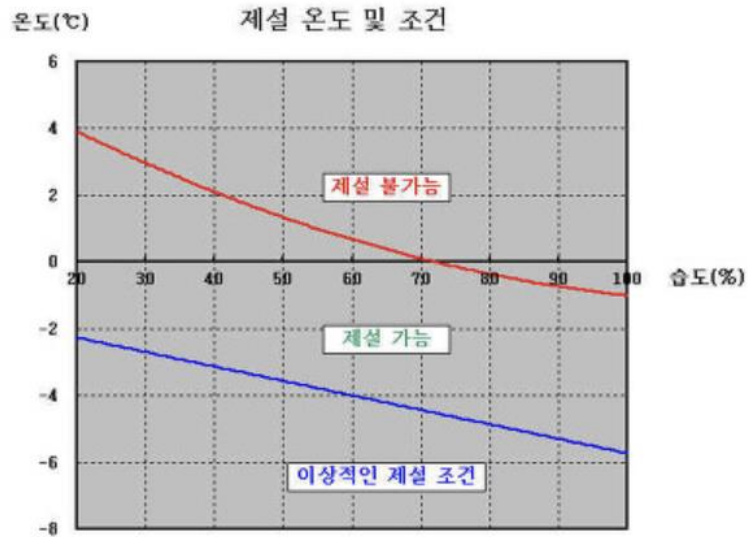
- Snow Melting, 40W/m, 차폐율 100%, 접지형

모델명	제품규격	적용면적	소비전력	비고
EP - SC Series				
EP22.5SC	22.5m x Ø7.5mm	3.3㎡(1.0py)	900Wh	40W/m Ø7.5mm Heating cable with Ø3mm reinforced wire.
EP45SC	45m x Ø7.5mm	6.6㎡(3.0py)	1800Wh	
EP67.5SC	67.5m x Ø7.5mm	9.9㎡(3.0py)	2700Wh	
EP90SC	90m x Ø7.5mm	13.2㎡(4.0py)	3600Wh	
EP112.5SC	112.5m x Ø7.5mm	16.5㎡(5.0py)	4500Wh	
EP - SA Series				
EP22.5SA	22.5m x Ø7.5mm	3.3㎡(1.0py)	900Wh	40W/m Ø7.5mm Heating cable, SUS braided.
EP45SA	45m x Ø7.5mm	6.6㎡(3.0py)	1800Wh	
EP67.5SA	67.5m x Ø7.5mm	9.9㎡(3.0py)	2700Wh	
EP90SA	90m x Ø7.5mm	13.2㎡(4.0py)	3600Wh	
EP112.5SA	112.5m x Ø7.5mm	16.5㎡(5.0py)	4500Wh	

<http://www.enerpia.co.kr/kr/road/index.htm>에서 Snowmelting_cable(specification).pdf

전제조건

- 해석결과, 표면의 모든 부위가 4°C 이상이 되어야 한다.



<https://m.cafe.daum.net/paranpy/CUS7/4>

※여기서 제설은
除雪이 아니라 製雪을 의미함.

전제조건

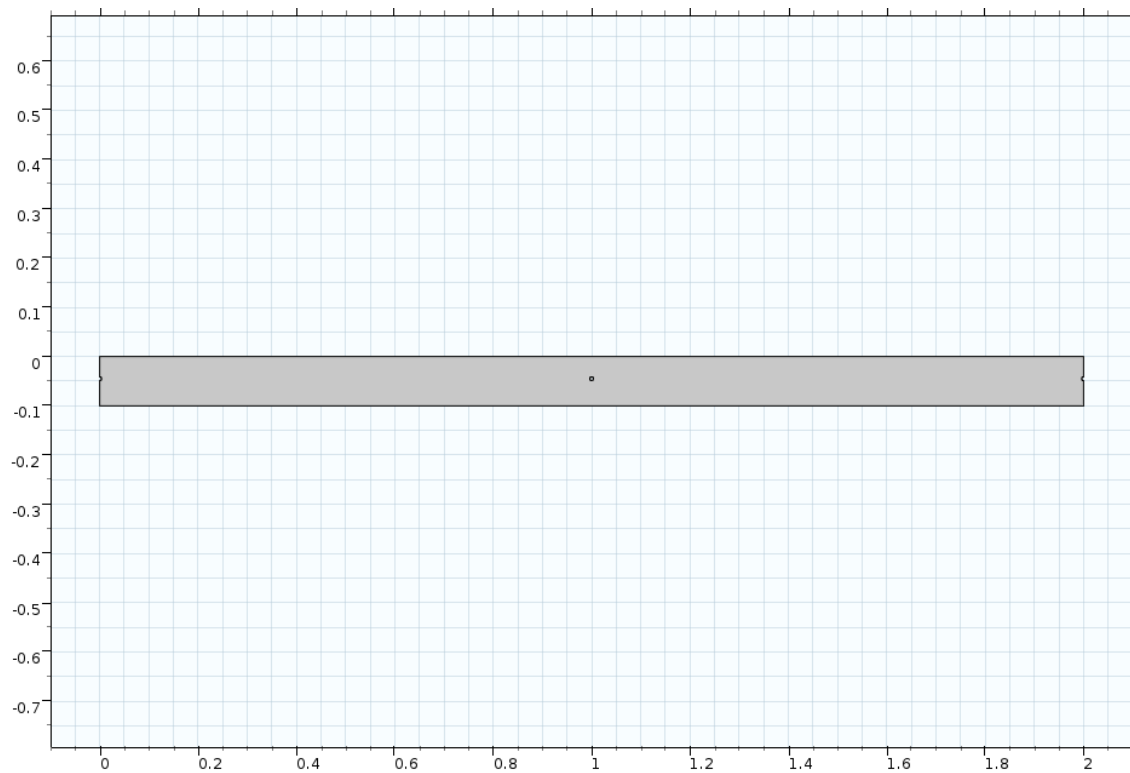
- 아스팔트 초기온도: -4°C / 아스팔트 최저층 깊이: -4°C / 외기온도: -10°C
- 공기의 열전달계수: $2.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Table 12.2. Typical Values of the Convective Heat Transfer Coefficient

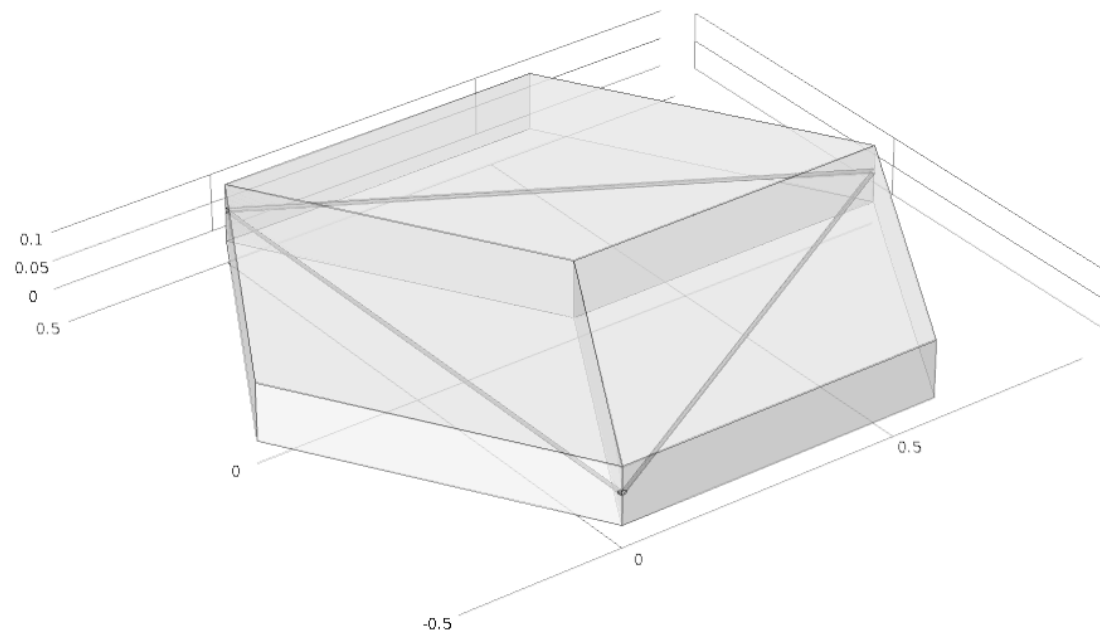
Type of Convection	Convective Heat Transfer Coefficient h	
	$\text{Btu}/(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{R})$	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Air, free	1–5	2.5–25

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/convection-heat-transfer-coefficient>

COMSOL 해석모델

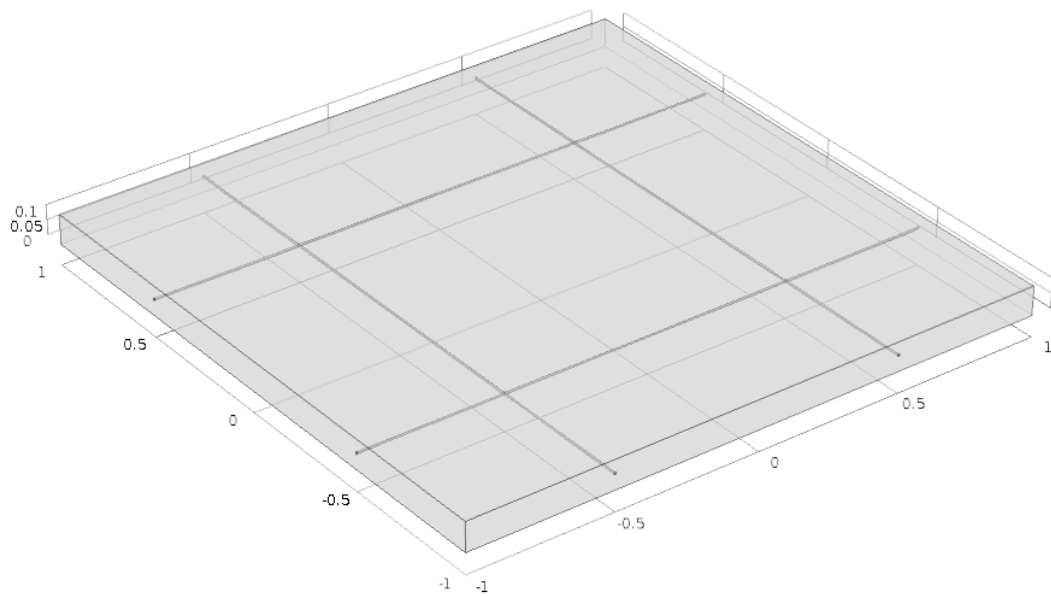


직선형 패턴

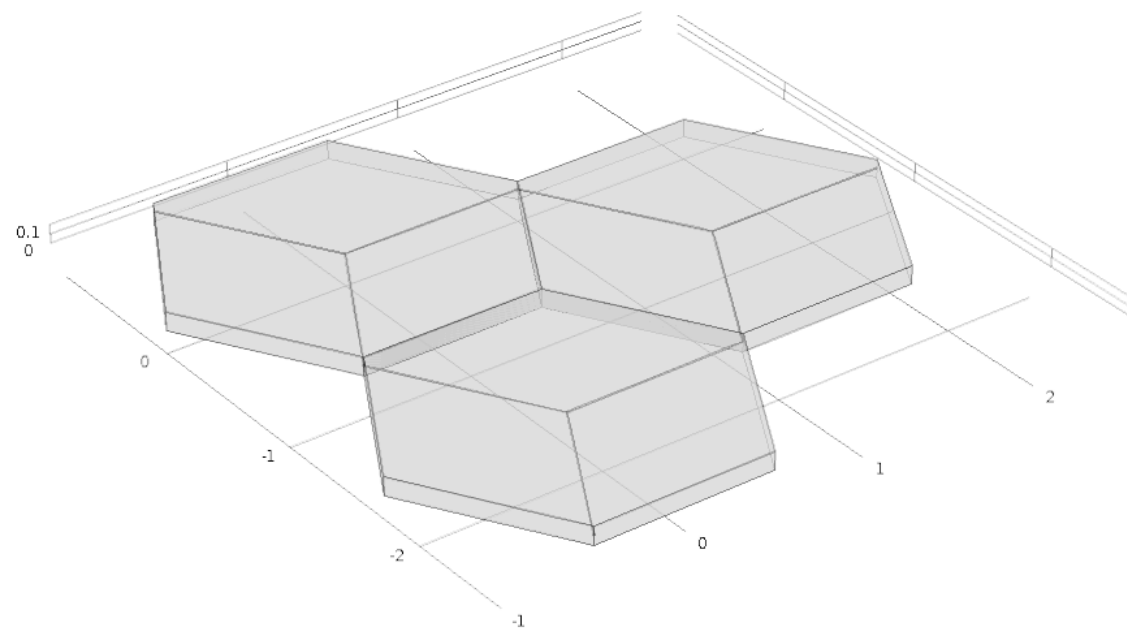


삼각형 패턴

COMSOL 해석모델



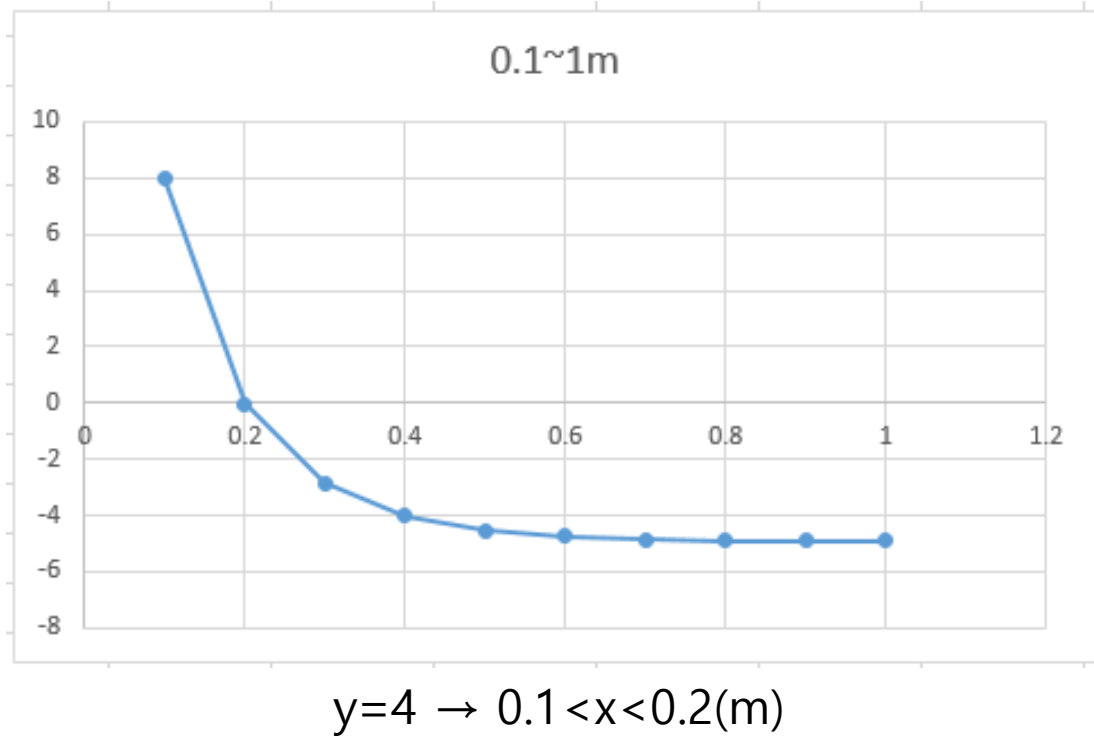
사각형 패턴



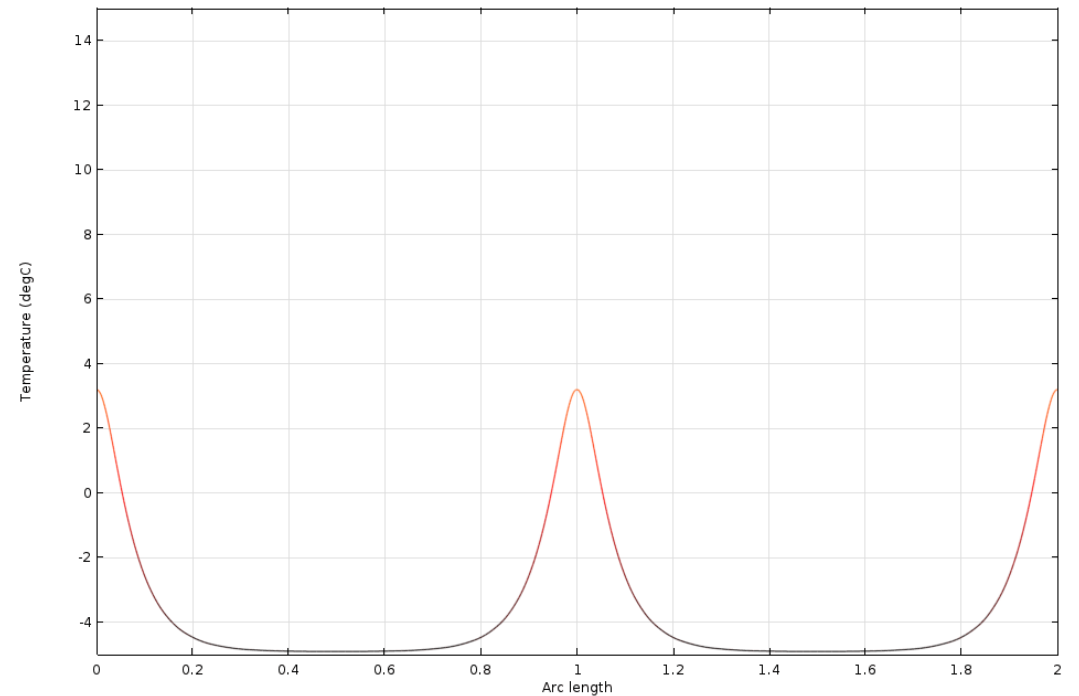
육각형 패턴

직선패턴 결과해석

직선패턴 열선 간격에 따른 최저 표면온도 그래프

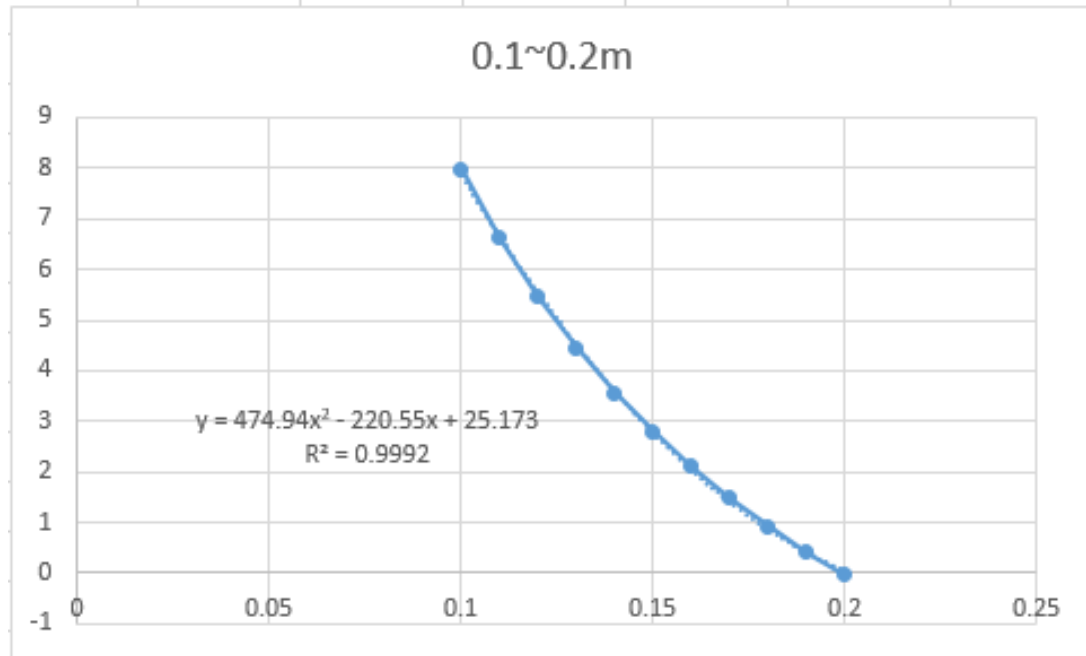


열선간 간격이 1→0.1m로 갈 때 표면온도분포



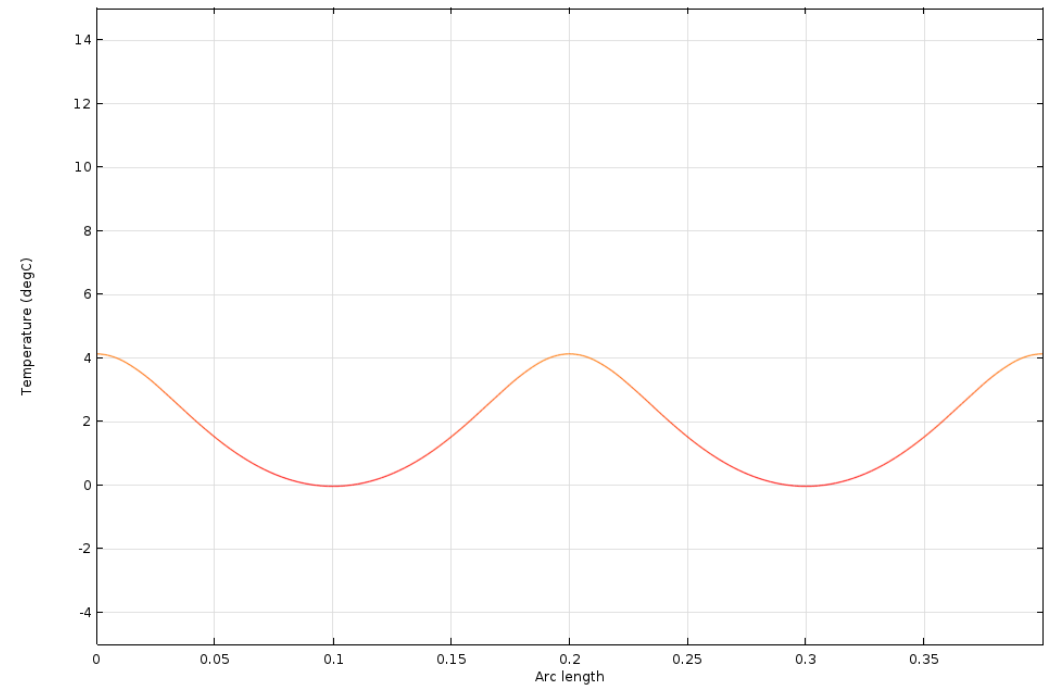
직선패턴 결과해석

직선패턴 열선 간격에 따른 최저 표면온도 그래프

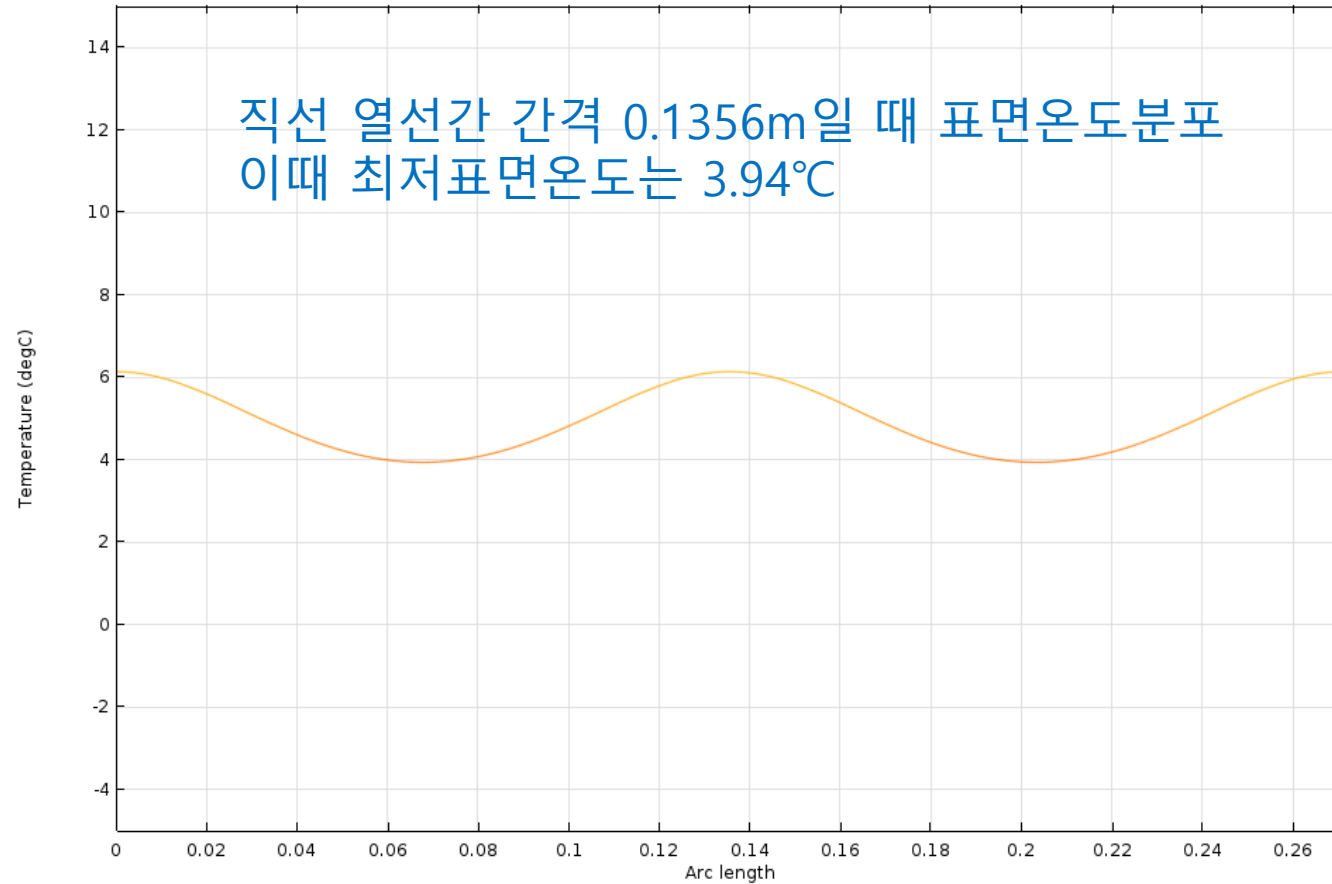


$y=4 \rightarrow x=0.1356(m)$

열선간 간격이 0.2→0.1m로 갈 때 표면온도분포



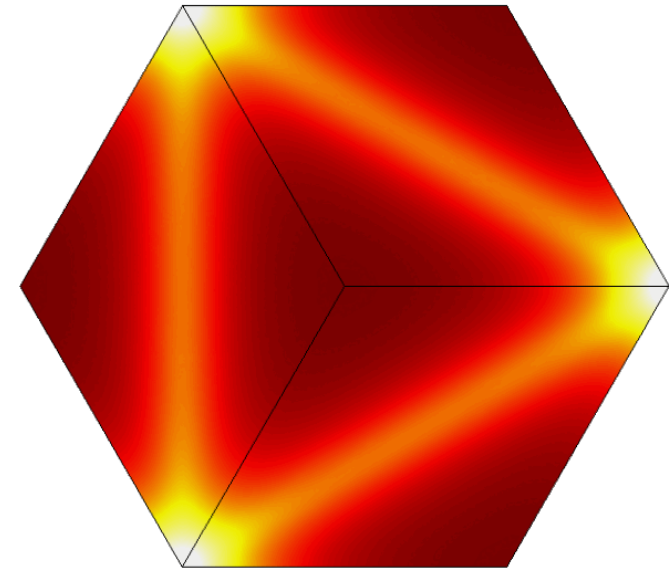
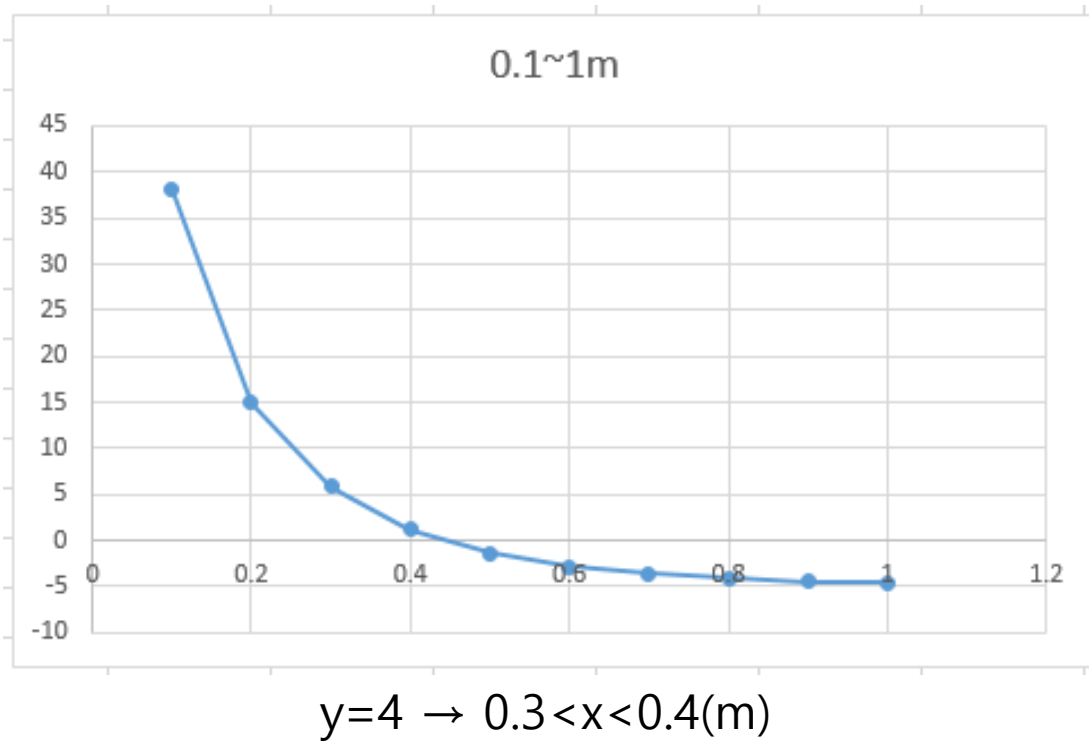
직선패턴 결과해석



$\therefore$ 면적 당 열선 길이: $(0.1356)^{-1} = 7.37\text{m}^{-1} = 7.37\text{m}/\text{m}^2$

패턴△ 결과해석

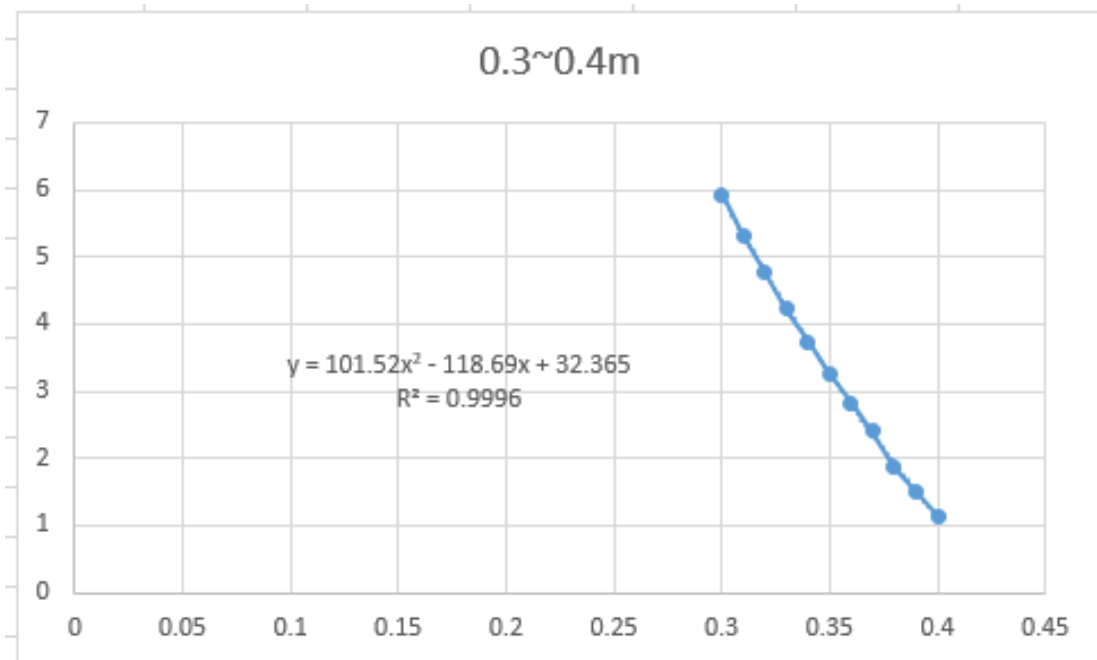
정삼각형 패턴 열선 한 변의 길이에 따른 최저 표면온도 그래프



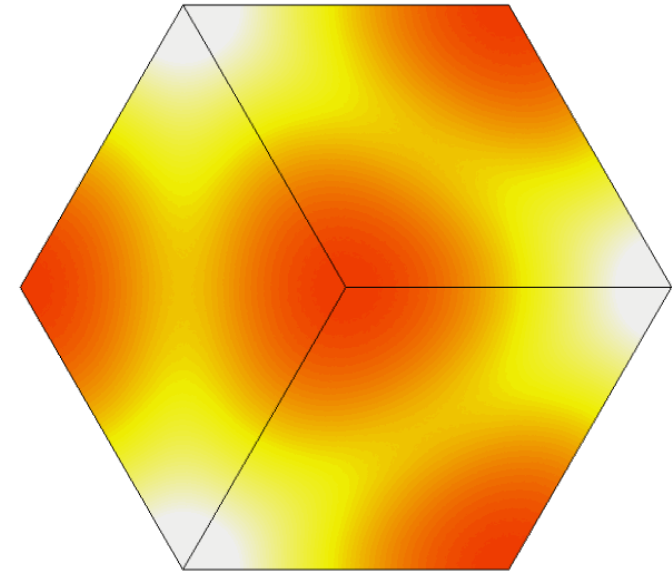
정삼각형 한 변의 길이가
1→0.1m로 갈 때 표면온도분포

패턴△ 결과해석

정삼각형 패턴 열선 한 변의 길이에 따른 최저 표면온도 그래프

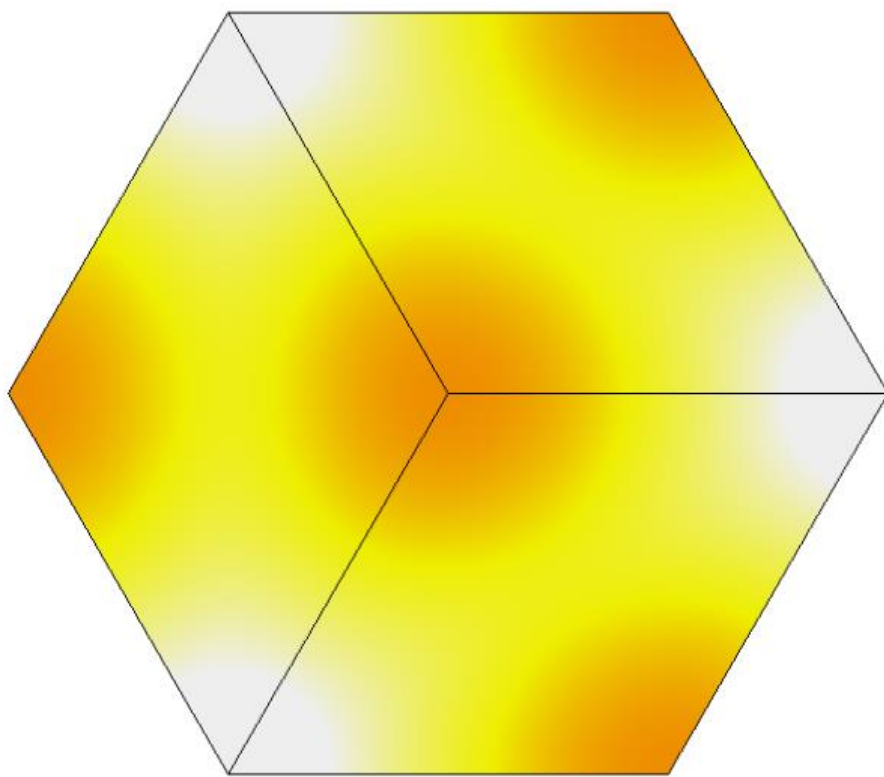


$y=4 \rightarrow x=0.3349(\text{m})$



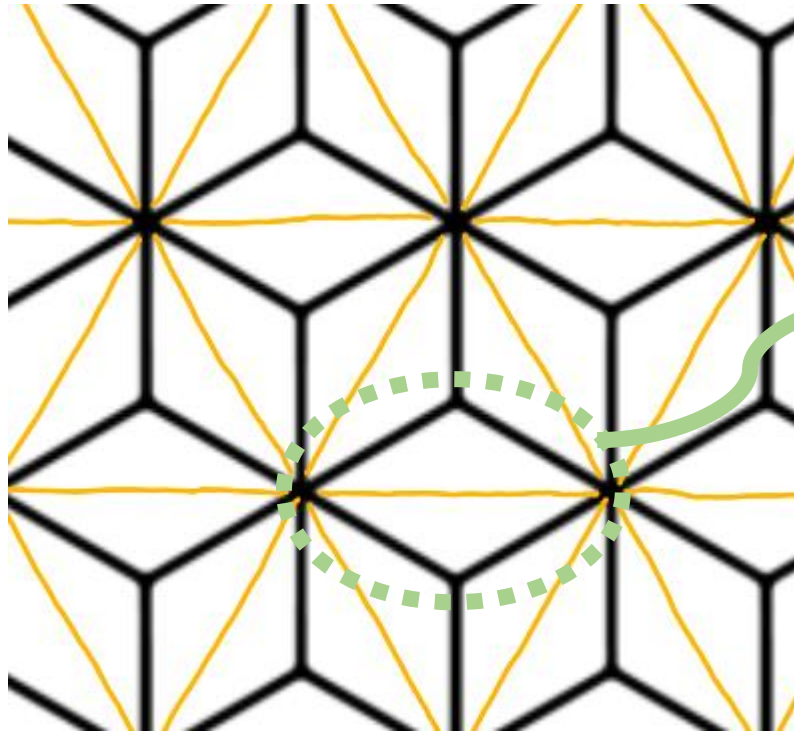
정삼각형 한 변의 길이가
0.4→0.3m로 갈 때 표면온도분포

패턴△ 결과해석



0.3349m일 때 표면온도분포
이때 최저표면온도는 3.98℃

패턴△ 결과해석



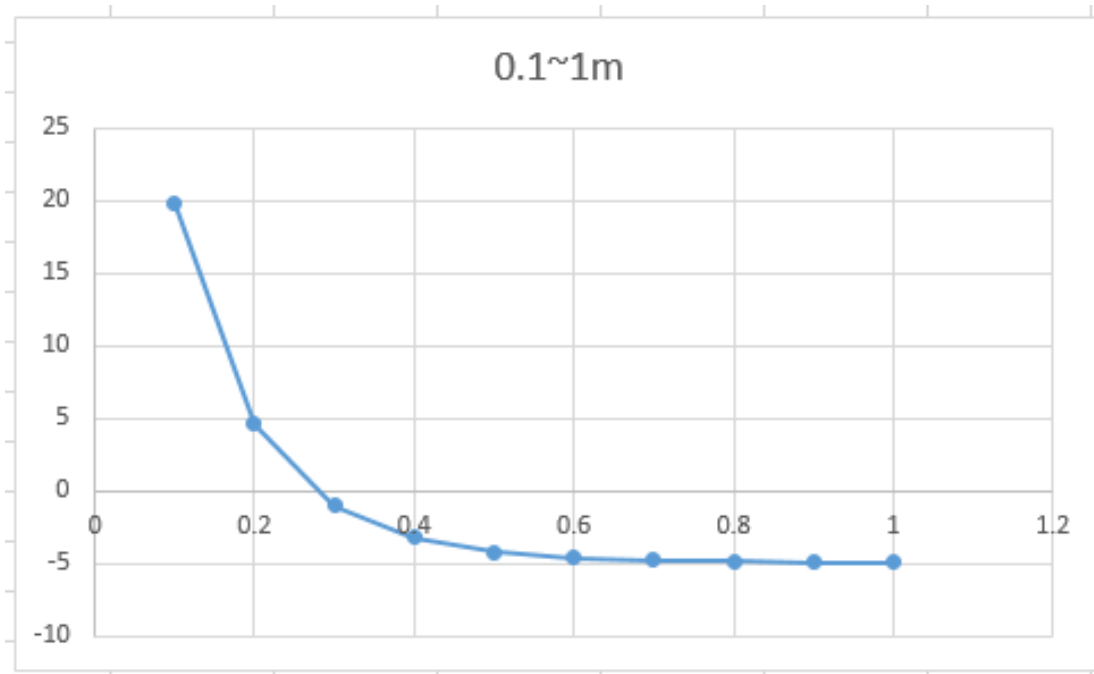
$$\frac{a}{a^2/2\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{3}}{a} \overset{a=0.3349}{\downarrow} = 10.34 \frac{m}{m^2}$$

(정삼각형 열선 한변의 길이)

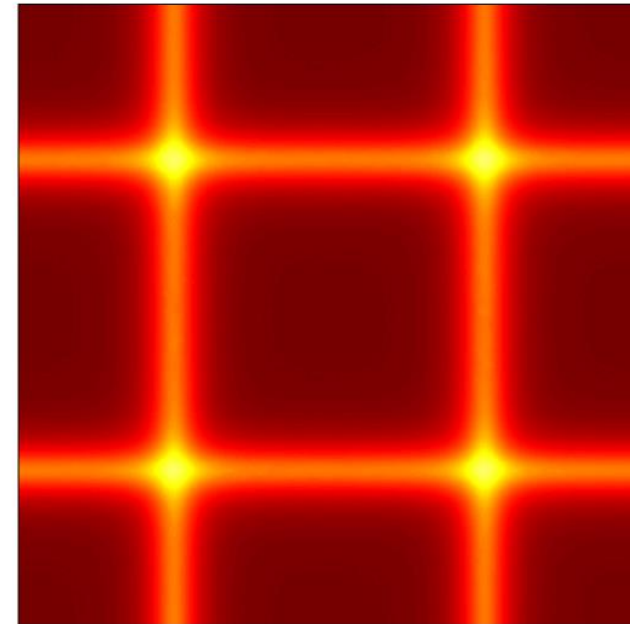
열선(주황색선) 패턴을 구획(흑색선)으로 나누어 단위 구획면적 당 열선의 길이를 구하였다.

패턴 결과해석

정사각형 패턴 열선 한 변의 길이에 따른 최저 표면온도 그래프



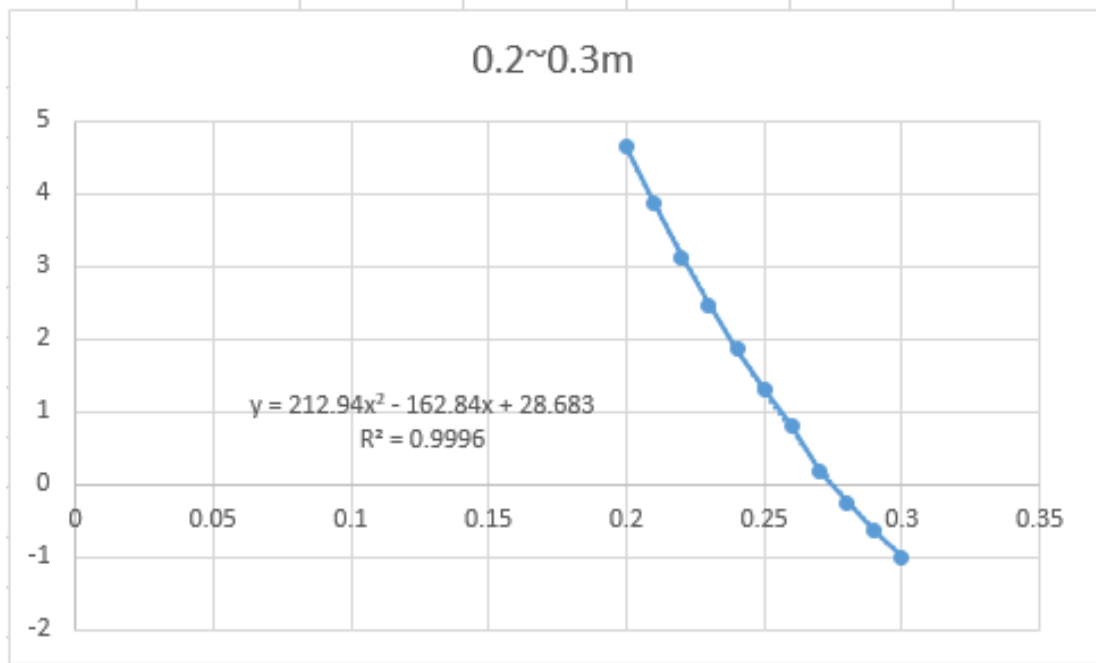
$y=4 \rightarrow 0.2 < x < 0.3(\text{m})$



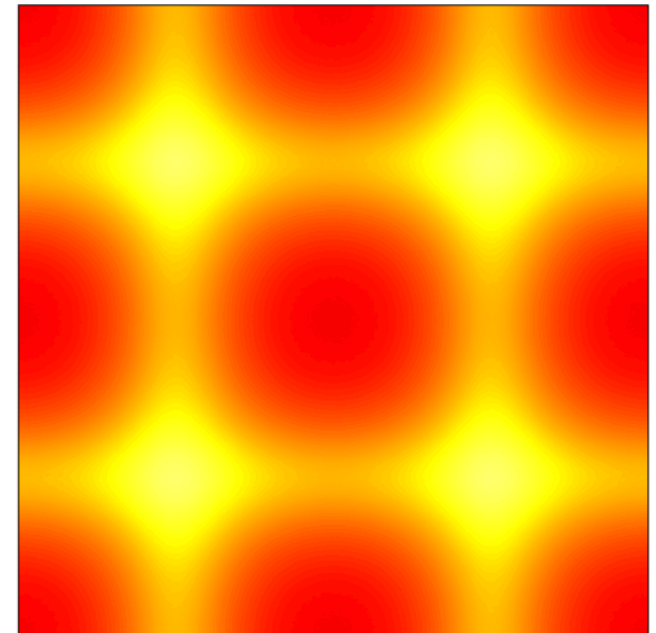
정사각형 한 변의 길이가
 $1 \rightarrow 0.1\text{m}$ 로 갈때 표면온도분포

패턴 결과해석

정사각형 패턴 열선 한 변의 길이에 따른 최저 표면온도 그래프

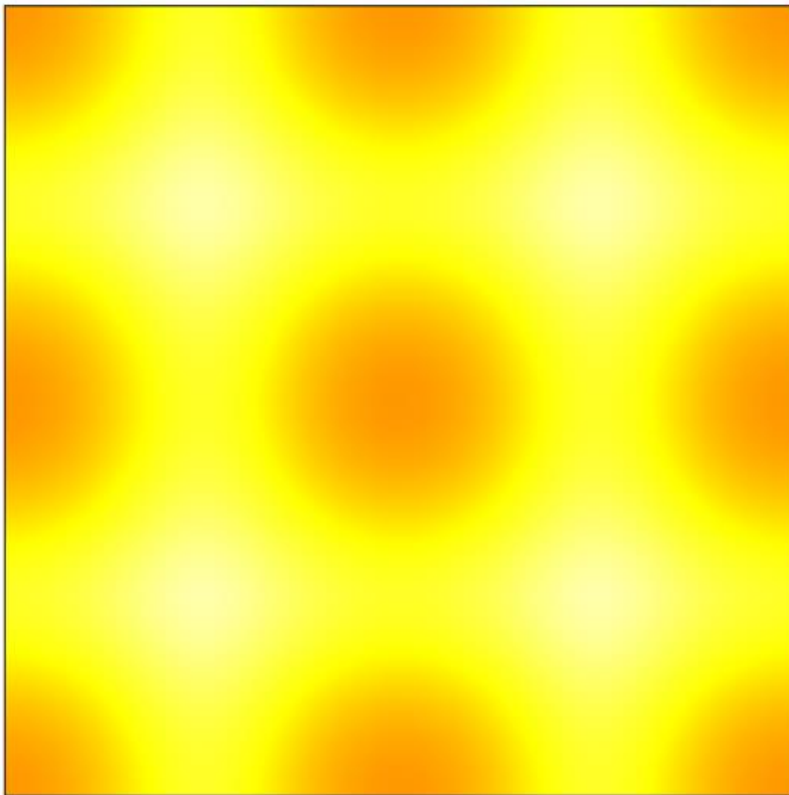


$y=4 \rightarrow x=0.2083(\text{m})$



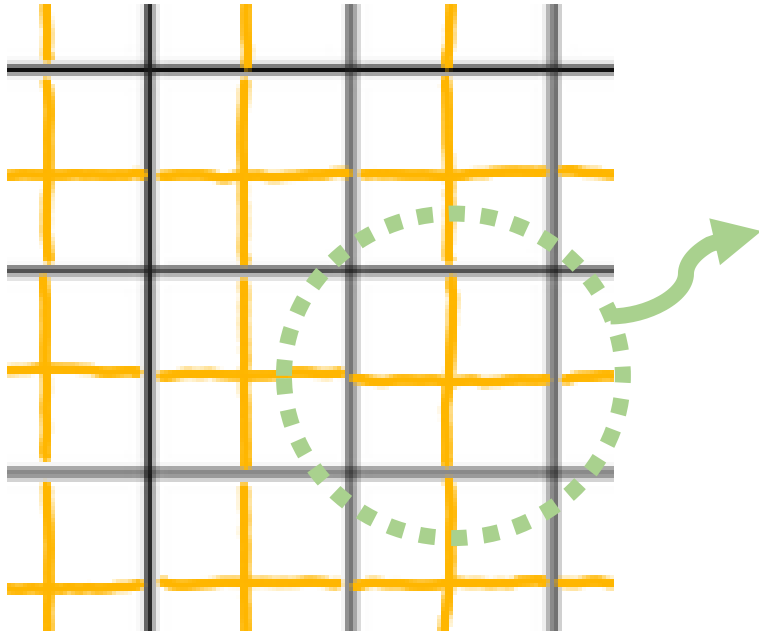
정사각형 한 변의 길이가
0.3→0.2m로 갈때 표면온도분포

패턴□ 결과해석



0.2083m일 때 표면온도분포
이때 최저표면온도는 3.99℃

패턴 □ 결과해석



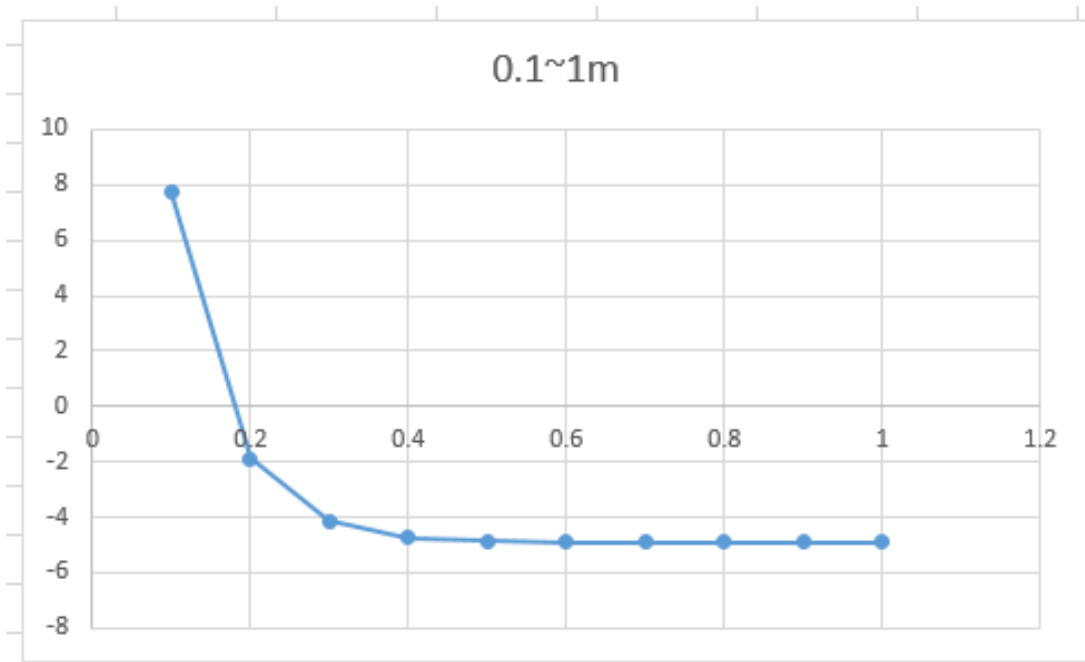
$$a = 0.2083$$
$$\frac{2a}{a^2} = \frac{2}{a} = 9.60 \text{ m/m}^2$$

(a : 정사각형 열선 한변의 길이)

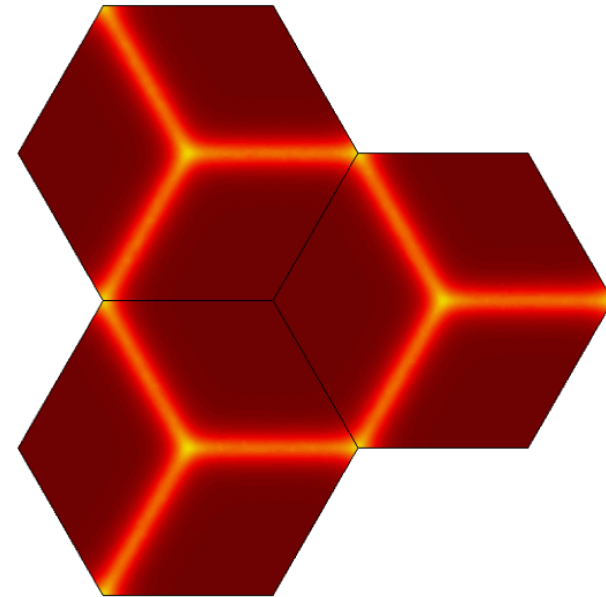
열선(주황색선) 패턴을 같은 정사각형 모양으로 구획(흑색선)으로 나누어 단위 구획면적 당 열선의 길이를 구하였다.

패턴 결과해석

정육각형 패턴 열선 한 변의 길이에 따른 최저 표면온도 그래프



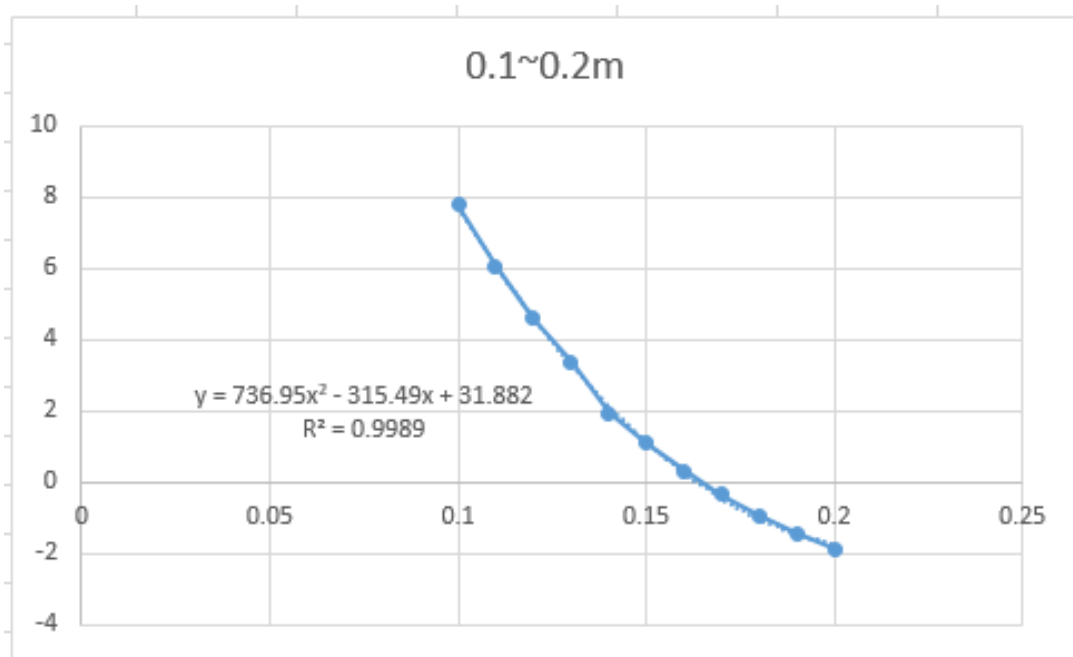
$y=4 \rightarrow 0.1 < x < 0.2(\text{m})$



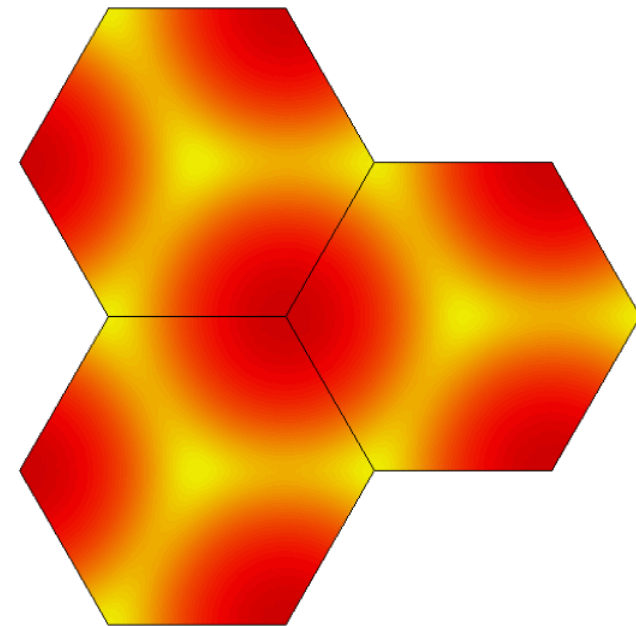
정육각형 한 변의 길이가
 $1 \rightarrow 0.1\text{m}$ 로 갈때 표면온도분포

패턴 결과해석

정육각형 패턴 열선 한 변의 길이에 따른 최저 표면온도 그래프

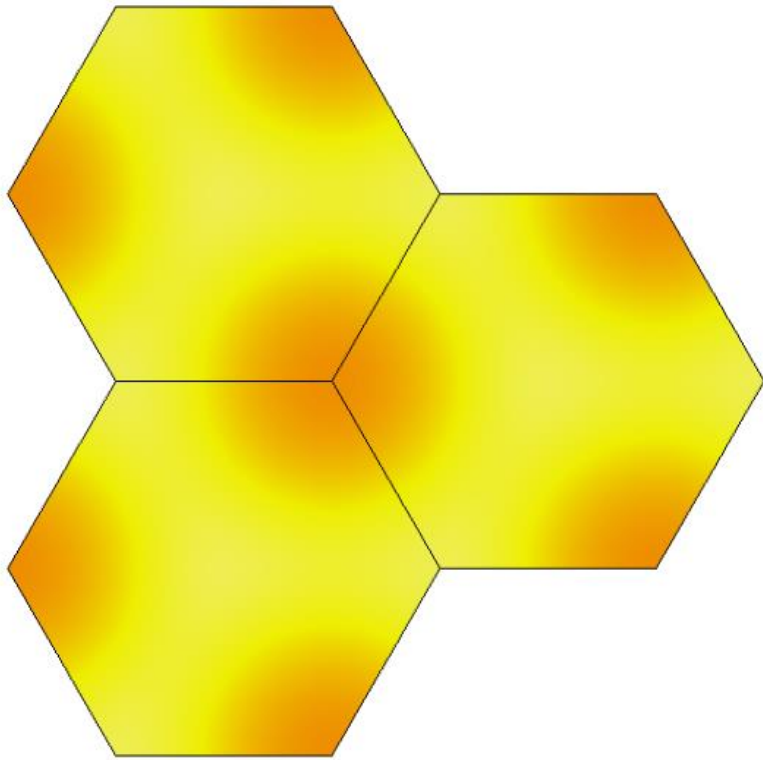


$y=4 \rightarrow x=0.1247(m)$



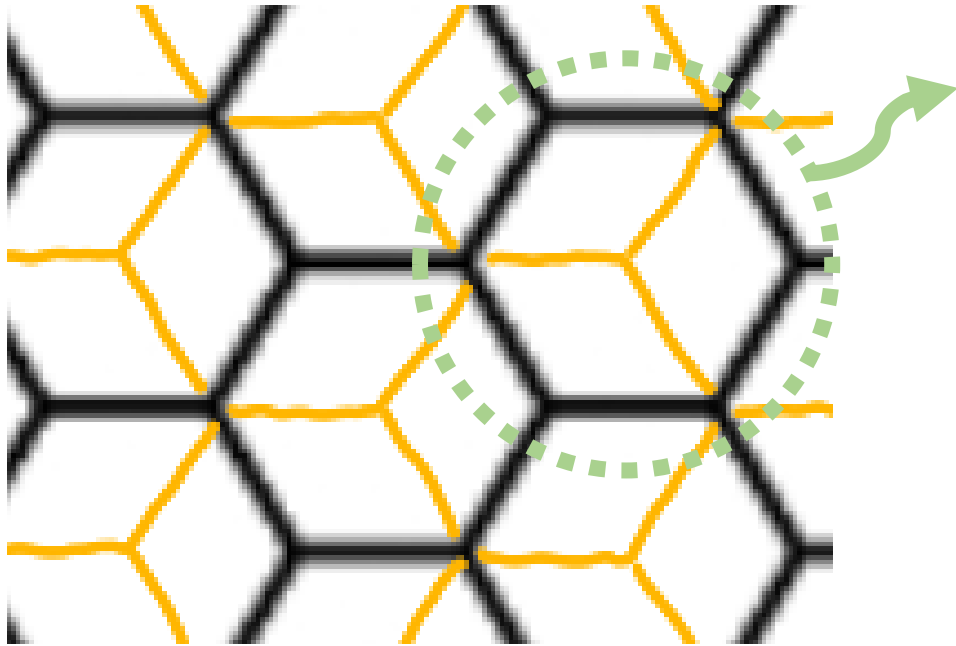
정육각형 한 변의 길이가
0.2→0.1m로 갈때 표면온도분포

패턴 결과해석



0.1247m일 때 표면온도분포.
이때 최저표면온도는 4.01℃

패턴 결과해석



$$\frac{3a}{\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{2}{\sqrt{3}a} \overset{a=0.1247}{\downarrow} = 9.26 \text{ m/m}^2$$

(a: 정육각형 열선 한변의 길이)

열선(주황색선) 패턴을 같은 정육각형 모양으로 구획(흑색선)으로 나누어 단위 구획면적 당 열선의 길이를 구하였다.

결론

- 직선패턴이 가장 효율적

직선패턴
 7.37m/m^2

>

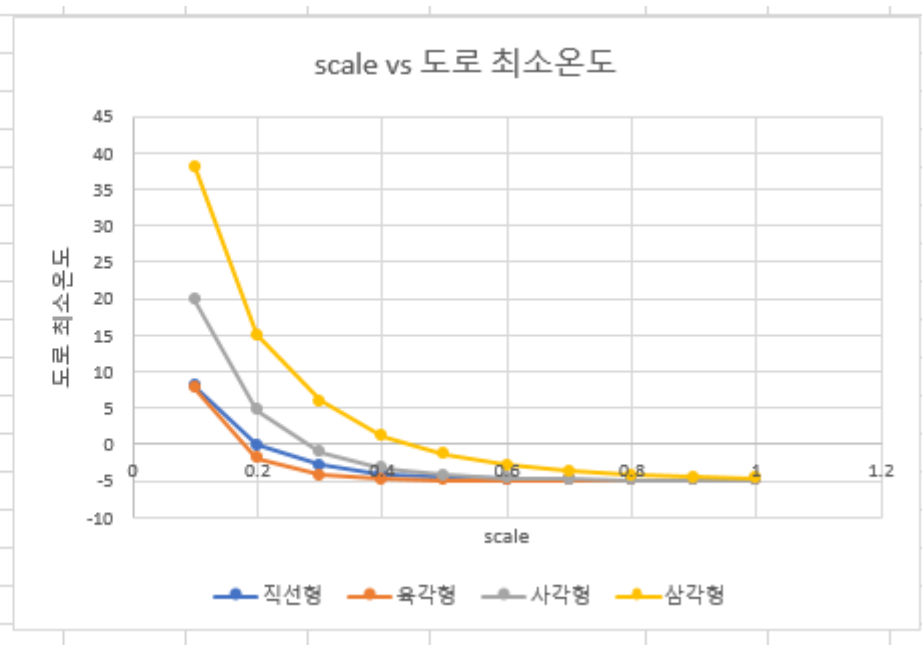
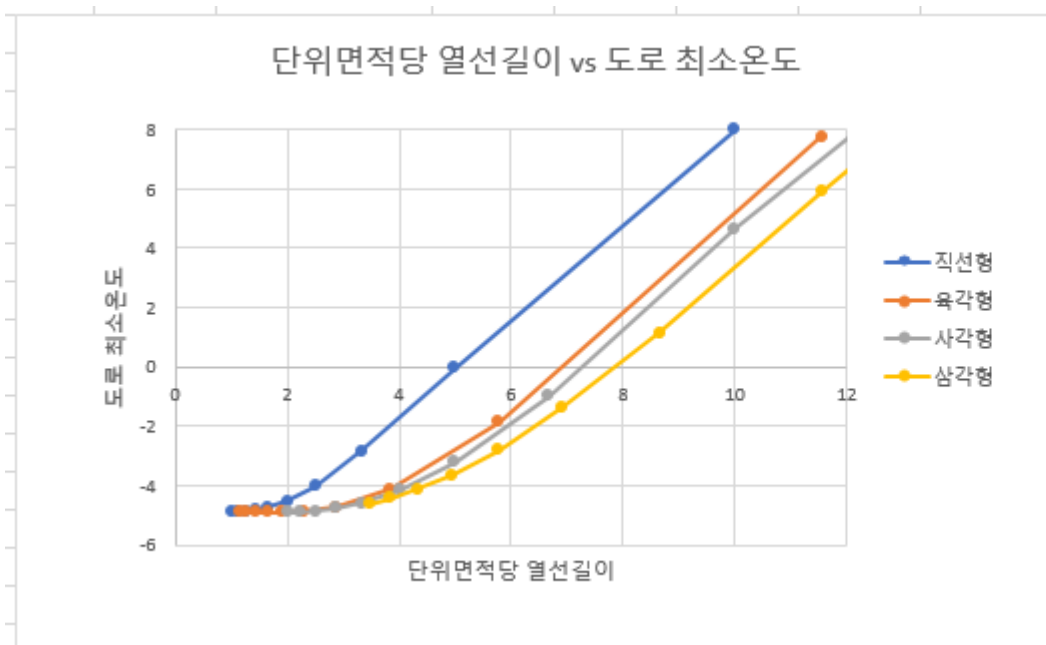
정육각형패턴
 9.26m/m^2

>

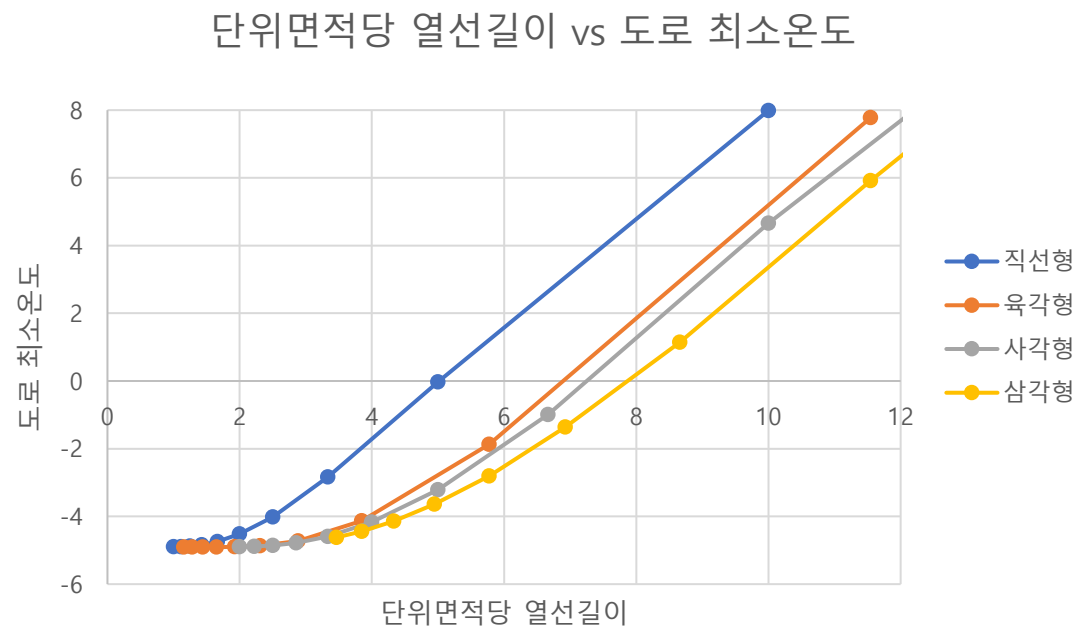
정사각형패턴
 9.60m/m^2

>

정삼각형패턴
 10.34m/m^2



추가 제언



도로의 최소 온도가 배치 형태와 상관없이 단위 면적당 열선 길이에 일정 기울기로 비례하는 경향을 보였다. 이에 대한 추가적인 연구를 진행할 여지가 있을 것으로 보인다.

감사합니다