

2004 춘계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

## 울진원전 방사선비상계획구역에 대한 주민소개시간 산정

### Estimating of Evacuation Time for Emergency Planning Zone of Uljin Nuclear Power Plants

김성민, 이은미, 이갑복, 정양근, 엄희문  
한전전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

#### 요 약

울진원전을 대상으로 방사선 비상시 주민소개시간을 산정하는데 있어 울진원전 주변의 지리적·환경적·사회적인 특성을 반영한 교통흐름 분석을 통해 실제 비상시에 예상되는 여러 가지 상황에 따른 주민소개시간을 산정하였다. 그 결과, 전 주민들을 소개하는데 걸리는 시간은 전체적으로 225~315분 정도가 소요되며, 밤이 낮보다 약 30분, 기상상태가 좋지 않을 경우 최대 1시간 정도가 더 소요되며, 침두교통량일 경우는 낮이 밤보다 더 장시간이 소요되었다. 낮/침두교통/악기상의 경우, 부구삼거리, 한수원사택, 나곡해수욕장 등에서는 약 1시간 후부터 지연시간이 20~30분 정도로 증가하기 시작하였으며, 일시적인 교통이벤트의 경우는 침두교통이 평상교통의 경우보다 약 1시간 정도 더 지연되는 것으로 나타났다.

#### Abstract

The evacuation time of residents in emergency planning zone(EPZ) of Uljin nuclear power plants in the event of a radiological emergency was estimated with traffic analysis that reflected geographical, environmental and social characteristics. The results showed that evacuation time required for total vehicles to move out from EPZ took 225 to 315 minutes. At night was required about 30 minutes more than in the daytime and a maximum 1 hour in case of a adverse weathers. The maximum traffic took longer in the daytime than at night. In case of traffic events, The maximum traffic were delayed in 1 hour more than the usual traffic.

## 1. 서 론

원자력발전소 사고시 방사성물질이 다량으로 공기중에 누출되어 인근주민들에게 일정 기준 이상의 방사선량 피폭이 예상될 경우, 주민들을 보호하기 위한 조치의 일환으로 소개시키는 방법이 고려된다. 주민소개는 방사성구름이 피해지역에 도달되기 전에 완료되어야 하므로 가능한 한 신속히 주민소개 수행여부, 범위 및 소개경로를 결정해야 하며, 이때, 실제 비상시에 예상되는 여러 가지 상황에 대해서 미리 분석하고 예측해 놓은 소개시간들은 이런 결정을 선택하는데 있어서 중요한 판단자료가 된다.

현재 국내에 수립되어 있는 소개시간 추정방법의 전반적인 가정 및 분석절차는 미국 관련규정 NUREG-0654-FEAM-Rev. 1 App. 4(이하 NUREG-0654)를 준용하고 있으나, 각 원전주변의 지리적, 환경적, 사회적인 특성을 반영한 교통흐름 분석 등이 고려되지 않은 단순가정에 근거하고 있어 실제 사고시의 상황을 적절히 반영하고 있다고 보기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 울진원전을 대상으로 방사선비상계획서와 미국의 NUREG-0654를 분석하여, 주민소개시간 산정에 필요한 인자와 본 연구에서 집중수행할 필요성이 있는 요소를 도출하고, 각각의 인자에 대해 원전주변의 현장 자료를 토대로 부지주변의 환경여건을 반영한 주민소개시간을 산정하고자 하였다.

## 2. 소개시간 산정방법

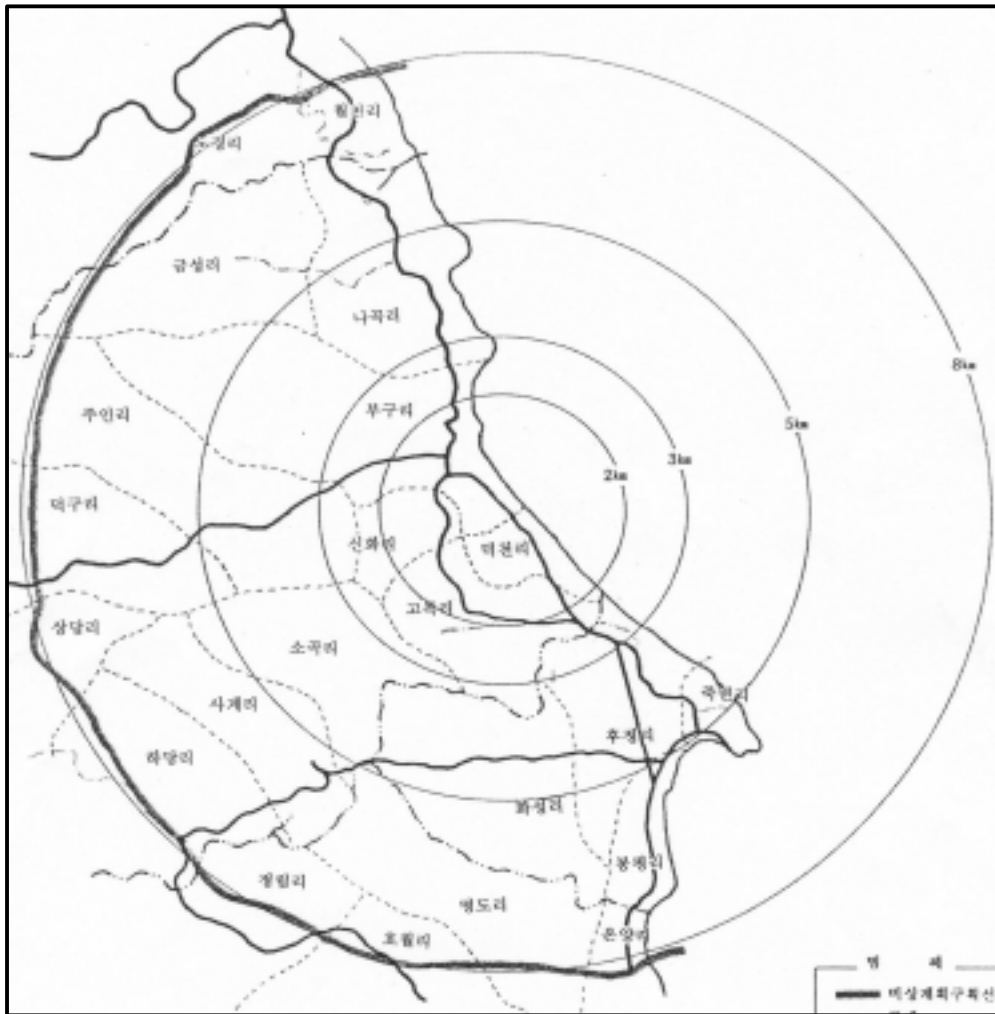
### 2.1 울진원전 인근주민 소개예상시간 산정을 위한 현장자료 수집

국내원전의 방사선비상계획서[1]와 미국의 NUREG-0654[2]를 참조하여, 주민소개시간 산정에 필요한 인자를 도출하고, 중요인자에 대해서는 울진원전 주변의 통계연보 분석 및 현장조사를 수행하였다.

#### 가. 울진원전 주변 지형 및 소개대상지역 도로망

울진원전 주변의 비상계획구역(부지 반경 8km 내외)의 행정구역 분포는 <그림 1>과 같다. 울진원전은 행정구역상 울진군 북면에 위치하고 있으며, 비상계획구역은 울진군 북면 및 죽변면 전체와 울진읍 및 삼척시 원덕읍 일부를 포함하고 있다. 해안선을 따라 남북방향으로 인구 밀집 지역이 자리잡고 있으며, 교통망도 해안선을 따라 남북방향으로 형성된 비교적 단순한 구조를 가지고 있다. <그림 1>의 울진원전 주변의 도로망을 살펴보면, 해안선을 따라 왕복 2~4차로의 7번 국도가 남북으로 연결되어 있다. 원전 북쪽으로 917번 지방도가 덕구온천까지 연결되어 있으며, 원전 남쪽에 920번 지방도가 죽변에서 내륙의 해당지역을 거쳐 다시 울진 시내로 돌아오는 U자형 도로를 이루고 있다.

예상되는 병목구간은 7번 국도와 416번 지방도가 만나는 월천 삼거리, 7번 국도와 917번 지방도가 합류하는 부구 삼거리, 920번 도로와 7번 국도가 만나는 죽변 삼거리, 한수원 사택단지 아파트 출입구 부근 등이다.



<그림 1> 울진원전 방사선비상계획구역(EPZ)

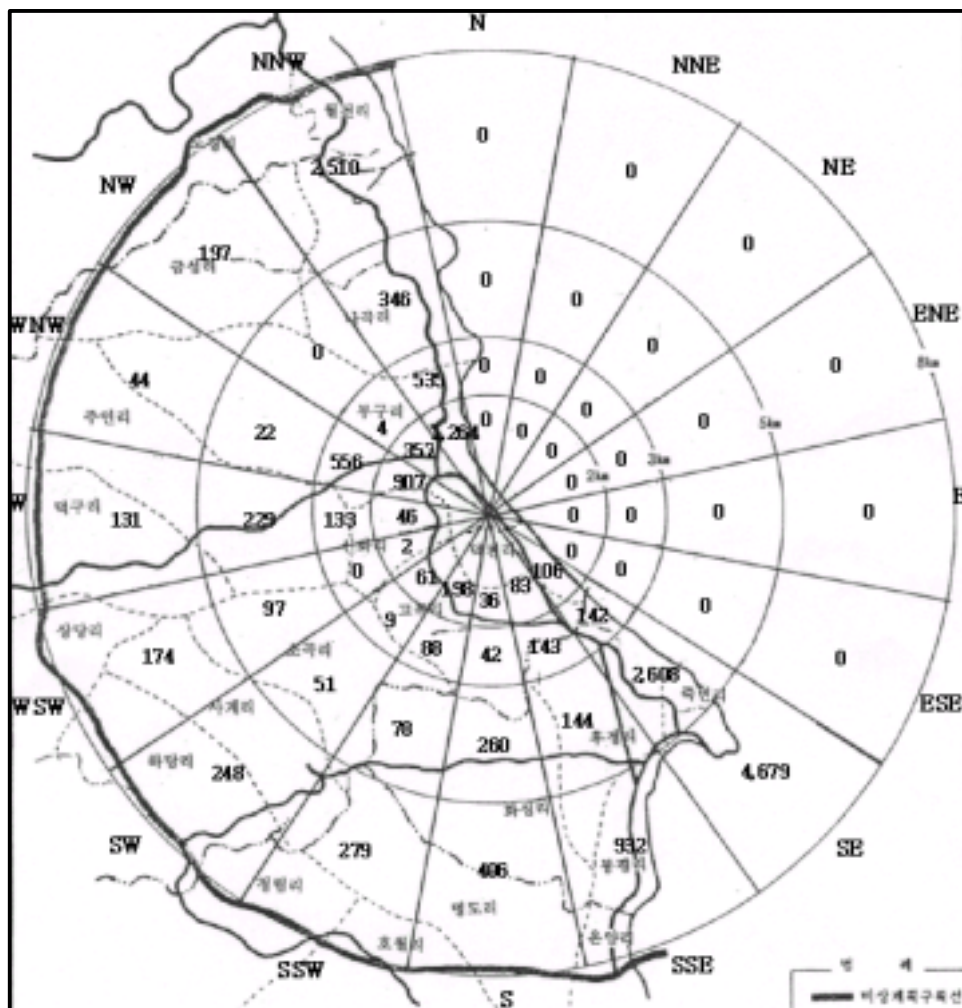
#### 나. 인구수 및 분포

부지 반경 8km에 울진읍을 포함하여 4개의 읍·면이 존재하는데, 부지 반경 8km 이내에는 울진군 죽변면과 북면이 대부분을 차지하고 있다. 부지 반경 8km 이내 지역의 64개 섹터별 인구분포를 <그림 2>에 제시하였다. 조사결과 부지 반경 2km 이내의 총인구는 3,060명, 2~5km 이내의 총인구는 5,487명, 5~8km 이내의 총인구는 9,600명이며, 8km 이내

의 총인구수는 18,147명으로 나타났다.

일시체류자는 여행자 및 대형공장의 고용인 등이 고려된다. 울진원전의 경우 부지로부터 16km 이내의 울진군과 삼척시의 5인 이상 고용업체의 고용인원 대부분 영구 거주자이므로 소개대상 인원산출시 제외하였다. 울진원전의 반경 8km 이내 일시체류 인구의 주요 요인은 계절별로 여름철에 유동인구가 집중되는 봉평 해수욕장(7.0km)과 호산 해수욕장(0.7km)이 있으며, 여행객이 상대적으로 전 계절에 걸쳐있는 덕구온천이 존재한다. 일시체류 인구의 대부분은 이와 같은 여행객이 차지하고 있으며, 연간 약 80만명 정도이다.

특수시설인은 비상계획구역에 위치하는 학교, 병원, 고아원, 교도소 등의 인구로 구성되는 인구이며 울진원전 비상계획구역내에는 병원, 고아원, 교도소 등이 없어 학교인구(학생, 교사 및 기타 직원)만을 주민소개 대상인구로 산정한다.

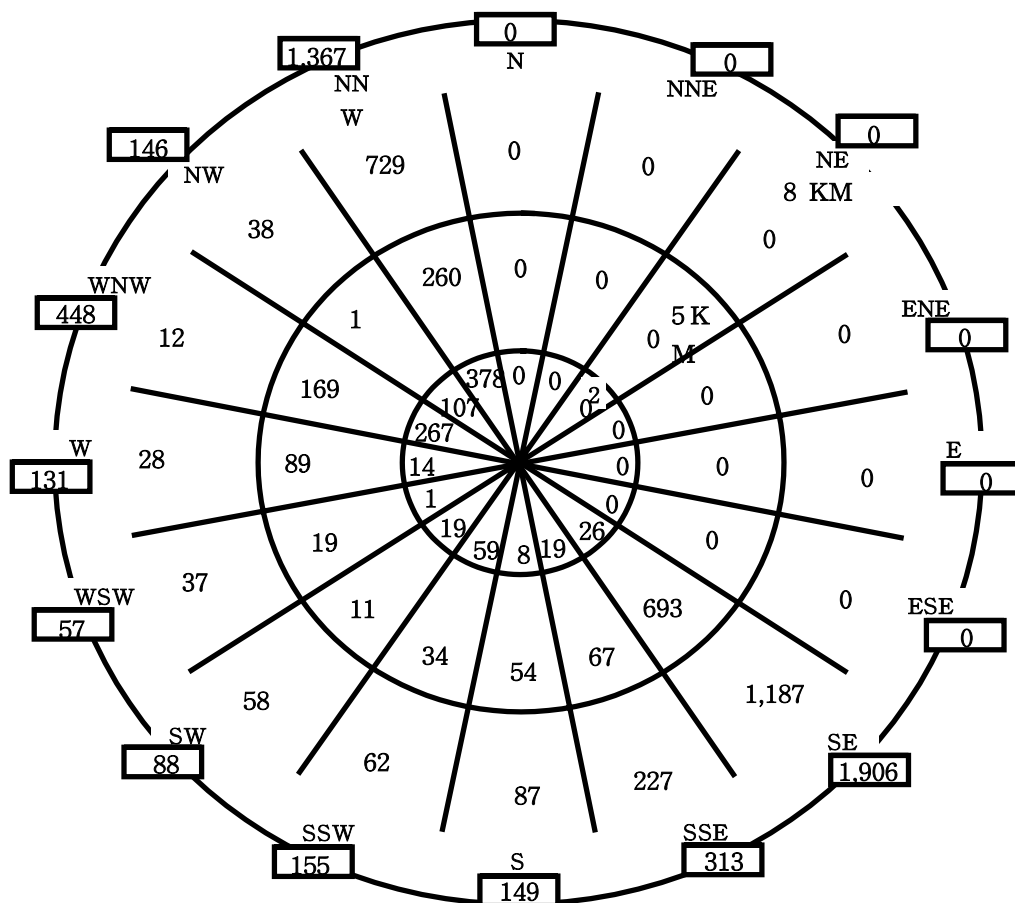


<그림 2> 울진원전 비상계획구역내 상주 인구분포

#### 다. 소개시 주민 운송수단 및 교통량

울진원전 부지 반경 8km 이내 지역의 64개 섹터별 자동차 보유 대수를 <그림 3>에 나타내었다. 조사 결과 부지 반경 2km 이내의 총 자동차 대수는 898대, 2~3km 이내는 459대, 3~5km 이내는 938대, 5~8km 이내는 2,465대이며, 8km 이내 총 자동차 대수는 4,760대로 나타났다. 행정구역별 자동차대수는 다음과 같다.

- 8km 이내 자동차 총 대수 : 4,760대
  - 죽변면 : 2,182대 (죽변면 보유대수의 100%)
  - 울진읍 : 104대 (울진읍 보유대수의 3%)
  - 북면 : 2,431대 (북면 보유대수의 94%)
  - 삼척시 원덕읍 : 43대 (원덕읍 보유대수의 3%)



<그림 3> 섹터별 자동차 보유대수

## 라. 기상조건

주민소개와 관련하여 고려하여야 할 것은 먼저 교통흐름에 영향을 주는 악천후 현상과 방사능 확산 예측과 관련된 기상조건이다. 미국의 NUREG-0654에서는 평상시와 악천후로 기상 조건을 나누어 주민소개 시간을 평가토록 권고하고 있는데, 악천후에는 홍수, 폭우, 폭설, 안개 등을 포함한다. 울진원전 주변의 비상계획도상에서 홍수에 의한 교통의 두절은 발생 가능성이 낮기 때문에 생략하였다. <표 1>의 최근 5년간 기상청 울진기상대에서 관측된 주요 기상현황을 참조하여 악천후에 대한 시나리오 선정시 폭우에 의한 악천후는 대략 일최대 강수량 100mm, 폭설은 일최대 적설량 10cm를 기준으로 하였다. 안개는 연간 3% 미만인 약 10일 정도로 발생하기 때문에 안개가 발생하는 상황은 고려하지 않았다.

<표 1> 울진지역 주요 기상조건

년도	일최대강수량 및 일자 (mm, 월/일)	일최심신적설량 및 일자 (cm, 월/일)	안개 일수(일)*	최대순간풍속 및 일자 (m/s, 월/일)	최대평균풍속 및 일자 (m/s, 월/일)
1999	102.0 (9/23)	-	11	26.2 (3/5)	13.0 (4/27)
2000	110.3 (9/14)	11.5 (1/25)	12	25.0 (4/10)	16.0 (3/31)
2001	114.4 (10/9)	9.3 (12/25)	10	24.0 (3/4)	12.9 (3/4)
2002	162.5 (8/7)	5.8 (12/25)	15	32.7 (1/7)	20.0 (8/31)
2003	146.0 (9/12)	14.0 (1/14)	-	36.3 (9/13)	10.1 (5/7)

주 \*) 2003년 안개일수는 기상청 자료 미발표

[자료출처 : 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>) “날씨정보-기후정보”]

## 마. 배경교통량 및 관광객 현황

계절별, 주중/주말, 관광지별 관광객수 및 유입차량 등 교통흐름에 영향을 주는 배경교통량을 아래와 같이 조사하였다. 교통량 조사 결과를 토대로 산정된 교통 유입량은 주민소개시간 산정시 활용되었다(<표 3>, <표 5> 참조).

### ○ 주요 조사항목

- 계절별 첨두일 가로구간 및 교차로에서 방향별 차종별 교통량 조사
- 관광철·악천후 등 일시적 기간동안의 교통량 증감현황

#### ○ 조사방법

- 선정된 조사지점에 조사원을 투입하여 계측조사 실시
- 5개 차종(승용차, 소형버스, 대형버스, 소형화물, 중형화물, 대형화물)으로 구분
- 15분 간격으로 가로구간 12시간 조사(07:00~19:00), 교차로 6시간 조사(07:00~09:00, 12:00~14:00, 17:00~19:00)

## 2.2 주민소개 예상시간 산정 방법

본 연구에서는 미국의 FHWA(Federal Highway Administration)에서 개발한 CORSIM을 도입하여 주민소개시간을 산정하였다. CORSIM 코드에서는 교통흐름 모형으로 미시적 교통통제시스템인 NETSIM 코드를 채택하고 있다[3]. NETSIM은 도시내의 교통을 정밀하게 모사하는 것이 특징으로 차량추종이론에 의해 각각 차량의 이동상황을 매초간격으로 계산하여 도로 네트워크상의 교통흐름을 분석하는 모델이다.

### 가. 주민소개 범위 설정

소개대상 지역 그룹을 아래와 같이 설정하였다. 소개그룹은 다시 방사능 확산 방향, 집결지, 도로망 상황, 병목지의 예상 지연시간 등을 고려하여 세분화 될 수 있다. 본 연구에서는 방사능 확산 방향을 고려하지 않고 비상계획구역내 전체 주민을 소개하는 것으로 가정하였다.

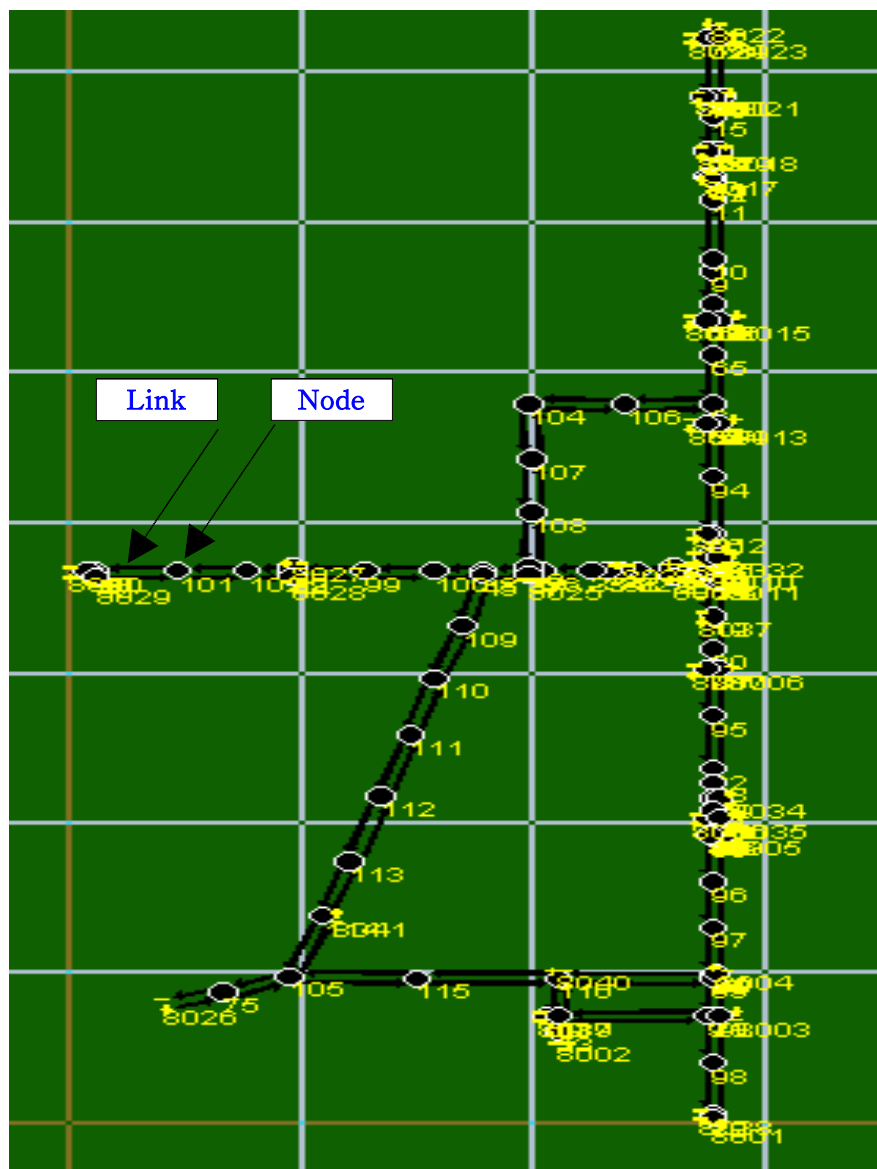
- 그룹 I : 원전 반경 2km 내 주민
- 그룹 II : 원전 반경 2~5km 내 주민
- 그룹 III : 원전 반경 5~8km 내 주민
- 그룹 IV : 비상계획구역내 관광지의 일시 거주자

소개차량들의 소개경로도 중요한 요소이다. 비상계획서상의 풍향별 소개경로를 원칙적으로 적용하였다. 원전기준 북쪽은 삼척방향, 남쪽은 울진 방향으로 소개방향을 정하였으며, 집결지에서 가까운 도로를 통해 7번국도로 유입되는 것으로 가정하였다. 소개경로 설정을 위한 예비 시뮬레이션 결과 덕구온천 일시 체류자를 울진방향으로 소개할 경우 7번국도 합류지점(죽변읍 부근, 봉평해수욕장 부근)에서 다소 심한 정체현상을 야기할 가능성이 있다. 이에 따라 덕구온천 일시 체류자는 삼척방향으로 소개하는 것으로 설정하였다.

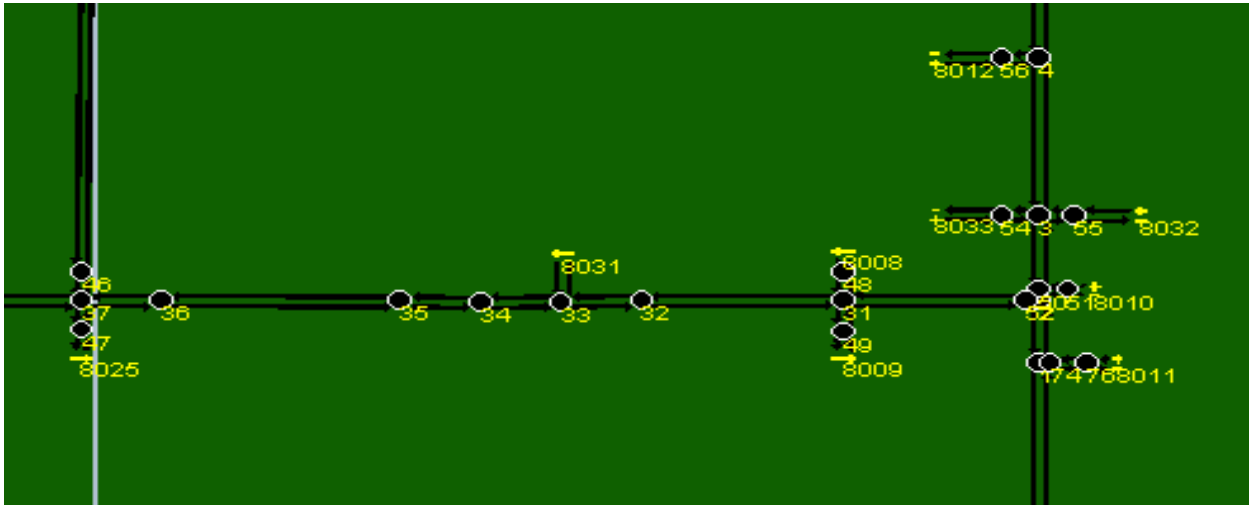
#### 나. 주민소개시간 산정을 위한 네트워크 구성

교통흐름 분석을 위한 도로망을 아래와 같이 링크와 노드로 구성하였다. 울진원전 주변 비상계획구역의 전체적인 네트워크와 중요지역의 상세 네트워크는 <그림 4~6>과 같다.

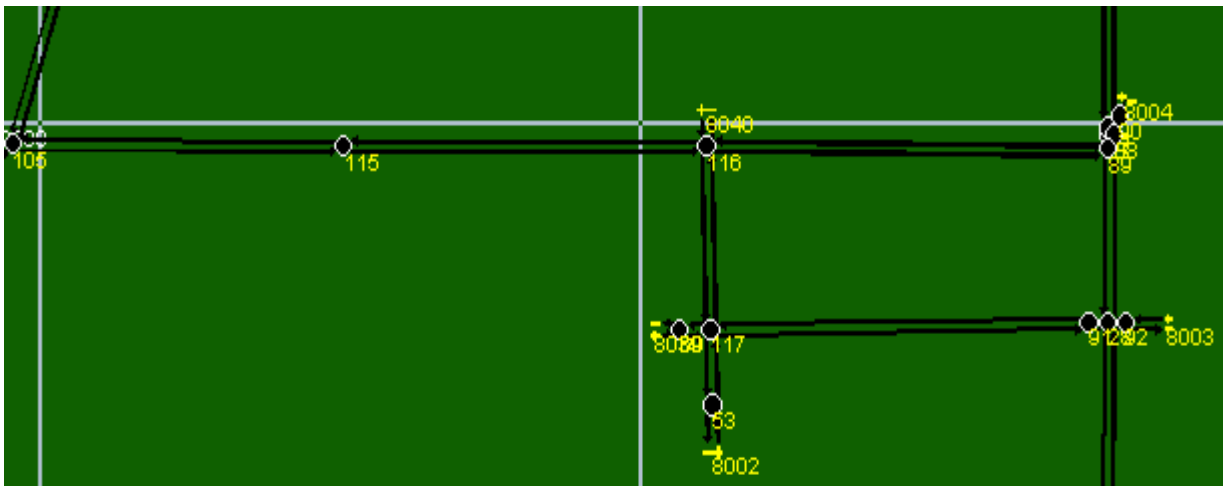
- 노드(Node) : 도로망의 주요 교차로, 도로지형이 변하는 지점, 차량출입지점 등
- 링크(Link) : 차량이 이동하는 도로의 일방향 Segment. 즉, 노드와 노드사이



<그림 4> 울진원전 주변 주민소개시간 산정을 위한 도로네트워크



<그림 5> 부구삼거리 부근 상세 도로네트워크



<그림 6> 봉평해수욕장 부근 상세 도로네트워크

#### 다. 교차로 교통 통행방법과 배경교통 유입통제 및 회전을

교통 통행방법은 교통 신호제어, 회전교통량 등에 따라 적절히 통제되어야 하는데, 울진 원전 주변 비상계획구역내의 교차로에는 신호등이 거의 설치되어 있지 않다. 따라서 도로 교통법상 신호체계가 없는 일반도로에서의 통행 우선규칙을 원칙으로 하였다.

비상계획구역으로의 차량유입 통제 및 회전을 변경은 그룹 I 지역은 소개결정후 45분 부터, 기타지역은 소개결정후 1시간부터 이루어지며, 비상계획구역내 진입차량은 교통혼

잡을 피하기 위해 U-turn 하지 않는 것으로 가정하였다.

#### 라. 소개시간 분포

소개시간은 사고통보시간, 소개준비시간, 이동시간으로 세분할 수 있다. 방사선비상 사고가 난 후 소개여부가 결정이 되면 먼저 인근 주민들에게 알리고, 주민들이 대피할 수 있게 모두 준비한 후 안전한 곳으로 이동할 때까지 걸리는 소개시간은 세 개의 성분들을 모두 합한 것이 된다. 이와 관련 시간분포는 언제(주간/야간, 평일/휴일 등) 사고가 발생되어 통보되느냐에 따라 달라진다. 가족구성원이 대부분 같이 있는 야간이나 공휴일의 경우에는 소개준비시간은 작게 소요될 것이며, 자가용 소유 세대일 경우에는 가족단위 자가 차량에 의해 대피가 이루어지기 때문에 다음 단계인 차량이동 시간이 절약되게 된다. 그러나 야간일 경우에는 취침 등과 같은 사유로 준비 시간이 지연되는 경우도 발생한다. 평일 주간에 사고가 발생할 경우에는 영구거주자라 할지라도 가족구성원의 분산이 매우 심하므로 소개 대상주민의 성향에 따라 준비시간이 매우 다르게 나타난다. 즉, 울진원전 주변 주민을 대상으로 한 기존의 설문조사에서 차량을 보유하고 있는 가구의 경우 대피를 위해 대중교통을 이용하겠다는 가구가 전체의 1%에 불과했다는 연구결과와 같이 주민의 성향이 가급적 가족구성원이 함께 이동하고자 하는 경향이 강할 경우에는 준비시간이 장시간 소요될 것으로 판단된다[4]. 울진 비상계획서, 선행 연구결과 및 미국 NUREC-0654의 예제를 참고하여 <표 2>와 같이 사고통보시간과 소개준비시간을 설정하였다.

<표 2> 울진원전 주변 주민소개시간 산정을 위한 소개시작시간 분포

항목	본과제 적용값		참고문헌*	울진 비상계획서	NUREG-0654 (예제)
소개 통보시간	그룹1	No delay	No delay	- 최대 40분	- 0~45분
	그룹2	30 ~ 60분	30 ~ 70분		
	그룹3	30 ~ 60분	30 ~ 70분		
	그룹4	30 ~ 60분	30 ~ 70분		
소개시작시 간	그룹1	- 주:15~180 - 야:15~180	- 주:20~240 - 야:20~180	- 도보집결:40 - 차량:1시간 - 점검시간:30분 - 야간:추가시간	- 작업자 귀가: 30분~2시간 - 준비 구분 · 자가차량: 45분~3시간 · 대중교통 · 학생 등
	그룹2	- 주:45~180 - 야:45~180	- 주:90~270 - 야:60~180		
	그룹3	- 주:45~180 - 야:45~180	- 주:90~270 - 야:60~180		
	그룹4	- 주:30~135 - 야:30~135	- 주:60~135 - 야:60~135		

주 \*) 이재기, 전인영, “울진원전 방사선비상계획구역에 대한 소개시간 예측,” 대한방사선방어학회 지 27권 제3호, p189-198, 2002

마. 주민소개시간 산정 시나리오 및 교통흐름 분석

관광객의 유입에 의한 일시체류자가 급증하는 여름철을 대상으로 미국 NUREC-0654에서 제시하는 조건을 고려하여 <표 3>과 같이 시나리오를 설정하였다. 악기상에 대한 도로 자유속도는 도로교통법시행규칙상의 차량속도 규정에 의거 평상시 속도의 50%로 가정하였다. 소개는 비상계획구역내 전체주민을 대상으로 하고, 소개차량수는 다음과 같이 산정하였다.

- 총인구를 총차량으로 나누어 5이하일 경우 총차량을 소개차량으로 산정하며, 5를 초과할 경우 부족한 차량수 만큼 소개 시작 1시간부터 추가 투입 가정(대중교통 차량 투입 가정)
- 거주인에 대한 소개차량은 주/야간 동일하며, 일시 거주자(관광객)에 대한 소개 차량 및 배경교통량은 야간에는 주간의 절반 가정

소개차량 도로 유입율은 소개시작시간을 5등분하여 총 누적 소개차량을 S자 curve 원칙으로 배분하였다. 동일 등분내에서는 균등하게 유입되는 것으로 가정하였다. 소개차량 도로 유입율은 <표 4~5>와 같다.

<표 3> 주민소개시간 산정 시나리오별 정보

항목		낮				밤			
		평상교통		피크교통		평상교통		피크교통	
		평기상	악기상	평기상	악기상	평기상	악기상	평기상	악기상
도로 자유속도(mile/hour)		30	15	30	15	25	12	25	12
내부 배경교통 유입율 (대/hour)		60	60	80	80	30	30	40	40
배경 교통유입량 (대/hour)	북단	385	385	450	450	193	193	225	225
	남단	531	531	650	650	266	266	325	325

<표 4> 집결지별 소개대상인원, 소개차량 및 시간대별 차량유입대수(단위 : 인, 대)

집결지	대상마을	그룹	소개 대상 인원	소개 대상 차량	대당 탑승 인원	소개결정후 경과시간(단위 : 분)											
						15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
부구 초등학교	부구1리	I	1,519	455	3.3	22	23	45	91	92	46	45	23	22			
부구 중학교	부구2,3리	II	1,615	473	3.4			23	24	47	48	94	95	48	47	24	23
나곡 초등학교	나곡1,2,3,4,6리 금성리	II	1,283	368	3.5			22	20	36	37	71	72	37	36	20	17
한수원 사택	나곡5리	II	2,320	685	3.4			34	34	69	69	137	137	69	69	34	34
덕구 마을회관	주인1,2,3리 덕구1,2리	III	515	111	4.6			7	7	10	12	20	20	12	11	7	8
부구초등 삼당분교	하당리	III	118	23	5.1			1	1	2	2	5	5	2	2	2	1
경북 체력단련장	사계1,2리 소곡1,2리	III	425	92	4.6			5	6	9	10	17	17	10	9	5	4
신화 마을회관	신화1,2리 고목1,2,3리 덕천리	I	885	224	4.0	11	12	22	24	43	46	24	21	12	9		
죽변종고	죽변1,2,3,4,5리 후정1리	II	6,664	1,688	3.9			84	86	168	170	336	337	170	167	88	82
죽변초등 화성분교	후정2,4리 화성1,2,3,4리	II	710	140	5.1			6	6	14	17	28	28	16	12	7	6
봉평 마을회관	후정3리 봉평1,2리 온양2리	III	1,530	379	4.0			19	19	39	39	75	75	39	37	19	18
명도 마을회관	명도1,2리	III	243	58	4.2			3	3	6	6	11	11	6	6	3	3
정림 마을회관	정림1,2리	III	82	18	4.6			2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
월천 마을회관	월천1,3리	III	148	32	4.6			2	3	3	3	6	5	3	3	2	2

<표 5> 여름철 관광지별 소개차량유입대수(단위 : 대)

교통구분	관광지명	그룹	소개 대상 인원	소개 대상 차량	대당 탑승 인원	소개결정후 경과시간(단위:분)								
						15	30	45	60	75	90	105	120	135
평상적 관광객 유입시 <sup>1)</sup>	나곡해수욕장	IV	350	88	4.0		4	9	9	22	22	9	9	4
	후정해수욕장	IV	400	100	4.0		5	10	10	25	25	10	10	5
	봉평해수욕장	IV	1,300	325	4.0		16	33	81	81	33	32	16	
	덕구온천	IV	1,350	338	4.0		17	34	34	84	84	34	34	17
	원자력전시관	IV	300	75	4.0		3	8	8	18	19	8	8	3
	호산해수욕장	IV	550	138	4.0		7	14	14	34	34	14	14	7
	월천해수욕장	IV	250	63	4.0		4	6	6	16	16	6	6	3
최대 관광객 유입시 <sup>2)</sup>	나곡해수욕장	IV	1,350	270	5.0		13	27	27	68	68	27	27	13
	후정해수욕장	IV	3,500	700	5.0		35	70	70	175	175	70	70	35
	봉평해수욕장	IV	10,700	2,140	5.0		107	214	214	535	535	214	214	107
	덕구온천	IV	10,700	2,410	4.4		121	241	241	602	602	241	241	121
	원자력전시관	IV	2,400	540	4.4		27	54	54	135	135	54	54	27
	호산해수욕장	IV	1,000	350	2.9		17	35	35	88	88	35	35	17
	월천해수욕장	IV	150	45	3.3		3	4	5	11	11	5	4	2

주 1) 평상적인 관광객 유입의 경우에는 차량유입 통계자료를 구할 수 없어 소개대상차량은 대상 인원 자료에서 1대당 차량탑승인원을 4명으로 가정하여 산정

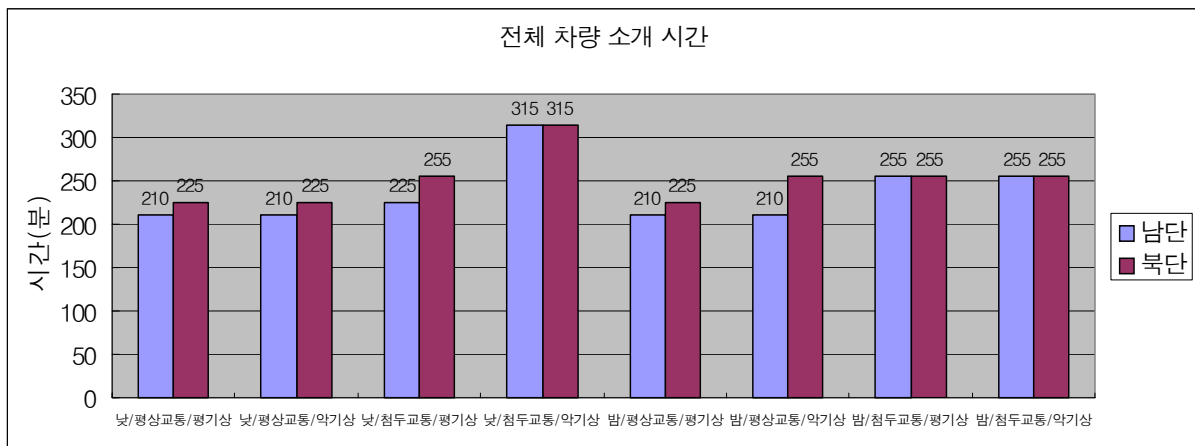
주 2) 최대 관광객 유입의 경우에는 차량유입 통계자료를 구하였으나 1대당 차량탑승인원이 5를 초과하는 지점은 소개대상차량을 1대당 차량탑승인원을 5명으로 가정하여 재산정

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 주민소개시간 평가

여름철 주/야간, 평상/첨부교통, 평기상/악기상 등 모두 8가지 경우를 가정한 시나리오에 대해 CORSIM으로 모의한 결과를 <그림 7>에 제시하였다. <그림 7>은 7번 국도의 EPZ 경계 남단과 북단에서 모든 소개차량(인구)이 비상계획구역을 벗어나는 데 걸리는 시간을 나타낸 것이다. 비상계획구역내 전 주민을 소개하는데 걸리는 시간은 전체적으로 22

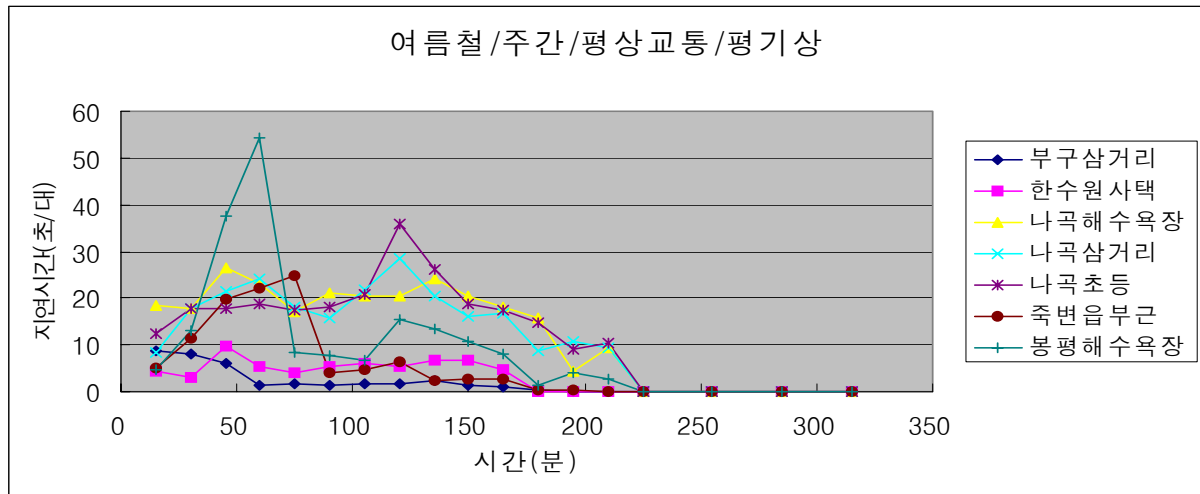
5~315분 정도로 마지막 소개대상차량이 도로로 유입된 후 약 30~120분 정도 소요된다. 소개시간은 밤이 낮보다 약 15~30분 정도, 기상상태가 좋지 않을 경우가 최대 1시간 정도 더 소요되는 것으로 모의되었다. 배경교통량이 작아 정체가 거의 일어나지 않는 평상교통의 경우에는 주/야간, 평/악기상 구분 없이 거의 비슷한 시간이 소요되며, 배경량이 많은 첨두 배경교통량의 경우에는 관광객이 도로로 유입되어 교통 포화상태가 유발되는 낮이 밤보다 더 장시간이 소요되는 것으로 나타났다.



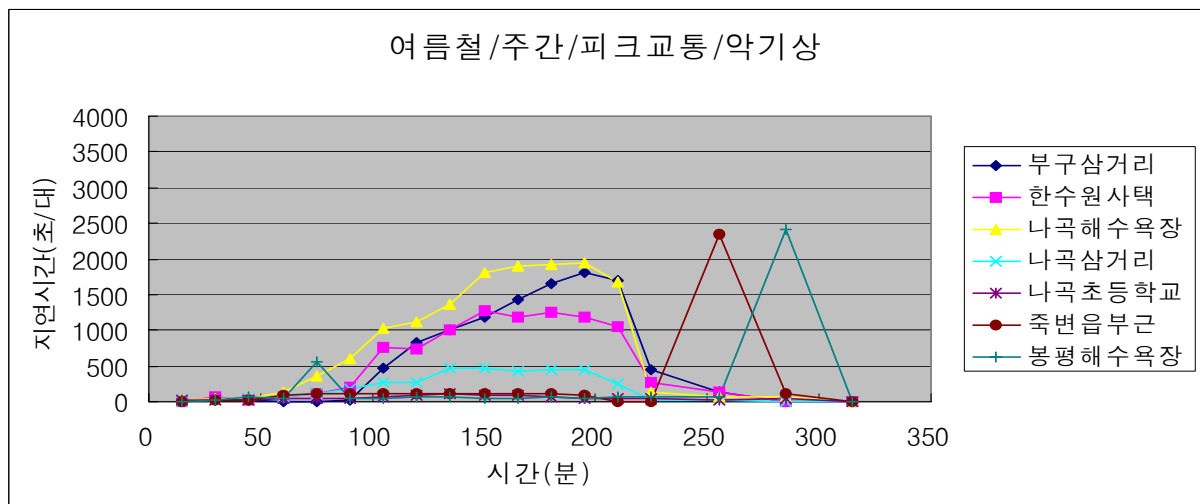
<그림 7> 비상계획구역내 전체차량에 대한 소개시간

### 3.2 주요 교차로에서의 차량 지연시간 분포

<그림 8~9>에 차량 정체가 거의 일어나지 않은 경우(낮/평상교통/평기상)와 정체가 가장 심하게 일어난 경우(낮/첨두교통/악기상)에 대해 주요 교차로에서의 1대당 차량 지연시간 분포를 제시하였다. 낮/첨두교통/악기상의 경우, 원전 북쪽에 위치한 교차로(부구삼거리, 한수원사택, 나곡해수욕장 등)에서는 약 1시간 후부터 도로가 포화되면서 지연시간이 20~30분 정도로 증가하기 시작하며, 도로로의 차량유입이 종료되는 1시간 30분 이후부터 급격히 지연시간이 감소한다. 그러나 남쪽에 위치한 교차로(죽변읍부근, 봉평해수욕장 부근)에서는 원활한 교통흐름이 지속되다가 2시간이 지난 시간대에 일시적으로 급격한 정체를 보이다가 다시 원활한 교통상태로 회복되는 모의결과를 나타내고 있는데 이는 포화된 직진차량으로 인한 우회전 차량의 지속적인 정체가 누적된 결과이다.



<그림 8> 비상계획구역내 주요 교차로에서의 낮/평상교통/평기상 상태에서의 차량 1대당 평균 지연시간

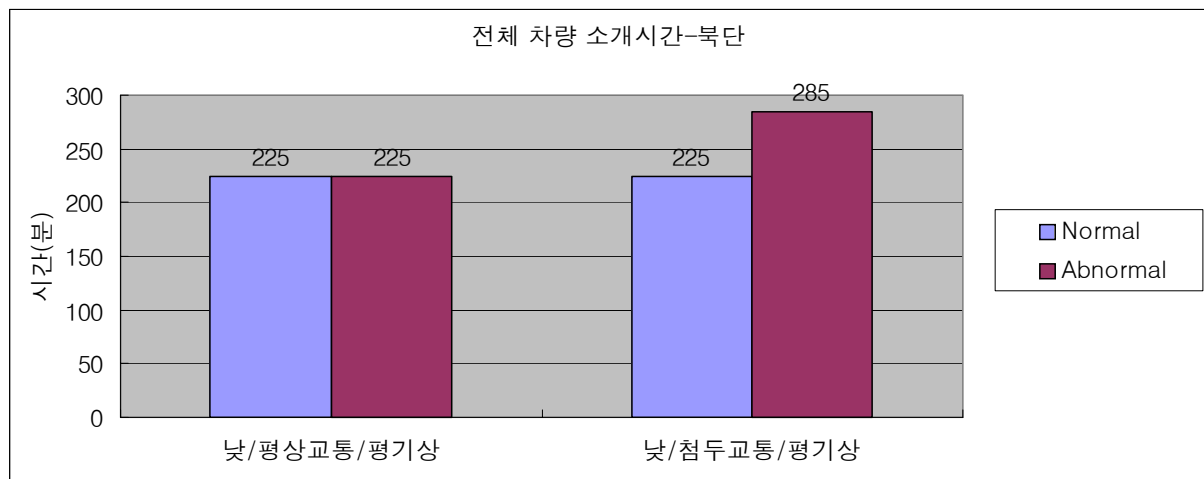


<그림 9> 비상계획구역내 주요 교차로에서의 낮/첨두교통/악기상 상태에서의 차량 1대당 평균 지연시간

### 3.3 일시적인 교통이벤트에 의한 영향 평가

주민소개시 예상치 못한 사고 등의 일시적인 교통이벤트에 의한 영향을 평가하기 위해 낮/평기상의 경우에 대해 평상교통과 첨두교통으로 나누어서 주민소개시간을 분석하였다 (<그림 10> 참조). 일시적인 교통이벤트는 소개결정후 1시간이 경과된 후에 나곡리 교차로 북쪽 링크에서 차량사고로 약 1시간정도 도로가 막히는 것으로 가정하였다. 도로가 포

화되지 않는 경우인 평상교통의 경우에는 사고로 인한 도로봉쇄가 해소되고 30분정도 경과후 바로 원활한 교통상태를 회복하는데 비해, 침두교통의 경우에는 1시간 정도 더 정체 현상이 지속되는 것으로 모의되었다. 따라서 이러한 경우에는 소개경로 분산을 위한 최적화 연구가 더 수행되어야 할 것으로 사료된다. 전체 차량에 대한 소개시간은 평상교통의 경우에는 사고 처리가 완료된 후 바로 원활한 교통상태가 회복됨으로써 전체 차량에 대한 소개시간은 정상적인 상태와 동일하게 나타났으나, 배경교통량이 침두상태인 경우에는 정체현상이 지속되어 전체 차량 소개시간도 약 1시간 정도 더 지연되는 것으로 모의되었다.



<그림 10> 일시적 교통이벤트 발생시 비상계획구역내 전체 차량에 대한 소개시간

#### 4. 결론 및 향후 계획

울진원전을 대상으로 주변의 지리적, 환경적, 사회적인 특성을 반영한 교통흐름 분석 등을 통해 실제 비상시에 예상되는 여러 가지 상황에 따른 주민소개시간을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 비상계획구역내 전 주민을 소개하는데 걸리는 시간은 전체적으로 225~315분 정도가 소요되며, 밤이 낮보다 약 15~30분 정도, 기상상태가 좋지 않을 경우가 최대 1시간 정도 더 소요되는 것으로 모의되었다. 평상교통의 경우에는 주/야간, 평/악기상 구분 없이 거의 비슷한 시간이 소요되며, 침두교통량의 경우에는 관광객이 도로로 유입되어 낮이 밤보다 더 장시간이 소요되는 것으로 나타났다.

- 2) 낮/첨두교통/악기상의 경우, 부구삼거리, 한수원사택, 나곡해수욕장 등에서는 약 1시간 후부터 지연시간이 20~30분 정도로 증가하기 시작하였으며, 죽변읍부근, 봉평해수욕장 부근에서는 2시간이 지난 시간대에 일시적으로 급격한 정체를 보였으나 다시 원활한 교통상태로 회복되는 모의결과를 나타내었다.
- 3) 일시적인 교통이벤트 경우, 평상교통에서는 사고로 인한 도로봉쇄가 해소되고 30분정도 경과후 바로 원활한 교통상태를 회복하는데 비해, 첨두교통은 1시간 정도 더 정체현상이 지속되어 전체 차량 소개시간도 약 1시간 정도 더 지연되는 것으로 모의되었다.

본 연구와 관련하여 봉평해수욕장 부근과 같이 주도로의 직진차량이 포화된 상태에서 우회전 차량이 합류할 경우에 우회전 차량은 계속 정체가 되는 현상이 발생하였다. 향후에는 이러한 현상을 완화하는 교차로 교통통제 최적화 연구를 수반할 계획이다.

## 감사의 글

본 논문은 과학기술부의 원자력 중장기사업 “방사선 비상시 주민소개시간 산정기술 개발”의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 한국수력원자력(주), 울진원전 방사선비상계획서, 2003
2. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants," U.S. NRC,NUREG-0654 Rev. 1, 1980
3. U.S. FHWA, "CORSIM User's Manual ; Version 5.0," Federal Highway Administration of U.S. Department of Transportation, 2001
4. 이재기, 전인영, “울진원전 방사선비상계획구역에 대한 소개시간 예측,” 대한 방사선방어학회지 제27권 제3호, p189-198, 2002