

---

# 부식 시뮬레이션

---

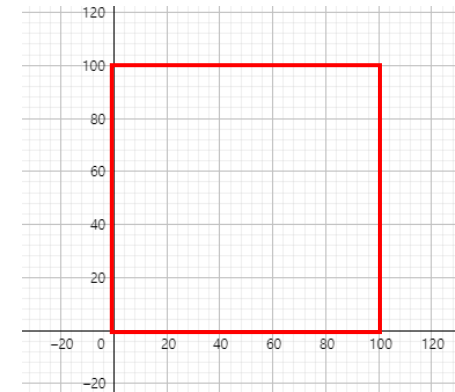
부산대학교 토목공학과  
사회기반시설 유지관리연구실  
학부과정 구도연



## 1. 결함의 생성

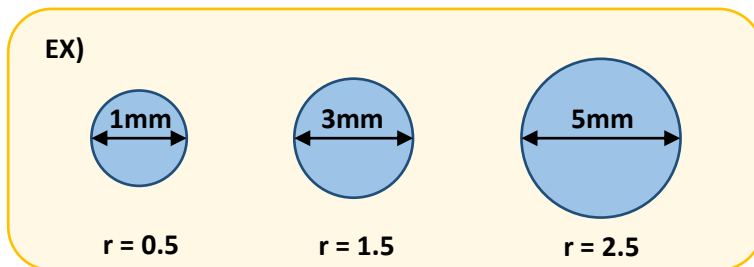
### □ 결함 위치

- $(x, y) = (0, 0) \sim (i, i)$  면적 내 좌표에 랜덤 분포
- $i$  값은 사용자가 설정 가능한 변수



### □ 결함 모양, 크기 및 개수

- 원형 결함
- 결함 개수, 반지름은 사용자가 설정 가능한 변수



### □ 초기입력값 예시

기준면적 ( $i \times i$ )	100 x 100
$\Delta x$ (cycle)	300
$l$ (mm)	2.6
$m$ (배율)	1.156
$K_1$ (%)	3
$K_n$ (%)	9
$\Delta k$ (%)	3
$n$ (반복횟수)	500

사용자가 설정하는 부분

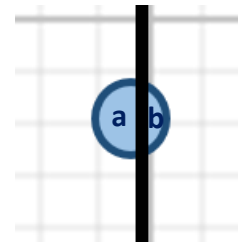
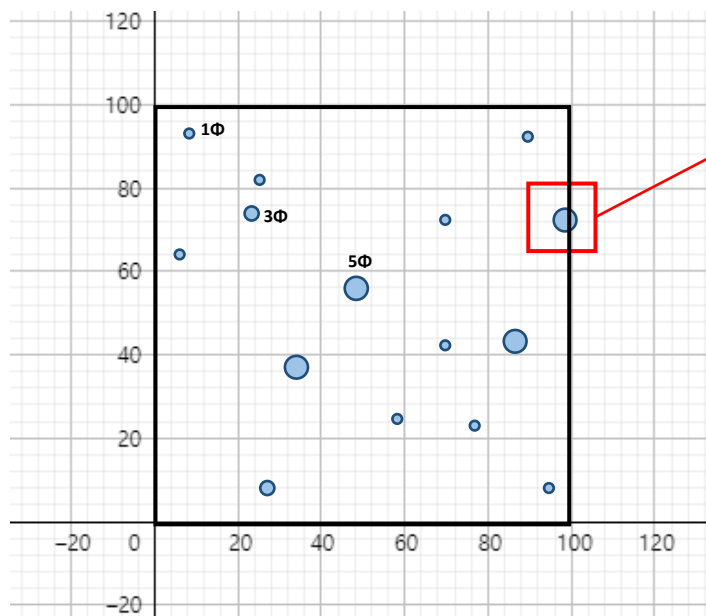


## 1. 결함의 생성

### □ 면적율

- $\frac{\text{결함이 차지하는 면적의 합}}{\text{기준면적 (} i \times i \text{)}} \times 100 = \text{면적율 (\%)}$
- 0 cycle 부터 시뮬레이션이 끝나는 시점까지 사용자가 설정한  $\Delta x$  cycle 마다 면적율을 산출하도록 함
- 기준면적을 벗어나는 원형 결함이 발생할 경우 기준 면적 내의 면적만 고려

EX)



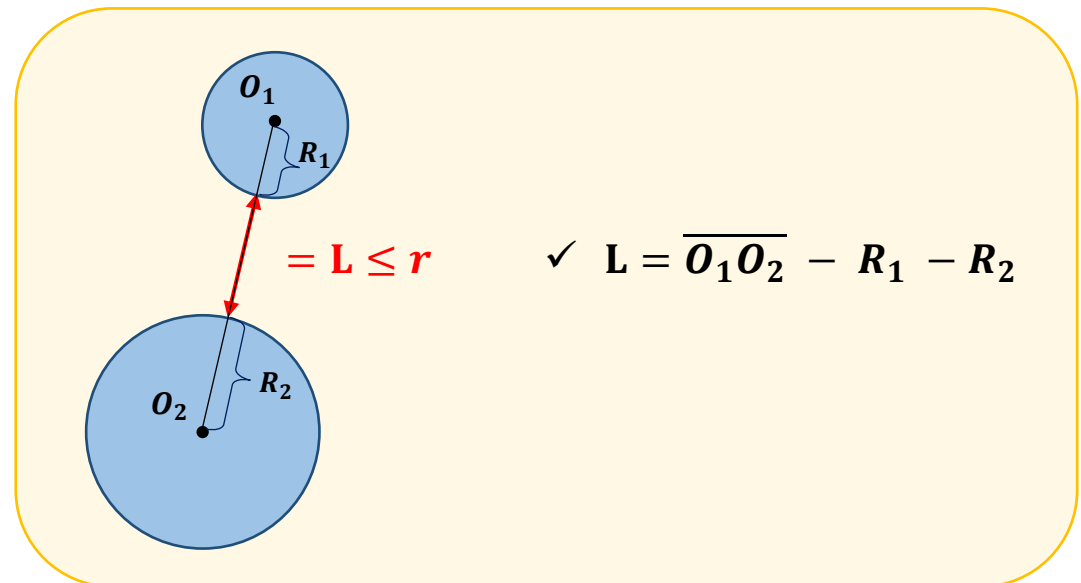
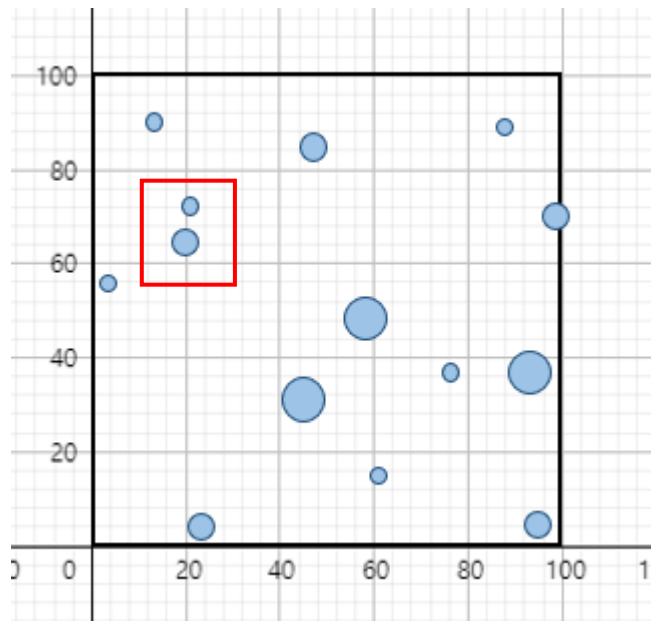
면적율 계산 시 a부분 면적만 고려



## 1. 결함의 생성

### □ 결함 간 최단거리

- 결함 랜덤 분포 시 각 결함 중심의 좌표 추출 (소수점 3자리)
  - 0 cycle 부터 시뮬레이션이 끝나는 시점까지 사용자가 설정한  $\Delta cycle$  마다 각 결함 간의 최단거리를 계산하도록 함
  - 계산 방법
- ✓ 결함 중심 간 거리에서 각 결함의 반지름을 뺀 길이가 최단거리

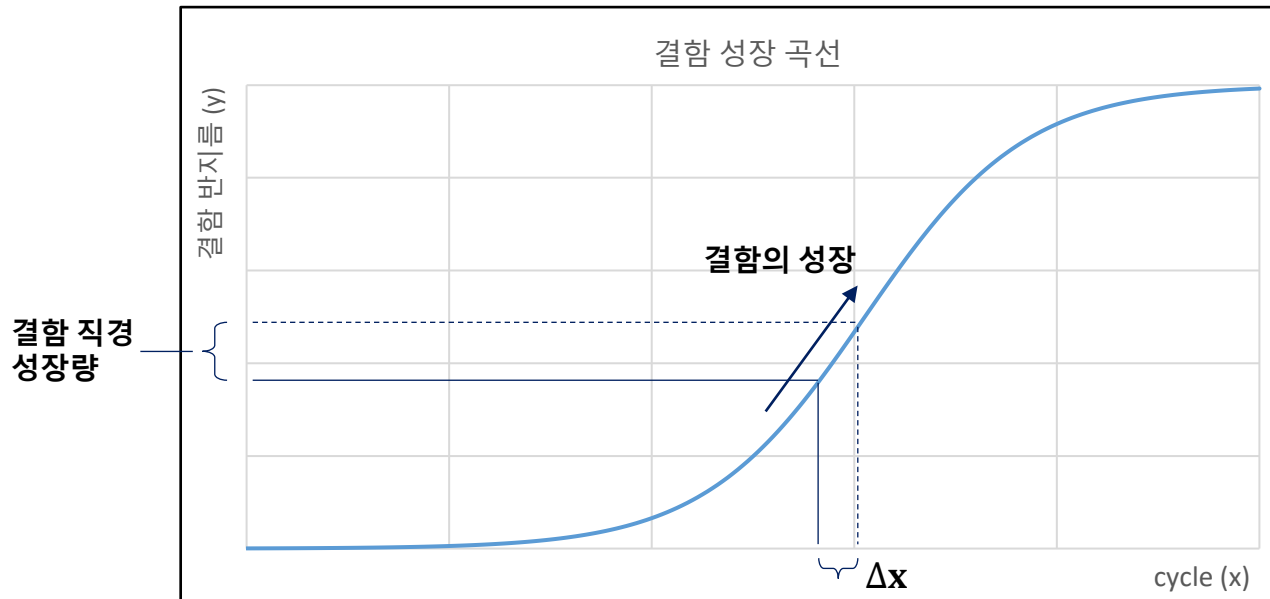




## 2. 결함의 성장

### □ 결함 성장 조건

- $y = \frac{a}{1+e^{\frac{-(x-x_0)}{b}}}$  또는  $y = ae^{bx}$  함수식을 따라 결함이 성장하도록 설정
- $x = \text{cycle}$ ,  $y = \text{각 결함의 반지름}$
- $x, y$ 를 제외한 변수는 사용자가 지정할 수 있도록 설정
- 앞서 설정한  $\Delta x$  에 따라 cycle을 증가시키며 그에 따라 결함 직경도 성장



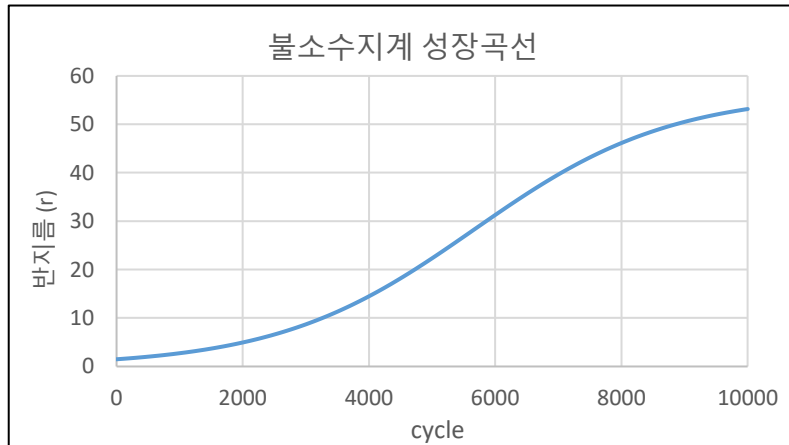
<결함 성장 함수식 그래프의 예>



## 2. 결함의 성장

### □ 각 결함 성장 예시

■  $y = \frac{56.4190}{1 + e^{\frac{-(x-5662.6108)}{1560.3112}}}$  성장곡선 사용



■ 반지름이 1.5인 결함의 성장 ( $\Delta x = 300\text{cycle}$ )

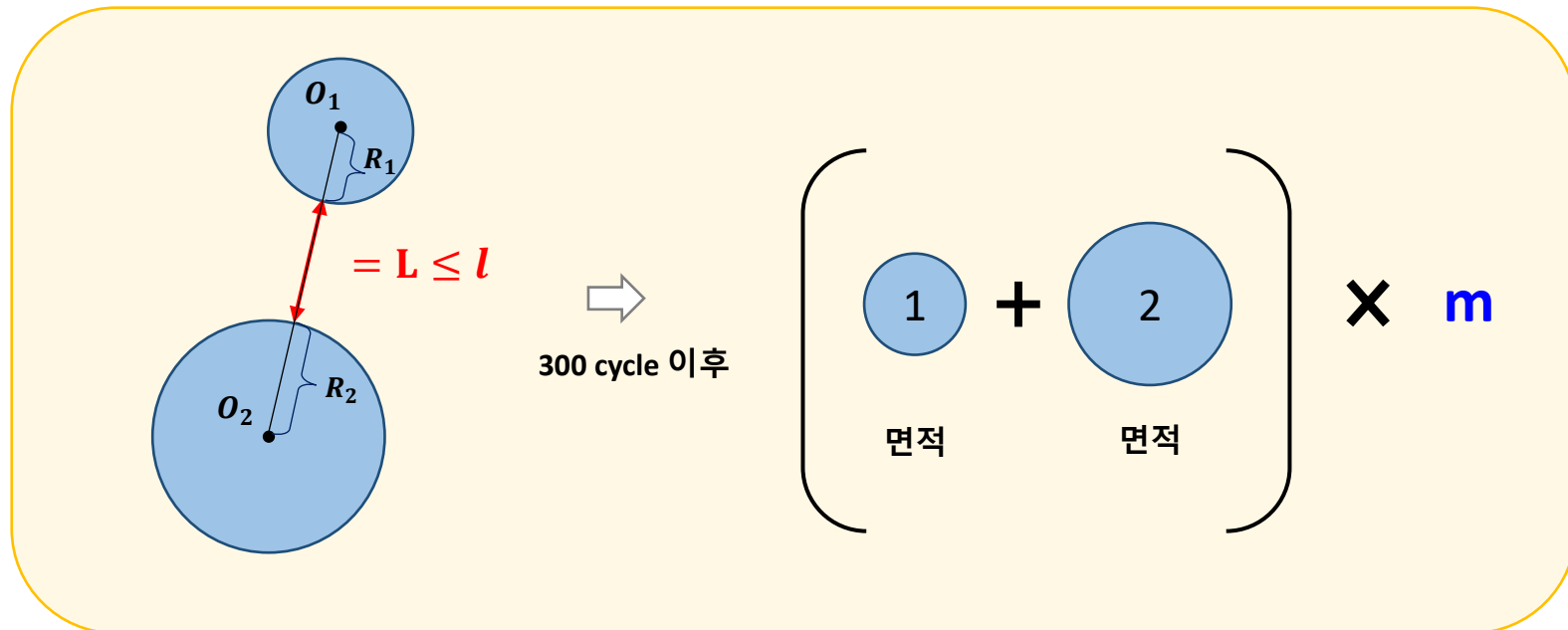
- ✓  $y = 1.5$ 일 때의  $x$ 값 (cycle) 구하기  $\rightarrow x = 44.875$  cycle
- ✓ 성장 시작 지점이  $x = 44.875$  cycle이 되도록
- ✓ 다음 성장 시에는  $44.875 + \Delta x = 44.875 + 300 = 344.875$  cycle 시의 반지름으로 성장



## 3. 결함의 결합

### □ 결함의 결합

- $l$  값은 사용자가 설정 가능한 변수
- 성장 진행 중,  $x$  cycle 시 결함 간의 거리가  $l$  이하가 될 경우  $x + 300$  cycle 시에 결합되는 것으로 간주
- $X + 300$  Cycle 시 결합된 결함은 아래와 같은 방법으로 면적 산출 후 등가원 생성
- $M$  값은 사용자가 설정 가능한 변수로 결합함에 따라 증가하는 배율을 의미

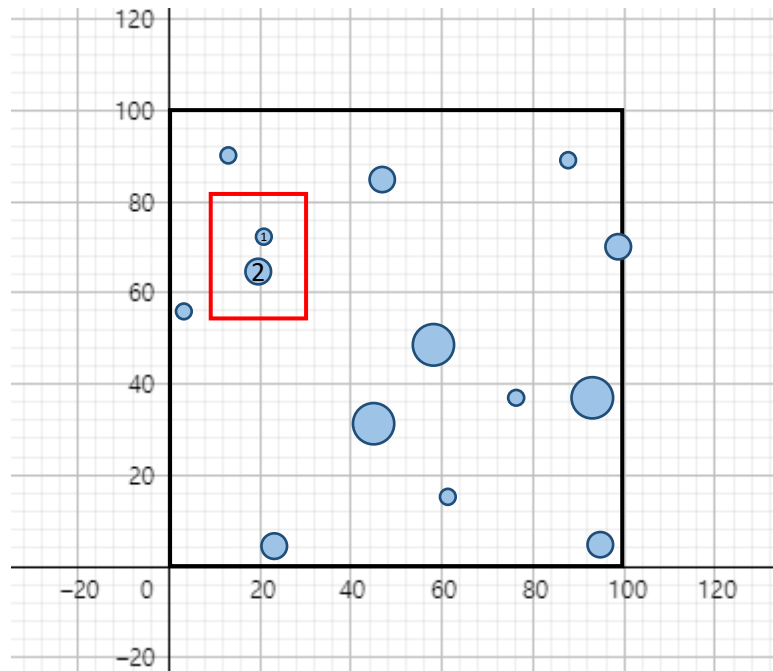




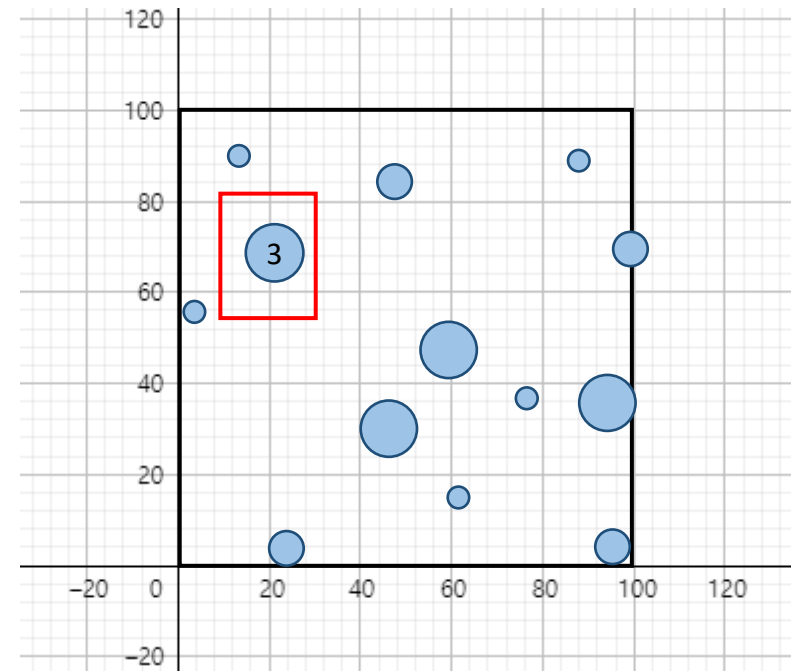
## 3. 결함의 결함

### □ 결함 결함 과정

$$\left( \begin{array}{c} \text{1} \\ \text{면적} \end{array} + \begin{array}{c} \text{2} \\ \text{면적} \end{array} \right) \times m = \begin{array}{c} \text{3} \end{array}$$



300 cycle 이후







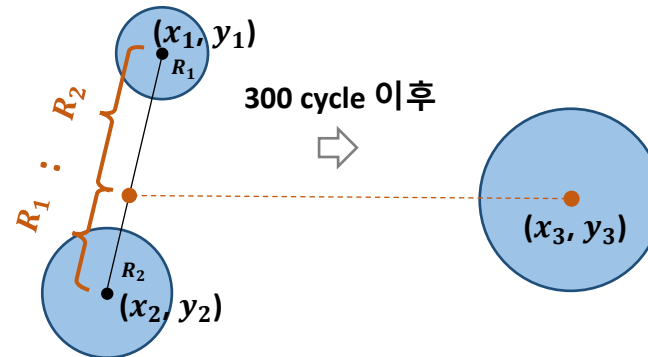
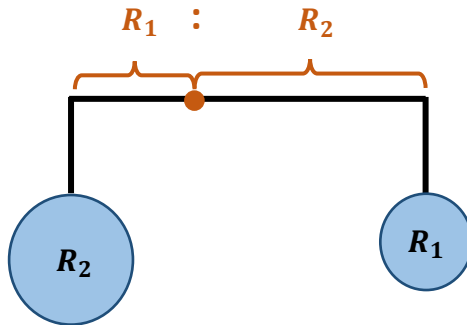
## 3. 결함의 결합

### □ 결합된 결함의 성장

- 결합된 면적에 해당하는 반지름을 성장 곡선  $y$ 에 대입 후  $x$ 값 (cycle) 찾기
- 해당 cycle을 시작점으로 하여 다른 결함들과 마찬가지로  $\Delta x$  씩 성장시키기

### □ 결합된 원의 위치

- 모멘트 평형 (선분의 가중 무게중심)



$$x_3 = \frac{R_1 x_1 + R_2 x_2}{R_1 + R_2}$$

$$y_3 = \frac{R_1 y_1 + R_2 y_2}{R_1 + R_2}$$



## 4. 추가조건 및 결론

### □ 추가 조건

- $\Delta x$  cycle 마다 면적율 기록 시 사용자가 설정한 면적율  $K_1, K_2(= K_1 + \Delta k) \dots$  초과할 때의 cycle을 산출  
 $K_1, K_n$ 과  $\Delta k$  값은 사용자가 지정 가능한 변수  
 ex)  $K_1 = 5.0\%, K_n = 50\% \Delta k = 5\%$  일 때 면적율이  $K\%$ 를 초과할 때의 cycle을 산출

Cycle	면적율(%)
1500	3.20%
1800	6.17%
2100	8.23%
2400	11.70%
2700	13.45%
3000	14.89%
3300	17.66%



output	K% 도달
1800	5%
2400	10%
3300	15%

⋮

⋮

### □ 결론

- 동일한 결함 개수, 결함 크기로 랜덤분포를  $n$ 회 반복하여 다양한 결함의 성장 환경이 가능하도록 하여 같은 시뮬레이션 과정 반복
- 이때  $n$ 값은 사용자가 지정 가능한 변수

---

# 부식 시뮬레이션 sample

---



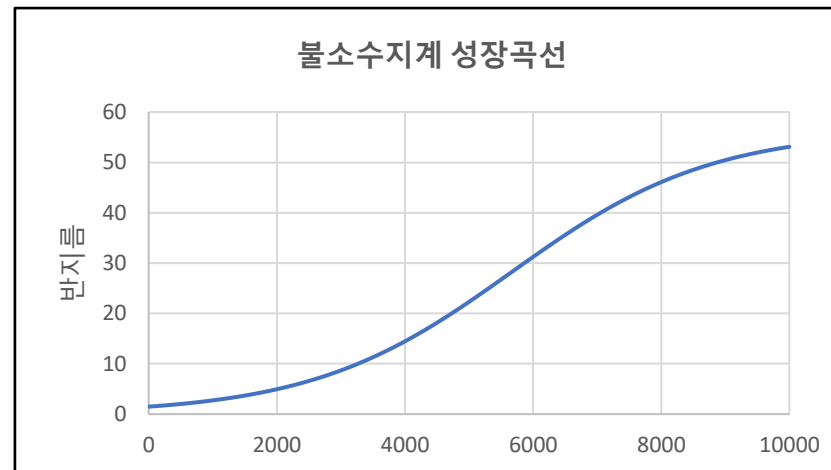
## 1. 결함의 생성

### □ 초기 조건

기준면적 (i x i)	100 x 100
$\Delta x$ (cycle)	300
$l$ (mm)	2.6
$m$ (배율)	1.156
$K_1$ (%)	3
$K_n$ (%)	9
$\Delta k$ (%)	3
$n$ (반복횟수)	500

### □ 성장곡선 함수

$$Y = \frac{56.4190}{1 + e^{\frac{-(x-5662.6108)}{1560.3112}}}$$





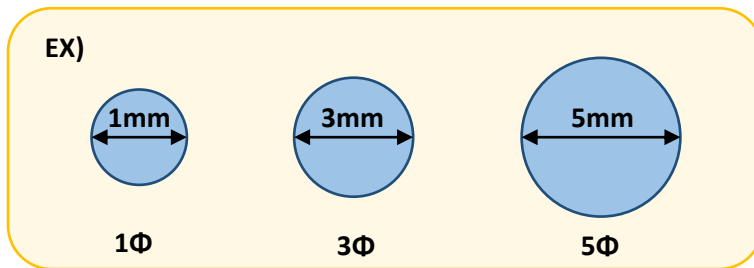
## 1. 결함의 생성

### □ 결함 위치

- $(x, y) = (0, 0) \sim (100, 100)$  면적 내 좌표에 랜덤 분포

### □ 결함 모양, 크기 및 개수

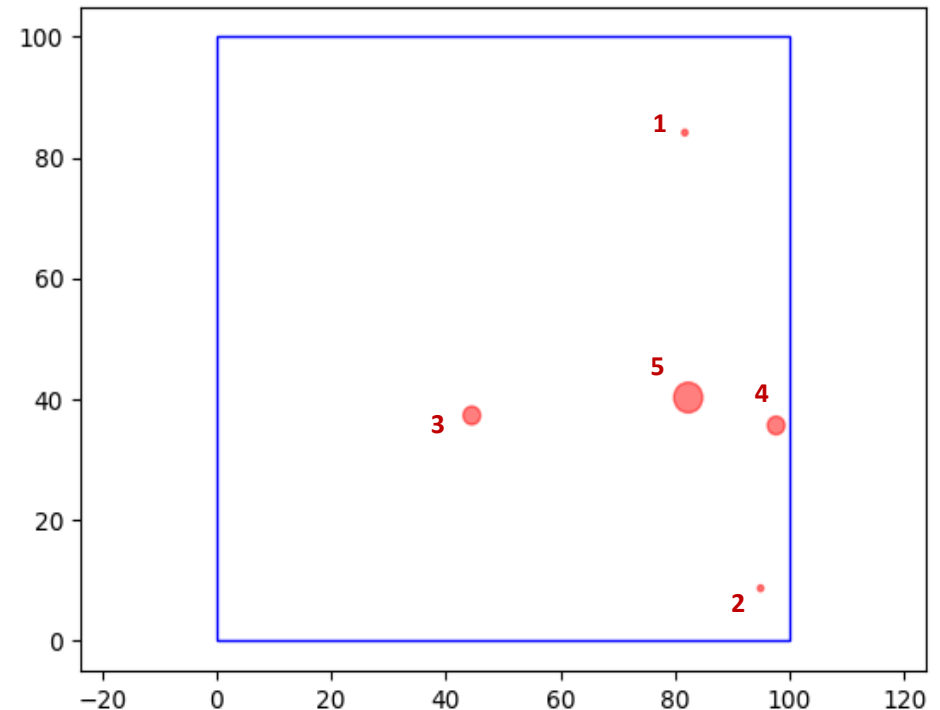
- 원형 결함



반지름	면적	개수	합
0.5	0.785	2	1.571
1.5	7.069	2	14.137
2.5	19.635	1	19.635
			35.343
			0.353

### □ 결함 랜덤 분포

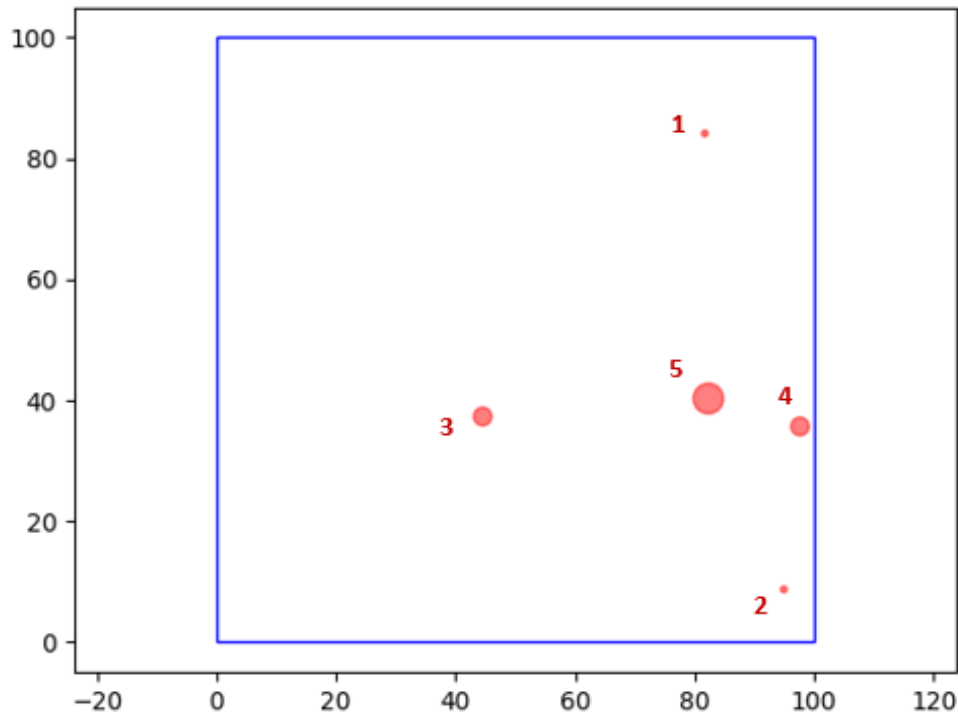
- 0.35%를 차지하도록 랜덤분포





## 2. 결함의 성장

□ 0 cycle (0.35%)



### 결함 중심 좌표

결함 1 : ( 81.72, 84.13 )

결함 2 : ( 94.95, 8.71 )

결함 3 : ( 44.54, 37.31 )

결함 4 : ( 97.66, 35.66 )

결함 5 : ( 82.32, 40.28 )

### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 76.57

결함 2 - 4 : 27.09

결함 1 - 3 : 57.79

결함 2 - 5 : 34.00

결함 1 - 4 : 51.02

결함 3 - 4 : 53.15

결함 1 - 5 : 43.85

결함 3 - 5 : 37.90

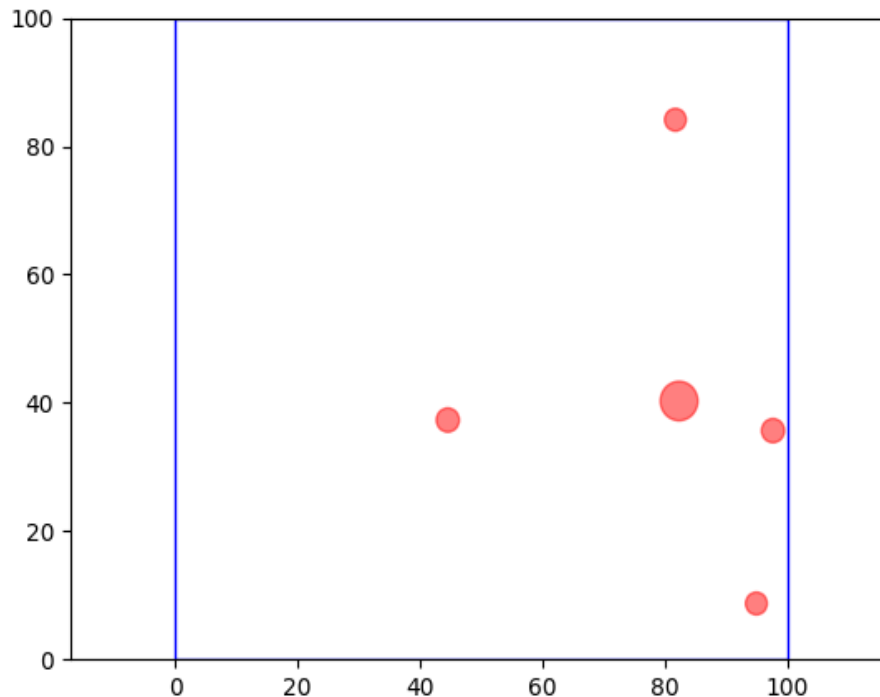
결함 2 - 3 : 57.96

결함 4 - 5 : 16.02



## 2. 결함의 성장

□ 300 cycle (0.708%)



반지름	직경	면적	개수	합
1.758	3.516	9.709	2	19.419
1.871	3.742	10.998	2	21.995
3.056	6.112	29.340	1	29.340
				70.754
				0.708

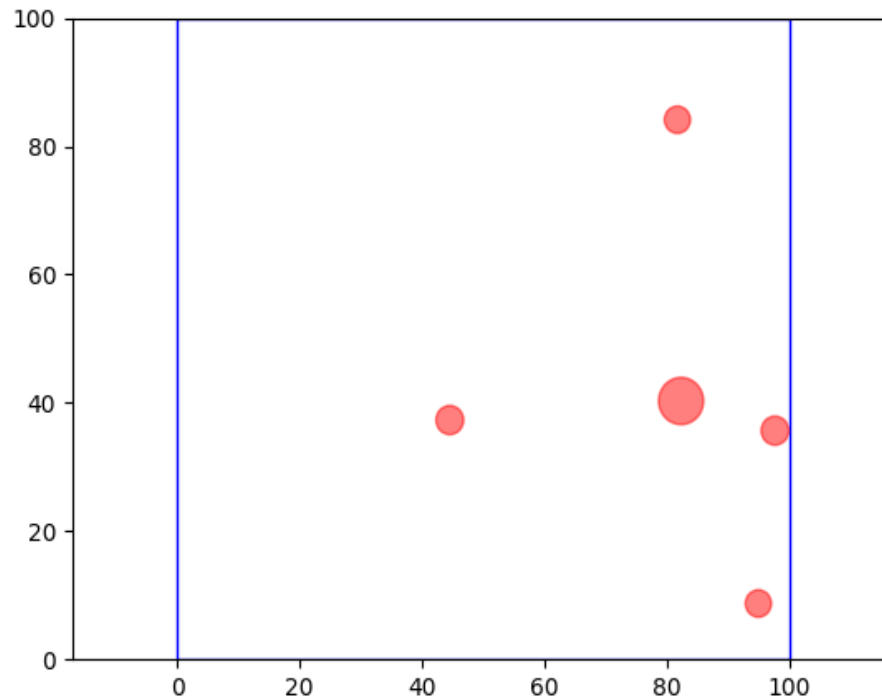
### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 73.05	결함 2 - 4 : 23.46
결함 1 - 3 : 56.16	결함 2 - 5 : 29.19
결함 1 - 4 : 47.39	결함 3 - 4 : 49.41
결함 1 - 5 : 39.04	결함 3 - 5 : 32.97
결함 2 - 3 : 54.33	결함 4 - 5 : 11.09



## 2. 결함의 성장

□ 600cycle (1.021%)



반지름	직경	면적	개수	합
2.117	4.234	14.080	2	28.159
2.251	4.502	15.918	2	31.837
3.662	7.324	42.130	1	42.130
				102.126
				1.021

### 결함 간 최단 거리

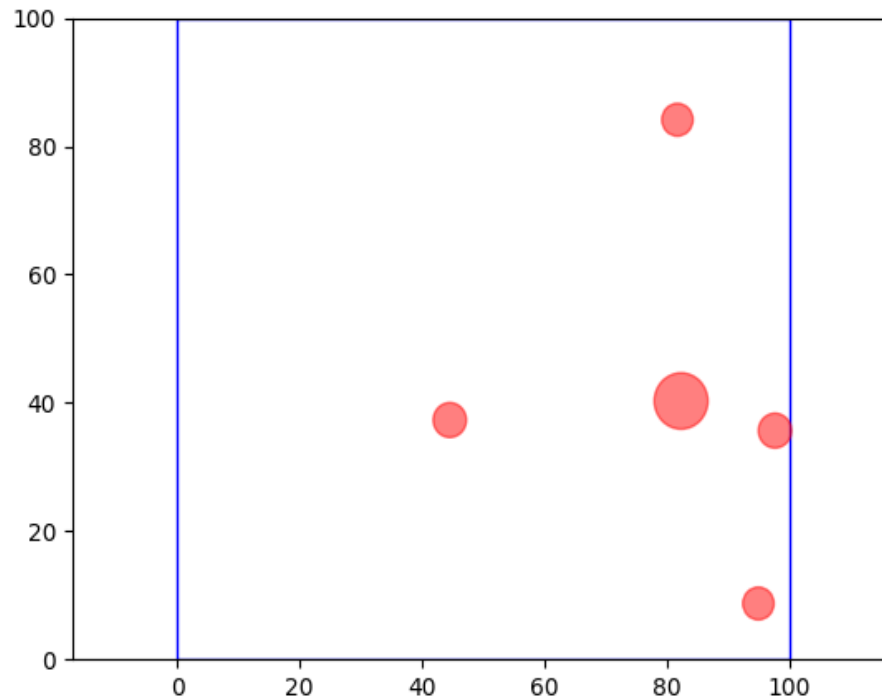
결함 1 - 2 : 72.33	결함 2 - 4 : 22.72
결함 1 - 3 : 55.42	결함 2 - 5 : 28.22
결함 1 - 4 : 46.65	결함 3 - 4 : 48.65
결함 1 - 5 : 38.07	결함 3 - 5 : 31.99
결함 2 - 3 : 53.59	결함 4 - 5 : 10.11





## 2. 결함의 성장

□ 900cycle (1.469%)



반지름	직경	면적	개수	합
2.545	5.09	20.348	2	40.696
2.706	5.412	23.004	2	46.008
4.378	8.756	60.215	1	60.215
				146.919
				1.469

### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 71.48

결함 2 - 4 : 21.84

결함 1 - 3 : 54.54

결함 2 - 5 : 27.08

결함 1 - 4 : 45.77

결함 3 - 4 : 47.74

결함 1 - 5 : 36.93

결함 3 - 5 : 30.82

결함 2 - 3 : 52.71

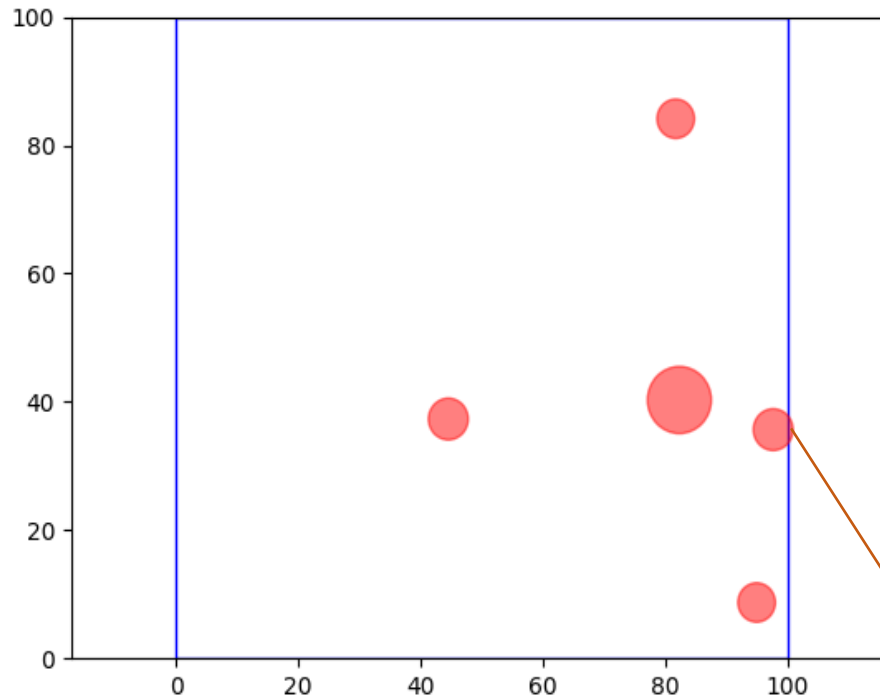
결함 4 - 5 : 8.94



## 2. 결함의 성장

□ 1200 cycle (2.077)

반지름	직경	면적	개수	합	제외 면적
3.056	6.112	29.340	2	58.680	2.803
3.246	6.492	33.101	2	66.203	
5.22	10.44	85.603	1	85.603	
				207.683	
				2.077	



### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 70.46

결함 2 - 4 : 20.79

결함 1 - 3 : 53.49

결함 2 - 5 : 25.72

결함 1 - 4 : 44.72

결함 3 - 4 : 46.66

결함 1 - 5 : 35.57

결함 3 - 5 : 29.43

결함 2 - 3 : 51.66

결함 4 - 5 : 7.55

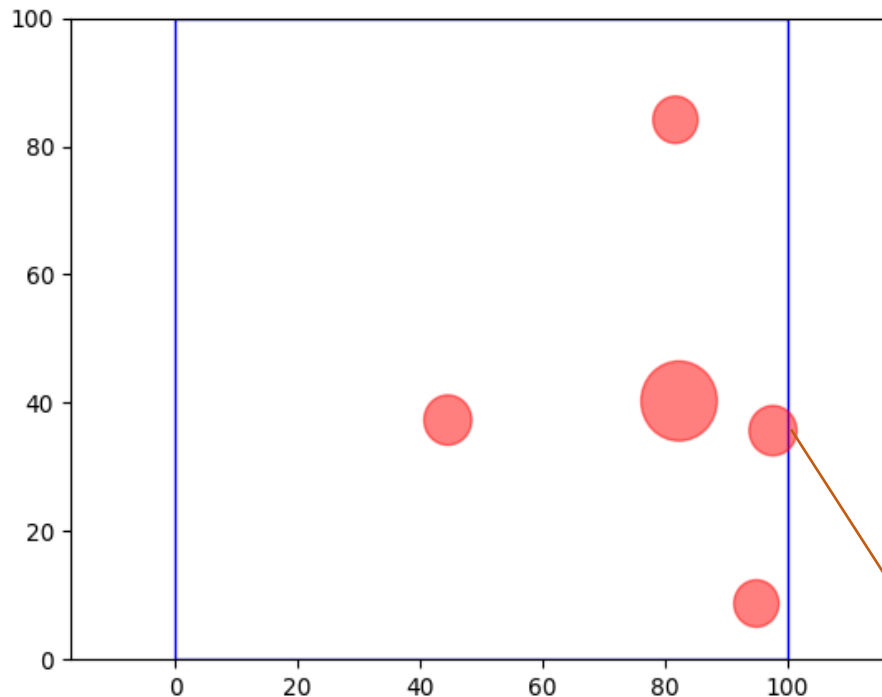
기준면적 벗어난 부분  
면적을 산정 시 제외



## 2. 결함의 성장

□ 1500 cycle (2.934%)

반지름	직경	면적	개수	합	제외 면적
3.662	7.324	42.130	2	84.259	6.712
3.887	7.774	47.466	2	94.931	
6.205	12.41	120.958	1	120.958	
				293.436	
				2.934	



### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 69.25

결함 2 - 4 : 19.54

결함 1 - 3 : 52.24

결함 2 - 5 : 24.13

결함 1 - 4 : 43.47

결함 3 - 4 : 45.38

결함 1 - 5 : 33.98

결함 3 - 5 : 27.81

결함 2 - 3 : 50.41

결함 4 - 5 : 5.93

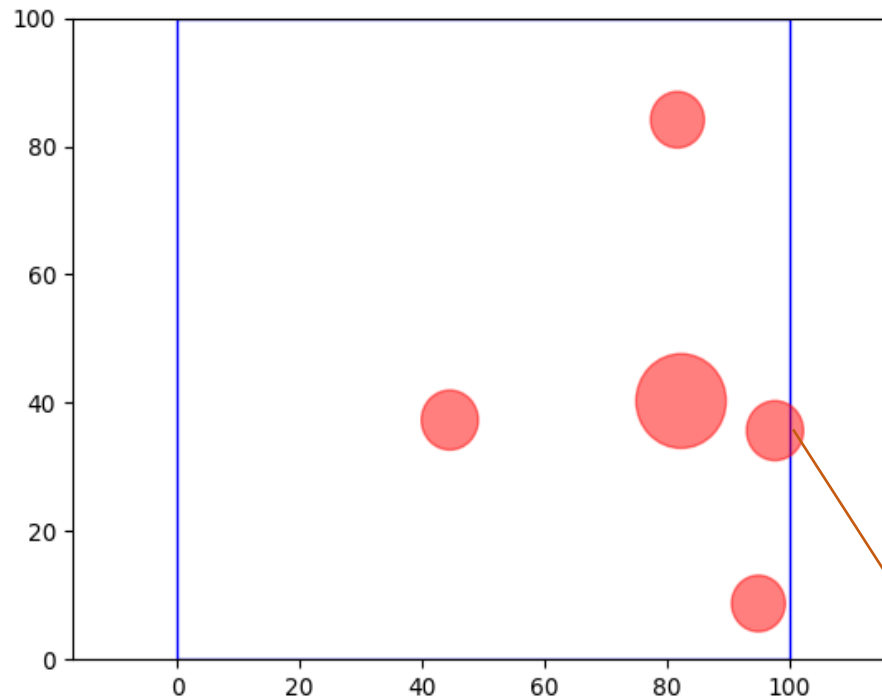
기준면적 벗어난 부분  
면적을 산정 시 제외



## 2. 결함의 성장

□ 1800 cycle (4.104%)

반지름	직경	면적	개수	합	제외 면적
4.378	8.756	60.215	2	120.429	15.169
4.643	9.286	67.725	2	135.449	
7.349	14.698	169.671	1	169.671	
				410.380	
				4.104	



### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 67.81

결함 2 - 4 : 18.07

결함 1 - 3 : 50.77

결함 2 - 5 : 22.27

결함 1 - 4 : 42.00

결함 3 - 4 : 43.86

결함 1 - 5 : 32.12

결함 3 - 5 : 25.91

결함 2 - 3 : 48.94

결함 4 - 5 : 4.03

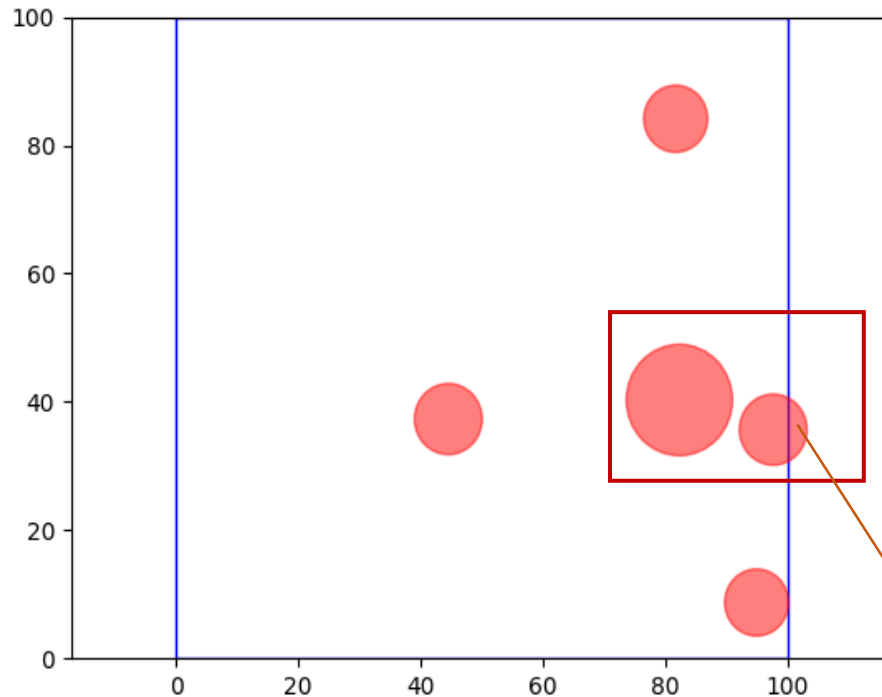
기준면적 벗어난 부분  
면적을 산정 시 제외



## 2. 결함의 성장

□ 2100 cycle (5.764%)

반지름	직경	면적	개수	합	제외 면적
5.22	10.44	85.603	2	171.207	22.963
5.531	11.062	96.107	2	192.215	
8.667	17.334	235.987	1	235.987	
				576.445	
				5.764	



### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 66.13

결함 2 - 4 : 16.34

결함 1 - 3 : 49.04

결함 2 - 5 : 20.11

결함 1 - 4 : 40.27

결함 3 - 4 : 42.09

결함 1 - 5 : 29.96

결함 3 - 5 : 23.70

결함 2 - 3 : 47.21

**결함 4 - 5 : 1.82**

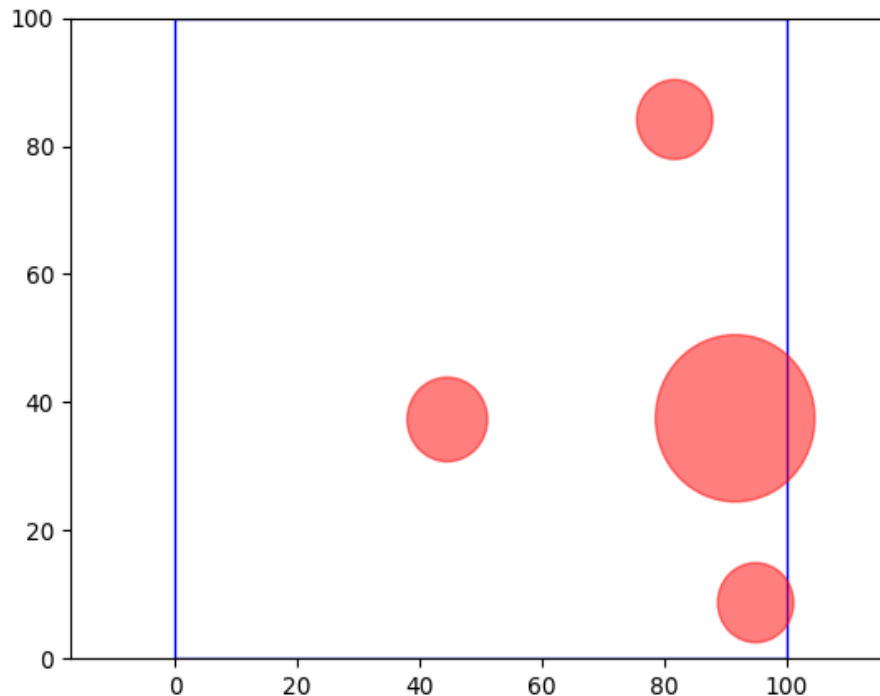
기준면적 벗어난 부분  
면적을 산정 시 제외



## 2. 결함의 결함

□ 2400 cycle (8.276%)

반지름	직경	면적	개수	합	제외 면적
6.205	12.41	120.958	2	241.915	18.41
6.568	13.136	135.524	1	135.524	
13.019	26.038	532.482	1	532.482	63.938
				827.574	
				8.276	



### 결함 좌표

결함 1 : ( 81.72, 84.13 )

결함 2 : ( 94.95, 8.71 )

결함 3 : ( 44.54, 37.31 )

결함 4 : ( 91.61, 37.49 )

### 결함 간 최단 거리

결함 1 - 2 : 76.57

결함 3 - 4 : 47.07

결함 1 - 3 : 59.79

결함 1 - 4 : 47.68

결함 2 - 3 : 57.96

결함 2 - 4 : 28.97



## 3. 결론

### □ 결과값

Cycle	면적율 (%)
0	0.35
300	0.708
600	1.021
900	1.469
1200	2.077
1500	2.934
1800	4.014
2100	5.764
2400	8.276

⋮



Output	K% 도달
1800	3%
2400	6%

⋮

이후 동일 시뮬레이션 500회 반복