

# buildingEXODUS 소개

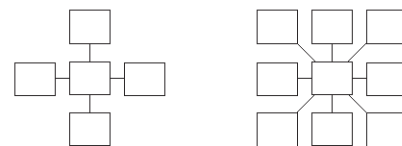
김주영 | 협회 총무부 대리

방재와 보험의 지난 봄호에 피난시뮬레이션인 buildingEXODUS(이하 'EXODUS'라 칭한다)에 대해 개괄적으로 소개하였다. 그에 이어 본 호에서는 EXODUS에서 피난대상지역을 정의하는 방법에 대해 살펴보고자 한다.

## 1. 피난 대상공간의 구성

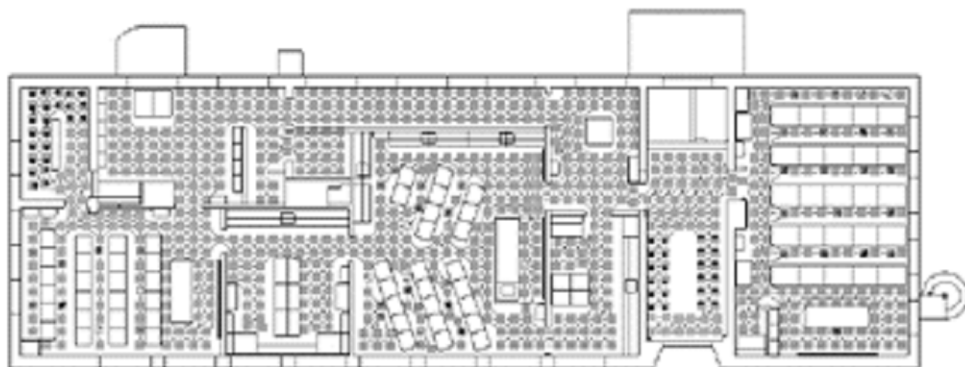
피난 대상자가 피난을 위하여 이동하는 지역을 피난대상공간(이하 'Geometry'라 칭한다)이라 부르며, 이러한 Geometry는 EXODUS의 GEOMETRY MODE에서 정의된다.

EXODUS 내에서 Geometry는 2차원 공간으로 표현된다. Geometry의 외곽선은 EXODUS에 제공되는 도구를 사용하여 만들거나 또는 CAD 프로그램



[그림 1] Node 간의 연결 예

을 통하여 만들어지는 DXF 형태의 파일을 읽어들이어서 만들 수 있다. Geometry상에서 각각의 위치를 Node라 칭하며, 근접한 각각의 Node는 Arc로 연결



[그림 2] Node와 Arc를 나타낸 Geometry



[그림 3] Node와 Arc를 나타내지 않은 Geometry

된다(그림 1). 하나의 Node에 연결되는 Arc의 개수는 제한이 없으며 모든 Node에 연결된 Arc는 동일한 개수가 아니어도 된다. 일반적으로 하나의 Node는 4개 혹은 8개의 Arc로 연결된다. 피난대상자는 Node와 Node간을 Arc를 따라 이동한다. 일반적으로 Node와 Arc는 보이지 않게 하고 Geometry의 외곽선만을 남긴 채로 시뮬레이션을 실행한다.

## 2. NODE의 속성

Node는 피난환경과 지역형태를 규정하는데 사용된다. Node에 관련된 속성은 Node를 통과하는 피난자에게 영향을 끼치기 때문에 매우 중요하다. Node는 일반적으로 모든 Node에 적용되는 일반적인 속성과 고유한 역할에 관련된 특별한 속성을 가진다. <표 1>에 각 Node에 관련된 일반적인 속성을 나타내며 특별한 속성은 다음 장에서 설명된다.

일반적인 Node는 계단(Stair)과 자유공간(Free-space)으로 구별되는 차이점과 같은 Node의 지역 형태가 부여됨으로써 Stair node는 Free-space node와 다른 특성을 가지게 된다. EXODUS에는 10가지 지

역형태가 있으며, 이는 STAIR, LANDING, SEAT, EXTERNAL EXIT, INTERNAL EXIT, FREE-SPACE, CENSUS REGION, BOUNDARY, ATTRACTOR 및 DISCHARGE 이다. 지역형태는 당해 Node에 위치하거나 통과하는 피난대상자의 행동 및 최고보행속도에 영향을 끼친다(표 2 참조). 지역형태에 관련된 정보는 BEHAVIOUR sub-model과 OCCUPANT sub-model에 전달된다.

Node의 피난환경에 관한 속성은 HCN(ppm), CO(ppm), CO<sub>2</sub>(%), 산소의 소모율(%), 연기( $l/m$ ), 온도(°C)와 복사열류( $kw/m^2$ )이다. 복사열류를 제외한 나머지는 각각의 변수에 대하여 두 개의 값, 즉 피난자의 머리 높이 1.7m 및 바닥에 근접한 0.5m 위치의 값이 지정된다.

피난환경의 시간 및 공간에 따른 변화는 SCENARIO MODE에서 적용되며, 해당 Node에 위치한 피난대상자가 그 위치에 머무르는 동안 Node에 정의된 피난환경의 영향을 받게 된다. 피난환경에 대한 정보는 각 피난대상자의 위험요소에 대한 생리적 반응을 결정하는 TOXICITY sub-model 및 물리적인

〈표 1〉 EXODUS에서 사용되는 Node의 속성

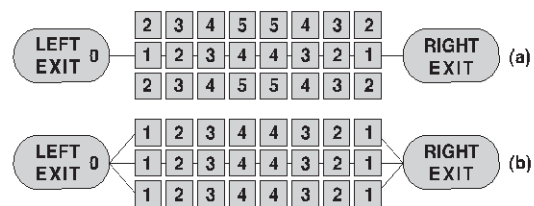
Attribute	Unit	Default	Updated By	Editable Mode	Node Types	Level
Title	-	Node type x x= total nodes	Auto	Geometry	All	1, 2
Type	-	Free-Space	User	Geometry	All	1, 2
Potential	-	0	User/Auto	Scenario	Attractor, Int. Exit	1, 2
Node Dir	°	90	User	Geometry	Seat, Stair, Int. Exit	1, 2
Collapsed	-	Upright	User/Auto	Geometry	Seat	1, 2
Min UFR	Occ/m/s	999	User	Scenario	Attractor, Int. Exit	1, 2
Max UFR	Occ/m/s	999	User	Scenario	Attractor, Int. Exit	1, 2
Width	m	0.5	User/Auto	Geometry	Attractor, Int. Exit	1, 2
Temperature*	(°C)	20	User/Auto	Scenario	All	2
O <sub>2</sub> *	(%)	21	User/Auto	Scenario	All	2
Smoke*	(l/m)	0	User/Auto	Scenario	All	2
CO*	(ppm)	0	User/Auto	Scenario	All	2
CO <sub>2</sub> *	(%)	0	User/Auto	Scenario	All	2
HCN*	(ppm)	0	User/Auto	Scenario	All	2
Radiative Flux	kW/m <sup>2</sup>	0	User/Auto	Scenario	All	2

\* 높이에 따른 두 값을 가지는 속성을 나타낸다.

Note : 연기는 감광계수(Extinction Coefficient:K)의 단위로 측정된다. 감광계수를 가시밀도(Optical Density:OD/m)로 변환하는 것은  $K=OD/m \times 2.3$ 식에 의한다.

행동을 결정하는 BEHAVIOUR sub-model에 전달된다. Node의 환경적인 상태는 HAZARD sub-model에 의해 제어된다.

〈표 1〉에 명기된 것과 같이 각 Node는 Potential 속성을 가진다. Potential은 Node와 가장 가까운 출구간 거리를 나타내는 값이다. 환경 속성으로서 Potential 속성은 HAZARD sub-model에 의해 변경된다. Potential은 각 출구로부터 생성되며, 최종 출구로부터 거리가 멀어질수록 증가한다. Geometry가 만들어지고 출구가 정의되면 EXODUS는 자동적으로 Potential map을 생성한다. 이러한 과정은 SIMULATION MODE에서 수행된다.



〔그림 4〕 출구와 구획과의 연결 예.  
(a) 한개 Arc연결, (b) 3개 Arc 연결

〔그림 4〕는 단순한 구획 공간에서 서로 다른 두 가지의 Potential map을 보여준다. 두 개의 그림은 출구의 폭과 각 출구와 구획 간에 연결된 Arc의 수가 다르며 시각적인 표현을 용이토록 하기 위해 Arc는

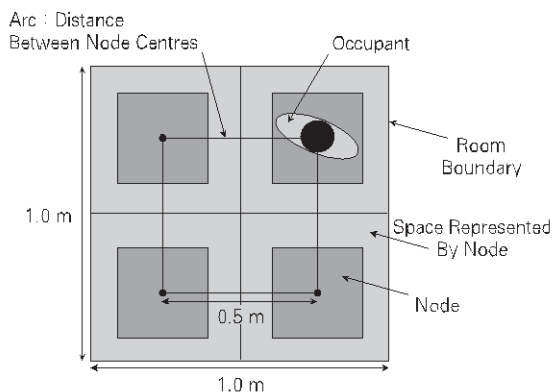
〈표 2〉 EXODUS에서 사용가능한 Node 형태

Node Type	Description of use and influence on behaviour
FREE-SPACE	방해받지 않고 이동가능하며 장애물이 없는 수평 지역을 나타낸다.
BOUNDARY	피난자가 가능하면 피하려고 하며, 피하는 것이 불가능한 경우 보행속도를 감소하여 통과한다.
ATTRACTOR	Potential map을 지엽적으로 수정하기 위하여 사용되며 Discharge node와 함께 사용되어 피난대상자의 흐름을 제어한다.
DISCHARGE	Potential map을 지엽적으로 수정하기 위하여 사용되며 Attractor node와 함께 사용되어 피난대상자의 흐름을 제어한다.
SEAT	앉는 구역을 나타내며 피난대상자의 이동이 방해받거나 또는 통과하려면 타고 넘어야 한다.
STAIR	계단을 표현하기 위하여 사용되며 보행방향에 따라 피난자의 보행속도가 감소된다. 피난대상자는 계단에 관련된 행동규칙이 고수된다.
LANDING	Free-Space node의 행동방식과 유사하고 Boundary mode에서도 보이며 특별히 계단과 연결되도록 설계되었다.
EXTERNAL EXIT	피난대상자의 최종 피난 출구를 나타내며 피난대상자가 이 지점에 도착하면 피난행위가 완료된 것으로 간주된다. 또한 어떤 출구의 유용성, Attractiveness 및 유동율을 제어할 수 있다.
INTERNAL EXIT	이 출구를 통하여 외부로 나갈 수는 없는 건물 내의 출구를 나타내는 것을 제외하고, External exit와 동일한 속성을 가진다.
CENSUS REGION	피난자의 행위에 어떠한 영향도 주지는 않고 단지 특정한 지역의 유동율과 통과자수 등의 자료를 얻기 위해 사용된다.

90° 연결과 정수로 된 거리만을 사용하였다. 기본적으로 Potential map은 피난대상자의 Global 피난 행위에 영향을 끼치는 BEHAVIOUR sub-

model에서 사용된다.

### 3. ARC의 속성



[그림 5] 1m×1m 구획의 Node 배치

각각의 Arc는 두 가지의 속성을 가지며, 첫 번째는 길이의 속성으로서 Node간의 실제 물리적 거리를 나타내며 대부분의 경우 0.5m이다.

두 번째의 속성은 장애값(Obstacle)으로 Node의 통과 난이성으로 나타내는 정수이다. 장애값은 Node의 형태를 구별하기 위하여 사용되는 것으로, 예를 들면 개방된 공간을 나타내는 Node는 장애값이 0인 Arc로 연결되는 반면에 구획의 가장자리에 위치한 Node에 연결된 Arc의 장애값은 1 또는 2의 값을 가진다.

영화관 및 항공기 등과 같이 좌석이 뺄뺄하게 배

〈표 3〉 EXODUS에서 Arc의 속성

Attribute	Default
Length	0.5 m
Obstacle	
Open space	0
Light debris	1
seat row (within row)	1
seat row (between rows)	7

치된 피난대상공간에서 좌석 열 간에 연결된 Arc는 1의 장애값을 가진다. 이것은 개방공간을 통과하는 것에 비하여 좌석의 열간을 통과하는 데 더 많은 노력이 필요한 것을 반영한 것이다. 좌석 열 간에 연결된 Arc중 7의 장애값을 가질 수도 있으며, 이 것은 통과하기 어려운 Upright seat를 고려한 값이다.

피난자가 Node를 통과하거나 또는 가능성을 검토하기 위하여, 장애값은 BEHAVIOUR sub-model과 OCCUPANT sub-model로 전달된다. 장애값은 피난대상자 개개인의 속성과 함께 그들의 행동에 영향을 끼치며, 벽 및 내부의 칸막이벽과 같은 통과할 수 없는 장애물은 Node간에 연결된 Arc를 제거함으로써 만들어진다.

#### 4. Arc 와 Node의 해석

Geometry에서 각각의 Node는 Node로부터 돌출된 Arc의 길이에 의해 점유된 공간을 나타내며 매 순간 한 사람의 피난대상자에 의해 점유된다. Node간의 길이는 연결된 Node 중심점간의 거리를 나타내며 기본 값을 0.5m이다. 그래서 각 Node는 0.5m × 0.5m로 측정되는 구역을 나타낸다. 그러므로 Node는 Geometry의 전체 물리적인 공간에 깔린 타일로 간주할 수 있다. 하지만 각 격자가 연결된 것을

나타내기 위하여 컴퓨터 스크린에는 각 Node를 축소하여 나타내며, [그림 5]에 가로 세로 각 1m의 정사각 구역을 통하여 이러한 예를 보여준다. 이 경우 공간을 표현하기 위하여 각 방향에 0.5m Arc로 분리된 두개의 Node가 사용되며, 바닥 면은 4개의 Node에 의해 완전히 커버된다.

EXODUS에서 공간을 표현할 때 Node의 크기를 작게 나타냄으로써 Node 상호간에 간섭하지 않게 된다. 게다가 EXODUS에서 구획된 공간을 표현할 때, 구획 내에 있는 피난대상자는 Node의 중앙에 위치하며, 그래서 피난대상자의 중심점은 그와 가장 인접한 모서리 벽으로부터 0.25m의 거리를 유지하게 된다. 피난대상자가 인접한 Node로 0.5m를 이동해도 중심점은 근접한 벽으로부터 0.25m의 간격을 유지하게 된다. 첫 번째로 시사한 것이 약간 미묘해 보이지만, 근본적으로 이는 실제로 사람이 차지하는 공간과 매우 유사하다.

Note : EXODUS에서 각 Node는 오직 한사람의 피난자에 의해 점유된다.

Note : 만약 Arc가 0.5m로 사용된다면 최대로 수용할 수 있는 인원이 평방미터당 4명(4명/m<sup>2</sup>)으로 제한되며, 이보다 높은 점유밀도에서는 정확한 시뮬레이션 결과 값을 산출할 수 없다.

Note : 기본 값이 아닌 다른 길이의 Arc로 채워진 Geometry라면, 보행속도 및 갈등해소시간(Conflict times)과 같은 핵심이 되는 매개변수의 적합성에 대하여 재평가되어야 한다. (www)