



# 원자력발전소 대피시나리오 평가를 위한 행위자기반모형 개발

---

Kyung Hee University

2019. 05. 23

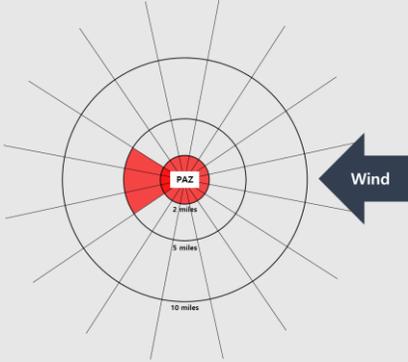
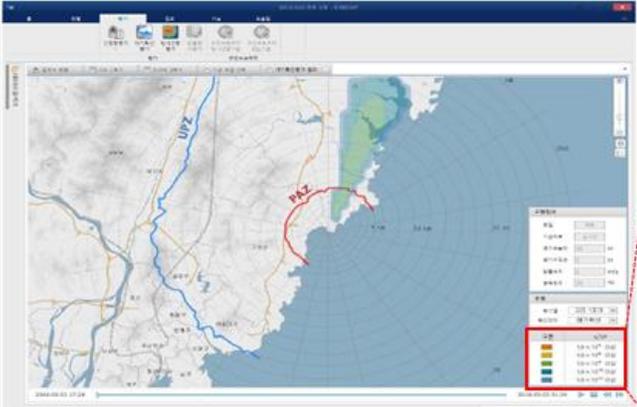
발표자: 황 유 정

## Table of Contents

1. 연구배경
2. 연구내용
3. 연구결과
4. 결 론



## 방사선비상계획 : 방사선 비상사고 시 피해를 최소화하기 위한 대표적 완화 조치

	1. 대 피	2. 확 산												
평가 항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 소개시간산정(Evacuation Time Estimate, ETE)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 소개지역(PAZ<sup>1)</sup> 이후 10 km 까지) 내의 차량이 긴급보호조치계획구역<sup>2)</sup>을 벗어나는 시간 산정</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 주민보호조치                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 유효선량 결정기준에 따라 옥내대피, 소개 등으로 분류</li> </ul> </li> </ul>												
Tool	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ PTV-VISUM (교통 수요 시뮬레이션)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 방사능 누출 전, 주민 소개 완료를 가정</li> <li>• 단계별 소개 고려</li> </ul> </li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">그림&gt; Keyhole Evacuation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ S-REDAP (방사선원형 평가 프로그램)</li> </ul> <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>주민보호조치</th> <th>결정기준</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>옥내대피</td> <td>10 mSv</td> </tr> <tr> <td>소개</td> <td>50 mSv</td> </tr> <tr> <td>감상선방호약품 배포</td> <td>100 mGy</td> </tr> <tr> <td>일시거주</td> <td>30 mSv/첫월 10 mSv/다음월</td> </tr> <tr> <td>영구정착</td> <td>1 Sv/평생</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p style="text-align: right; margin-right: 10px;">3)</p>	주민보호조치	결정기준	옥내대피	10 mSv	소개	50 mSv	감상선방호약품 배포	100 mGy	일시거주	30 mSv/첫월 10 mSv/다음월	영구정착	1 Sv/평생
주민보호조치	결정기준													
옥내대피	10 mSv													
소개	50 mSv													
감상선방호약품 배포	100 mGy													
일시거주	30 mSv/첫월 10 mSv/다음월													
영구정착	1 Sv/평생													
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 교통환경 데이터를 Input으로 주민소개시간을 산정</li> <li>❖ 정상활동 상태를 제외한 대피시작부터 소개종료까지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 방사선비상 시 주민보호조치를 지역별로 결정</li> </ul>												



1. 교통 흐름 외 원전사고 특성에 따른 대피에 특화되어 있지 않음
2. 예측선량 기준의 주민보호조치 결정이며, 이후 방사성물질에 따른 대피 경향성을 반영하지 않음
3. 개별적인 대피 및 확산 평가는 서로에 미치는 영향을 반영하지 못함



그림> 후쿠시마 원전 주변 피난 현황

표 8: 인적피해(명) 월성원전 1 호기 사고의 경우

	피난범위	질량피폭 (만 명 Sv)	급성사망 예상	위험한 경미한
1-a-A	-	1,782.8	20,802	20
1-a-B	157km (울산, 부산 포함)	215.3	4,313	7
1-b-A	-	600.5	0	
1-b-B	157km (대구)	96.4	0	
1-c-A	-	544.1	426	
1-c-B	157km (경주)	202.2	79	
1-d-A	-	394.5	68	
1-d-B	157km (포항)	47.4	12	

1-b-A의 경우, 거리가 80여 km 떨어진 대구·다소 거리가 떨어져 있기 때문에 피난을 하지 않는 것으로 예상된다. 하지만 장기간에 걸친 암사망이 넘는 인구가 고통을 받을 수 있으므로 피난조치를 B)

1-c-A의 경우, 월성원전 1 호기가 속한 경주 급성사망이 426 명을 포함한 급성 장애로 27 만·만성장애로 62 만여명의 인명피해가 예상된다. 1 줄어드는 등 급성장애와 만성장애가 줄어들기는 크게 줄어들지 않는다(1-c-B).

1-d-A 경우 월성원전 1 호기로부터 36km 가량 떨어진 포항시북으로 바람이 불 경우를 가정하지 않을 경우 인구가 적어 급성사망자 수가 적지만 암사망자수는 20 여만명에 이른다. 피난조치되면 사망자수와 급성장애, 만성장애를 대폭 줄일 수 있다(1-d-B).

경제적 피해는 위에 기술한 인적피해를 금전적으로 환산한 것과 피난을 실시하는 경우, 소요되는 비용, 농업손실(농업금지지역의 농업금지에 의한 손실), 인적자본 소득손실(강제 피난 계획적 하더라도 10 년간에 걸쳐서 잃는 소득) 및 물적자본 소득손실(피난지에 있었던 영구적으로 손실)으로 구성된다(표 9, 부록 A-8 참조). 이번 분석에서는 어업피해는 산정하지 않음. 1-a-A 에서 피해액의 합계는 약 362 조원이 된다. 피난을 할 경우인 1-a-B 에서는 1,019 조원의 피해가 예상된다. 이는 2010 년 명목 GDP 의 87%에 달하는 엄청난 비용이다.

그림> SEO code 기법의 사고피해 모의실험



- 방사능 누출 사고 시 방사성물질 확산과 인간행동패턴을 접목한 확산-대피 통합 모델 개발

## 1. 확산 모델링

- 사고유형 및 기상상태(풍속, 풍향)에 따른 확산 변화
- 피폭 경향성

## 2. 대피 모델링

- 연구지역의 지리정보시스템 최적화
- 실제 상황을 반영하여 다양한 대피시나리오 구축
- 행위자 - 방사성물질 간 상호작용
- 외부요인에 의한 도로 이용 불능 고려한 교통 통제
- 행위자 행동 패턴 별 대피 경향성 확인



### ■ 인간 행동 모델링

#### – 실험적 모델링 (Experimental Modeling)

- 특정 시나리오 상에서 인간의 행동을 실험적 관찰을 통해 모델링
- 일반성 부족, 규모와 경제적 측면에서 사실상 불가능

#### – 정형 모델링 (Modeling Formalism)

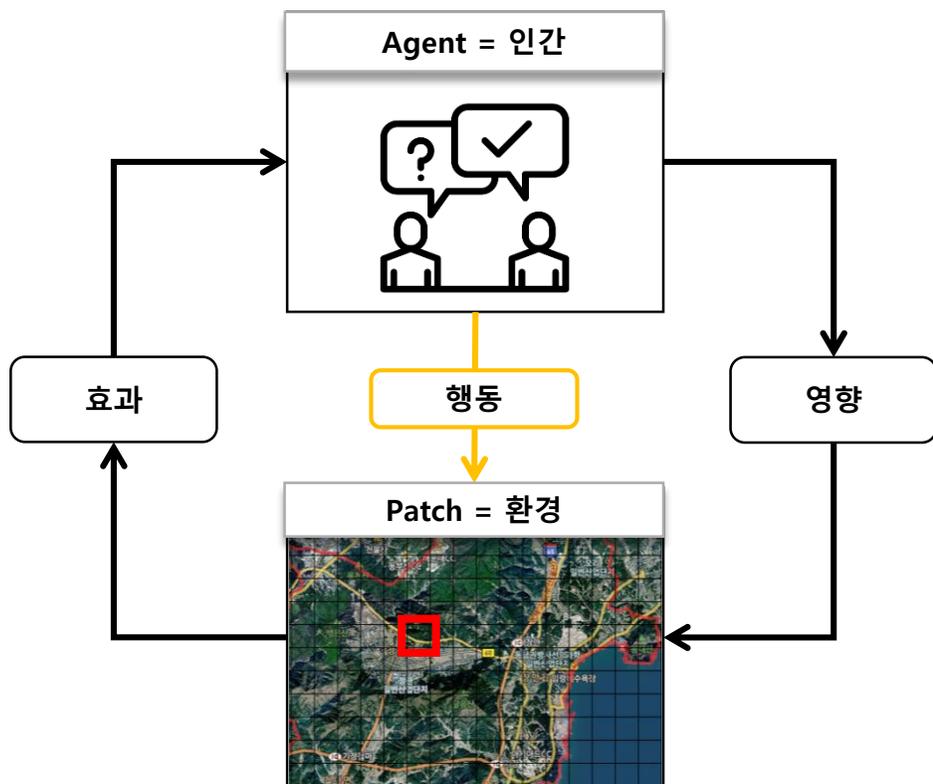
- 환경이 제공해주는 속성과 인간의 능력을 분석하여, 시스템 내에서 실현 가능한 행동들을 예측하는 방법
- 체계적, 정성적, 정량적, 정의 명확하다는 장점

### ■ 사회현상의 시뮬레이션 방법론 비교

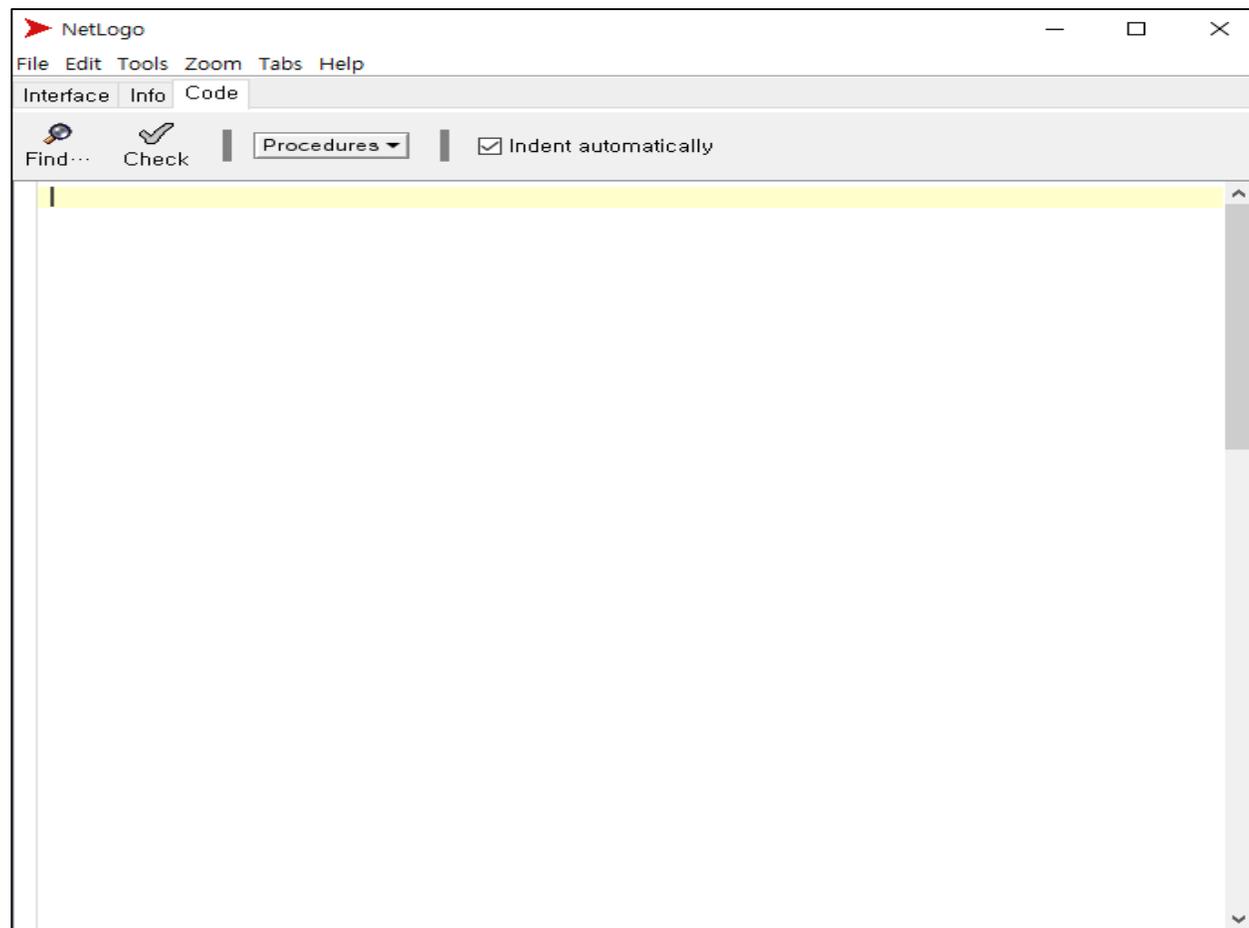
방법론	설명	Agent 속성			공간적 명확성
		계층구조	의사소통	이질성	
Bayesian Networks	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 베이즈 이론 기반의 확률이론과 그래픽 이론의 결합으로 이루어진 그래픽 모델</li> </ul>	X	X	n/a	X
Cellular Automata	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 격자의 공간에서 인접한 셀에 영향을 미침</li> <li>▪ 셀은 제한된 상태(ex. '살아있음' 또는 '죽음')를 가짐</li> </ul>	O	O	X	O
Agent Based Models	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 대규모의 시스템 행동으로부터 나오는 상호작용과 다양한 행위자의 행동과 상호작용을 실험</li> </ul>	O	O	O	O



- 행위자 기반 모형(Agent-Based Modeling)
  - 자율적인 행위자 행동 패턴 및 상호 작용의 **집단적 효과**를 나타내는 새로운 접근 방식



- NetLogo

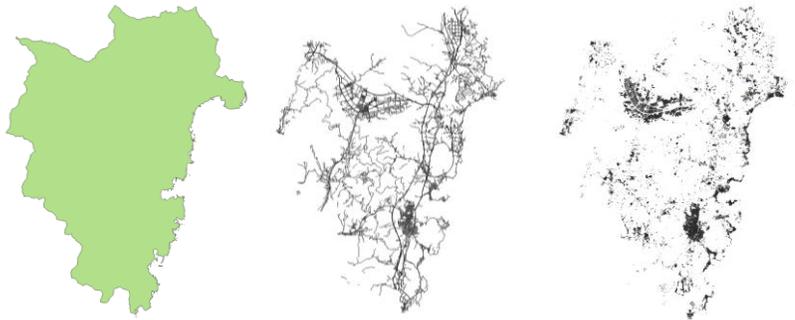


∴ 행위자의 행동은 **개별적 상호작용**과 **환경**에 따라 결정



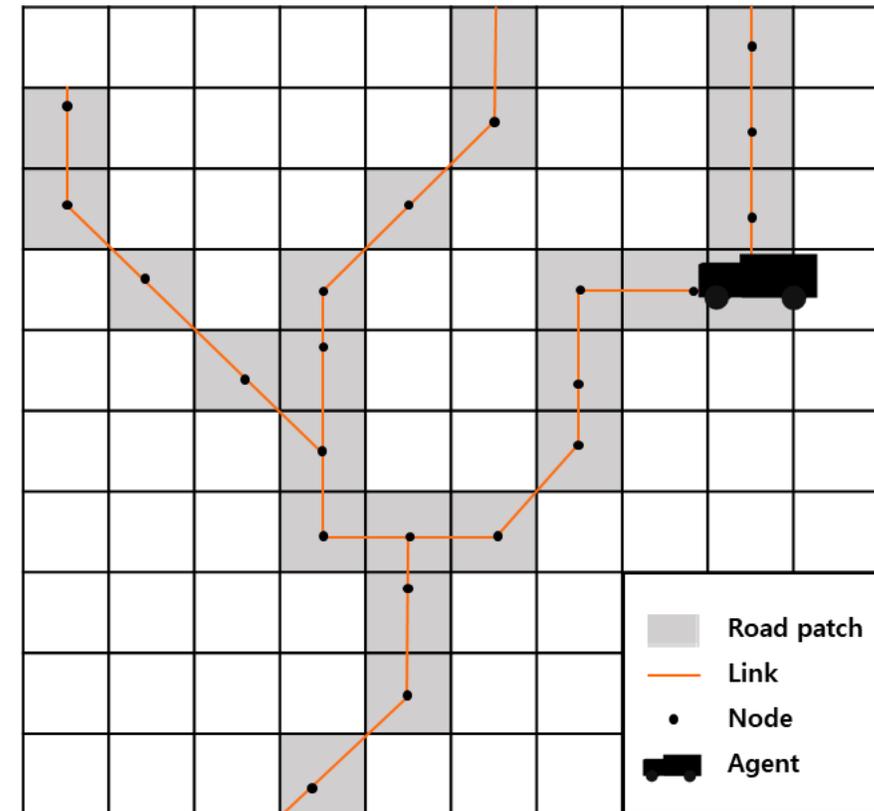
### 지리정보시스템 (Geographic Information System, GIS)

1. 대상 지역 연속수치지형도 자료 (SHP, SHX, DBF) 추출
2. QGIS 프로그램을 통한 데이터 처리
  - 지형정보레이어, Node Property 수정 및 설정



3. NetLogo 행위자기반모델링 프로그램에 GIS 확장 및 코딩

### Mesh + Road Network Type



기상장에 의한 이류와 난류 특성이 반영된 Random components에 의한 확산

### ■ Gaussian Modeling



- 정상상태(Steady state)
- 오염원에서 확산되는 Plume이 정규분포를 한다고 가정
- 간단하면서도 비교적 정확히 계산
- 대기환경영향평가에 가장 많이 사용되는 모델

### ■ Puff Modeling ex. CALPUFF

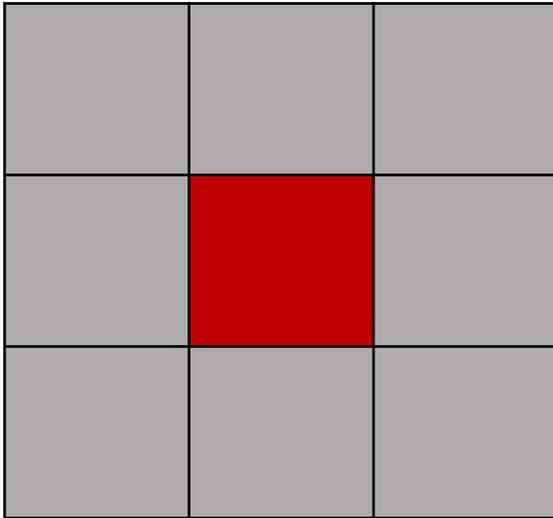


- Time dependence : 바람에 따라 유동
- 단위시간에 배출된 연기를 커다란 하나의 연기 덩어리로 나오는 것으로 가정
- 대기 분산(Dispersion) 매개변수
  1. 대기안정도
  2. 풍향 및 풍속
  3. 대기조건
  4. 모멘텀



### ■ The Moore

- 기준 셀을 중심으로 8개 patches
- 각 patches에 확률을 균등하게 할당



$$N_{cell}^M = \{ (x, y) : |x - x_0| \leq r \wedge |y - y_0| \leq r \}$$

$$\rightarrow (2r + 1)^2$$

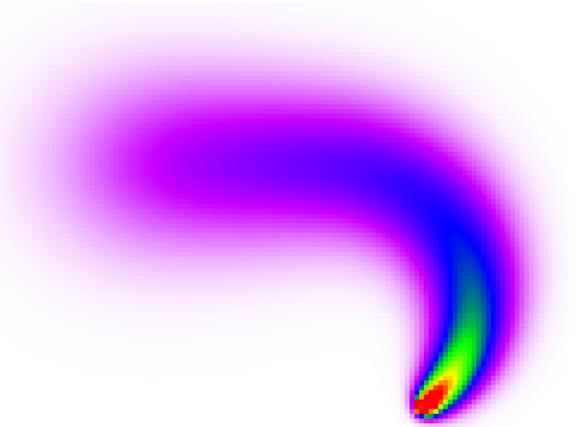
Sequence : 1, 9, 25, 49, 81 ...

### ■ 기상장

- 플럼 방출 속도를 1 m/s로 가정
- 기상청 월별 평균풍속 및 연별최대평균풍속 기반



그림> Puff Model



그림> 본 연구 모델 시뮬레이션 장면



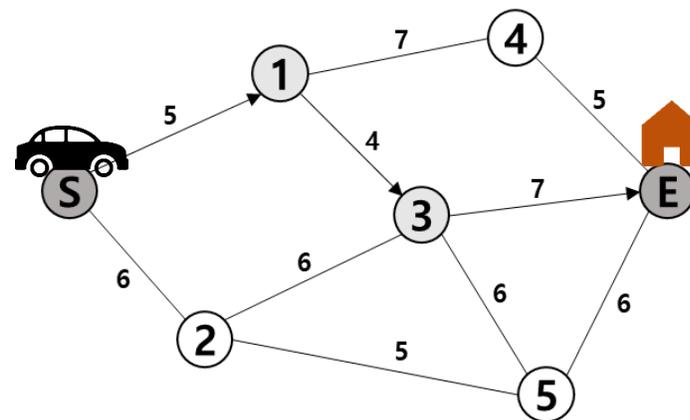
### 행위자 행동 규칙

- 대피행동에 영향을 줄 수 있는 경로선택
- 사고 유형, 인구밀도 등에 따라 다를 수 있음

1. 무작위적 판단
2. 지리인지도 - 훈련을 통해 대피소 위치를 인지
3. 주요도로지향
4. 추종본능 - 집단의존형 피난행동
5. 위험회피본능 - 위험요소로부터 피하려는 본능
6. 최단경로 - 가깝기 때문에

### 최단 경로

- 초기 노드에서 목표노드로 가는 경로 중 가장 최단경로
- Start node를 행위자의 초기 위치
- End node를 대피소 위치로 설정



$$f(n) = g(n) + h(n)$$

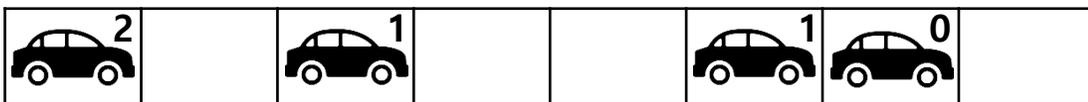
- $g$  : 초기 노드에서 현재 노드까지의 실제 최단거리(비용)
- $h$  : 현재 노드에서 목표 노드로 가는 최단거리(비용) 추정치



## 교통

- 도시 네트워크에서 **교통흐름**을 모델링하는데 적합

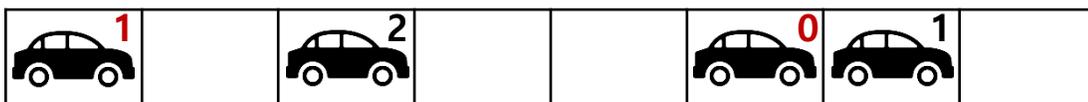
### 1) 기준속도 : $V$



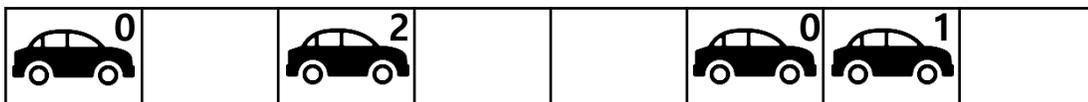
### 2) 가속 : $V < V_{max}$



### 3) 정지 : $V > \text{앞차와의 거리}$

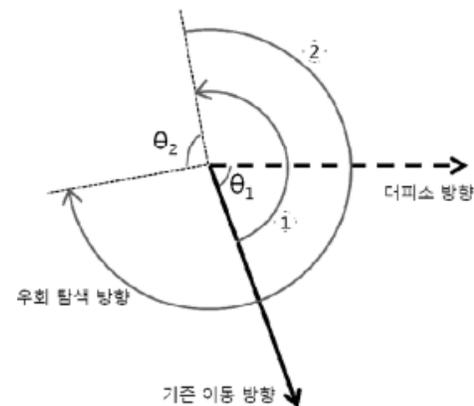


### 4) 무작위성 : $V$



## 교통통제계획

- **도로이용 불능 반영**



단계	행동 패턴
1	대피경보와 함께 대피소 쪽으로 방향 설정
2	기존 방향을 중심으로 반경 500m, 시야각 270도 내에 도로 탐색.
3	탐색결과 도로이용 불능 경우, 재탐색
4	탐색한 방향으로 N-S 알고리즘에 따라 속도 조절
5	대피소에 도착하면 STOP

# 3. 연구결과



## ■ NUREG - 7002

Scenario		Factor
Season	Summer	<ul style="list-style-type: none"> <li>인구 분포</li> </ul>
	Winter	
Day	Midweek	
	Weekend	
Time	Daytime	
	Evening	
Weather	Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>100% speed</li> </ul>
	Rain	<ul style="list-style-type: none"> <li>85% speed</li> </ul>
	Snow / Ice	<ul style="list-style-type: none"> <li>65% speed</li> </ul>

## ■ 본 연구 (국내 데이터 반영)

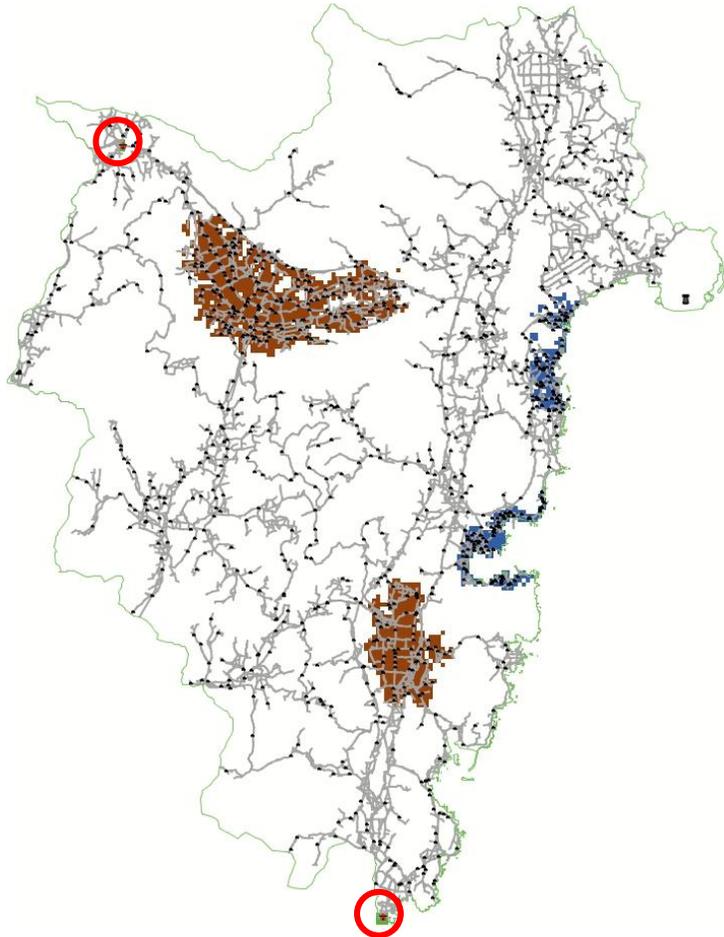
Scenario		Factor
Season	Summer	<ul style="list-style-type: none"> <li>인구 분포</li> <li>관광객 증감</li> </ul>
	Winter	
Day	Midweek	<ul style="list-style-type: none"> <li>인구 분포</li> </ul>
	Weekend	
Time	Daytime	<ul style="list-style-type: none"> <li>인구 분포</li> <li>임계교통량 증감</li> </ul>
	Evening	
Weather	Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>100% speed</li> </ul>
	Rain	<ul style="list-style-type: none"> <li>80% speed *10mm</li> </ul>
	Snow / Ice	<ul style="list-style-type: none"> <li>68% speed *2cm</li> </ul>

**Weight !**

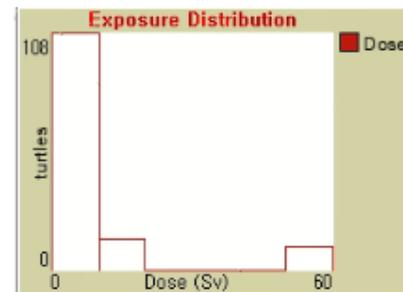
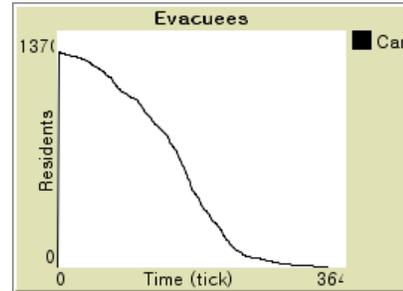
# 3. 연구결과



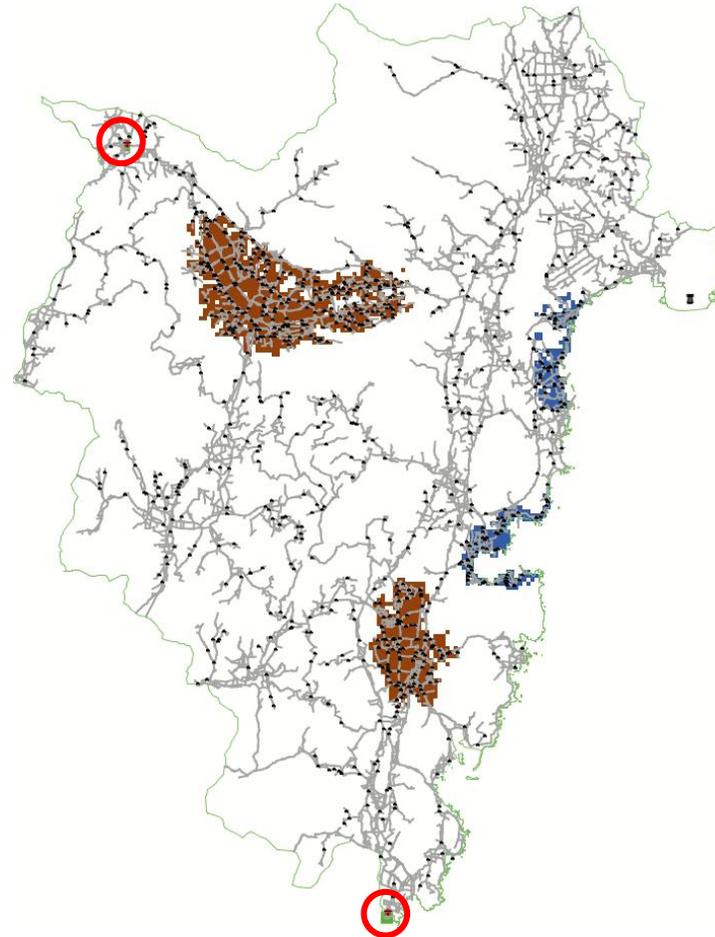
- Evacuation scenario 1
  - 여름, 평일, 주간, 폭우



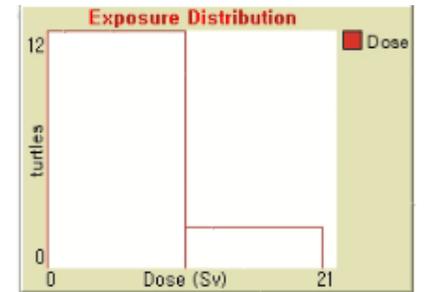
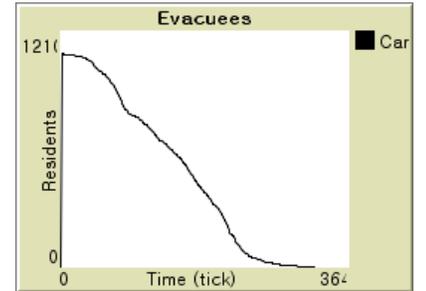
Total Evacuation Time (sec)  
01:25:15



- Evacuation scenario 2
  - 겨울, 주말, 야간, 맑은 날씨



Total Evacuation Time (sec)  
01:04:00





### ▪ 방사능 누출 사고 시 방사성물질 확산과 인간행동패턴을 접목한 확산-대피 통합 모델 개발

- 다양한 사례연구를 통해 원전사고 시 인간행동 패턴을 접목한 대피모델 구축
  - 행위자기반모형은 초기설정이 민감하며, 검증이 어려움
  - Prototype으로 확장 가능성이 높기 때문에 추가적으로 다른 방법론과 융합하여 정확도를 올릴 수 있음
  
  - 기존 ETE는 환경, 사회 특성의 가정이 명확하지 않아, 실제 사고시의 상황을 적절히 반영하고 있다고 보기 어려움<sup>1)</sup>
  - 방사능 누출사고 시 인간-환경 시스템 분석을 포함한 대피모형 개발의 기초연구
  - 외부사건을 동반한 사고 시 대피행동패턴 분석 가능
- ∴ 행위자-환경 상호작용을 고려한 시뮬레이션 측면의 비구조적 대책 수립에 가치