

# 원전과 직업환경보건

- 원전주변 지역주민 및 원전종사자  
건강문제를 중심으로 -

**2012년 5월 11일**

**한림대학교성심병원 주영수**

\* 공동연구자: 김정민, 하미나, 황승식, 김명희, 김익중, 백도명

# 우리나라 원전 위치 및 최초 상업운전일



- 고리 원전 : 1978년 4월 29일
- 월성 원전 : 1983년 4월 22일
- 영광 원전 : 1986년 8월 25일
- 울진 원전 : 1988년 9월 10일

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 종사자 -

- 종사자 코호트는 1992년부터 2005년까지 구축되었고, 암 발생자 확인을 위한 추적조사를 수행하여 2008년 12월 현재까지의 암 발생자를 확인함.
- 총 누적 관찰기간은 종사자 8,671명으로 88,960.9인·년, 대조군 9,030명으로 82,279.9인·년이었고, 전체 암 발생자 448명 중 원전종사자에서 186명 (남: 184명, 여: 2명), 대조군에서 262명(남: 228명, 여: 34명)의 암 발생이 관찰됨.
- 연구에 포함된 원전종사자의 수가 적고 추적기간이 충분하지 않아, 암 발생위험도 분석과 선량-반응관계 분석은 하지 않음.
- \* 참고로, 국제암연구기구(IARC)가 1993년부터 수행하고 있는, ‘원자력 산업 종사자의 암 발병 위험도 평가 연구(International collaborative study of cancer risk among radiation workers)’에, 본 연구가 2000년 9월부터 정식으로 참여함.

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 종사자 -

- 2007-2010년까지 4년간, 고리, 영광, 월성, 울진 등 4개 원자력 발전소 방사선 작업 종사자 중, 누적 방사선 피폭량이 100mSv 이상이거나 최근 방사선 피폭량이 높은 종사자 201명과 방사선 노출이 없는 건강한 성인 59명을 선정하여 염색체 이상 검사를 수행함.
- 염색체형 교환의 빈도는, 원전 종사자에서 500개 세포당 0.94로 대조군의 0.14보다 유의하게 증가하였으며, 염색체형 결실의 빈도도 원전 종사자에서 500개 세포당 2.02로 대조군의 0.41보다 높았음.
- 또한, 총 염색체이상 빈도에서도 원전 종사자에서 500개 세포당 8.42 로 대조군의 4.22보다 더 높게 나타남. 통계적인 유의성 검정에 있어서도 염색분체형 염색체이상을 제외한, 모든 종류의 염색체이상빈도에서 통계적으로 유의함을 보였음.

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 종사자 -

- 최근 1.5년간 방사선 선량을, 5mSv이하, 5mSv, 10mSv, 15mSv초과로 구분하였을 때, 염색체형 이상이 각각  $2.65 \pm 0.25$ ,  $2.64 \pm 0.25$ ,  $3.51 \pm 0.46$  그리고  $3.46 \pm 0.34$ 로 증가하는 경향을 보였음.
- 개인별 방사선 선량과 염색체이상과의 연관성을 확인한 결과, 대조군을 포함한 연구 대상자 전체를 대상으로 하였을 때, 최근 1.5년 방사선 선량과 총 염색체이상 빈도 ( $r=0.33$ ,  $p<0.001$ ) 및 염색체형 염색체이상 ( $r=0.35$ ,  $p<0.001$ )과 유의한 상관관계를 보였음.
- 또한 원전 종사자만을 대상으로 분석하였을 경우에도, 최근 1.5년 방사선 선량과 총 염색체이상 빈도( $r=0.15$ ,  $p=0.04$ ) 및 염색체형 염색체 이상빈도( $r=0.17$ ,  $p=0.01$ )와 연관성을 확인할 수 있었음.

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 종사자 -

표 3-7-14 원전 종사자에 있어서의 포아슨 회귀분석을 이용한  
염색체이상빈도와 관련변수들의 연관성 분석

Outcome	Variable	$\beta$ coefficient	95% Confidence Limits	P-value
Chromosome type aberration	Age	-0.0020	-0.0202, 0.0162	0.8311
	Smoking	0.0896	-0.1241, 0.3033	0.4113
	Alcohol	-0.0204	-0.2715, 0.2307	0.8736
	Recent 1.5-yr Dose(mSV)	0.0165	0.0014, 0.0316	0.0323
Total chromosome aberration	Age	-0.0117	-0.0224, -0.0009	0.0339
	Smoking	0.0516	-0.0741, 0.1773	0.4211
	Alcohol	-0.0013	-0.1490, 0.1465	0.9865
	Recent 1.5-yr Dose(mSV)	0.0042	-0.0046, 0.0132	0.3590

표 3-7-13 전체 연구대상자에 있어서의 포아슨 회귀분석을 이용한  
염색체이상빈도와 관련변수들과의 연관성 분석

Outcome	Variable	$\beta$ coefficient	95% Confidence Limits	P-value
Chromosome type aberration	Age	0.0124	-0.0027, 0.0276	0.1079
	Smoking	0.0322	-0.1883, 0.2527	0.7747
	Alcohol	0.0995	-0.1564, 0.3554	0.4456
	Recent 1.5-yr Dose(mSV)	0.0455	0.0309, 0.0602	<.0001
Total chromosome aberration	Age	0.0052	-0.0033, 0.0136	0.2285
	Smoking	-0.0011	-0.1276, 0.1253	0.9856
	Alcohol	0.1111	-0.0351, 0.2573	0.1365
	Recent 1.5-yr Dose(mSV)	0.0237	0.0152, 0.0321	<.0001

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 지역 주민 -

- 원전 가동으로 인한 원전 주변지역 주민의 암 발병위험도를 역학적으로 평가할 목적으로, 1991년 12월부터 2011년 2월까지 전향적 코호트 연구를 수행함.
- 최종적으로 구축된 연구 코호트는 원전 주변지역 11,367명(남: 4,491명, 여: 6,876명)과 대조지역 24,809명(남: 10,503명, 여: 14,306명), 총계 36,176명임.
- 입적부터 2008년까지 발생한 암을 확인하는 추구관찰 조사를 통하여 원전 주변지역 코호트에서 705명(남: 393명, 여: 312명)과 대조지역 코호트에서 1,593명(남: 941명, 여: 652명), 총계 2,298명의 암 발생을 확인함.
- 암 발병을 확인하기 위해 추구 관찰한 총 기간은 303,542인 · 년 (원전 주변지역 101,183인 · 년, 대조지역 202,359인 · 년)

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 지역 주민 -

표 3-6-1 지역주민 코호트 연구 실적 총괄

지역	기준	코호트 수	총 관찰기간	암 발생자 확인 수	
		(남/여)	(인·년, 남/여)	‘모든 부위’	‘방사선 관련’
주변지역	반경 5Km이내	11,367	101,183	705	430
		(4,491/6,876)	(43,485/57,698)	(393/312)	(251/179)
대조지역(계)	5Km 이외	24,809	202,359	1,593	947
		(10,503/14,306)	(86,122/116,237)	(941/652)	(581/366)
근거리 대조	5-30Km	10,323	88,707	721	422
		(4,443/5,880)	(40,186/48,521)	(421/300)	(250/172)
원거리 대조	양평, 함안, 충주	14,486	113,652	872	525
		(6,060/8,426)	(45,936/67,716)	(520/352)	(331/194)
총 계		36,176	303,542	2,298	1,377
		(14,494/21/182)	(129,607/173,935)	(1,334/964)	(832/545)



# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 지역 주민 -

표 3-6-2 주변지역의 암 발병 상대위험도<sup>#</sup>

암 부위	성별	*암 발생률/100,000		주변지역의 암 발병 상대위험도(95% CI)
		주변지역	대조지역	
모든 부위	남자	564.7	544.1	1.11(0.91-1.36)
	여자	306.5	281.0	1.23(0.94-1.60)
방사선 관련	남자	363.0	347.4	1.19(0.92-1.54)
	여자	190.5	161.9	1.12(0.78-1.61)

# 연령 및 기타 공변수 영향을 통제 한 adjusted hazard ratio  
\* 세계인구 연령표준화율

- \* 방사선관련암 : 위암(C16),간암(C22),폐암(C33-34),골암(C40-41),유방암(C50),갑상선암(C73),다발성골수종(C90),림프성백혈병(C91),골수성백혈병(C92-94),상세불명 백혈병(C95)
- \* 암발병/진단 확인조사는, 3가지 방법(수진의료기관 의무기록 확인, 암등록 자료 조회, 사망원인 자료 조회)을 이용하여 수행함.

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’

서울대학교 의학연구원 원자력영향 · 역학연구소 (안윤옥 등, 2011.2)

## - 지역 주민 -

이상의 연구수행 실적과 분석결과를 근거로 다음과 같은 최종 결론을 얻었다.

1. 원전 주변지역의 ‘모든 부위 암’ 발병 위험도는 대조지역에 비하여 남, 여 모두에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다.
2. 원전 주변지역의 ‘방사선 관련 암’ 발병 위험도도 대조지역에 비하여 남, 여 모두에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.
3. 원전 방사선과 주변지역 주민의 암 발병 위험도간에 인과적인 관련이 있음을 시사하는 증거는 찾을 수 없었다.

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’ 문제점 (1)

표 3-4-31 지역별 방사선 관련 암 발생률 및 상대위험도(여자)

암 부위	지표	주변지역	대조지역	
			근거리	원거리
방사선 관련 암(전체)	발생률*	190.5	182.3	147.0
	상대위험도	1.2(0.77-1.74)	1.1(0.69-1.68)	1.0
위암	발생률*	50.1	59.4	44.9
	상대위험도	1.2(0.83-1.68)	1.3(0.89-1.79)	1.0
폐암	발생률*	13.5	26.8	20.1
	상대위험도	0.8(0.38-1.74)	1.4(0.64-2.83)	1.0
유방암	발생률*	45.2	30.6	29.2
	상대위험도	1.5(0.90-2.60)	1.1(0.60-1.99)	1.0
갑상선암	발생률*	61.4	43.6	26.6
	상대위험도	2.5(1.43-4.38)	1.8(0.98-3.24)	1.0

\* 세계인구 연령표준화 발생률임

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’ 문제점 (1)

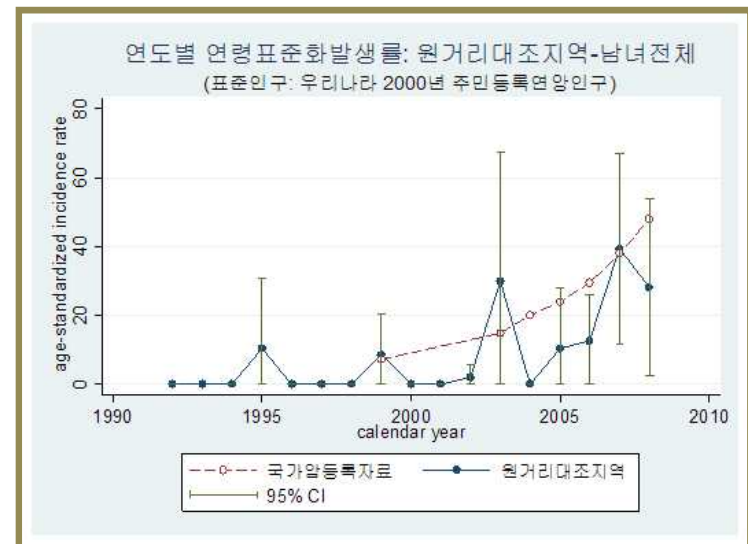
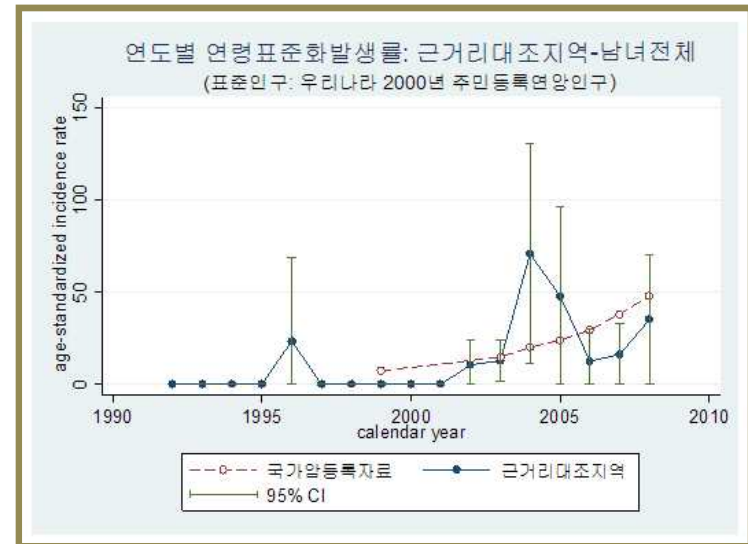
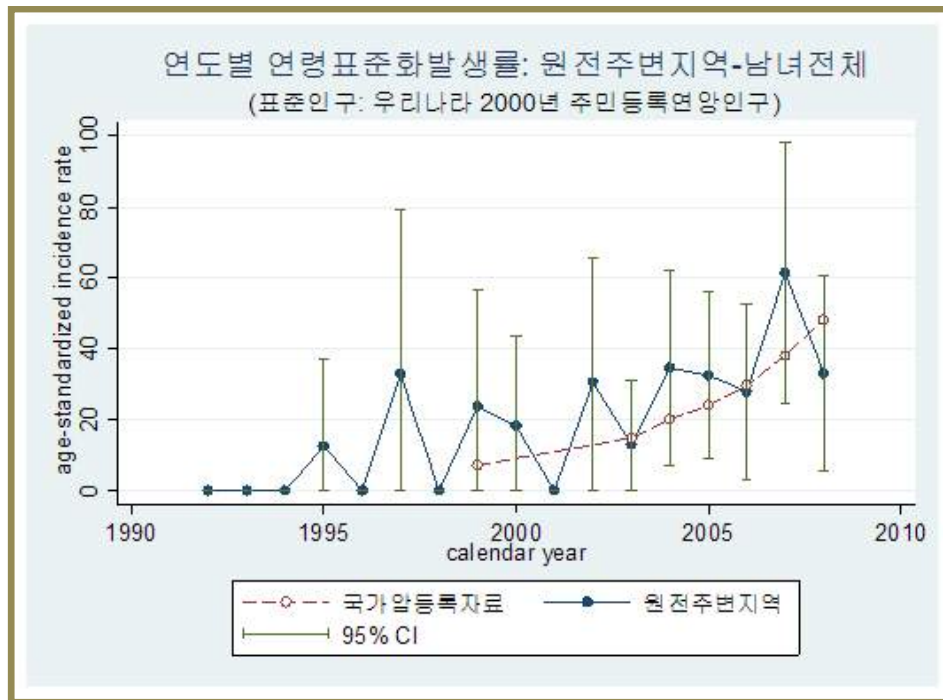
표3-4-30에서와 같이 남자의 경우 주요 방사선 관련 부위 암(위암, 간암, 폐암)의 발병 상대위험도는 원거리 대조지역 → 근거리 대조지역 → 주변지역으로 이동하면서 일정한 공통된 경향이나 통계적으로 유의한 경향 등을 보이지 않았다. 특히 폐암의 지역에 따른 발병 상대위험도가 위암, 간암, 그리고 전체 방사선 관련 암의 경향과 달랐다. 여자의 경우 통계적으로 유의한 경향을 보인 것은 갑상선암이었고 다른 부위 암은 유의한 경향을 보이지 않았다(표3-4-31 참조). 그러나 갑상선암의 발병위험도 경향은 위암 및 폐암의 그것과 달랐으며, 남자에서의 경향과도 달랐다. 주변지역에서 원전 방사선이 암 발병 위험인자로 영향을 미쳤다면, 남녀 모든 부위에서 공통되는 일관된 경향이 관찰되어야 할 것이다. 예를 들어 방사선 관련 암의 모든 부위별 발병 위험도가 남녀 모두 주변지역에서 높은 일관된 경향을 보이는 것이다.

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’ 문제점 (1)

## ● Detection Bias ?

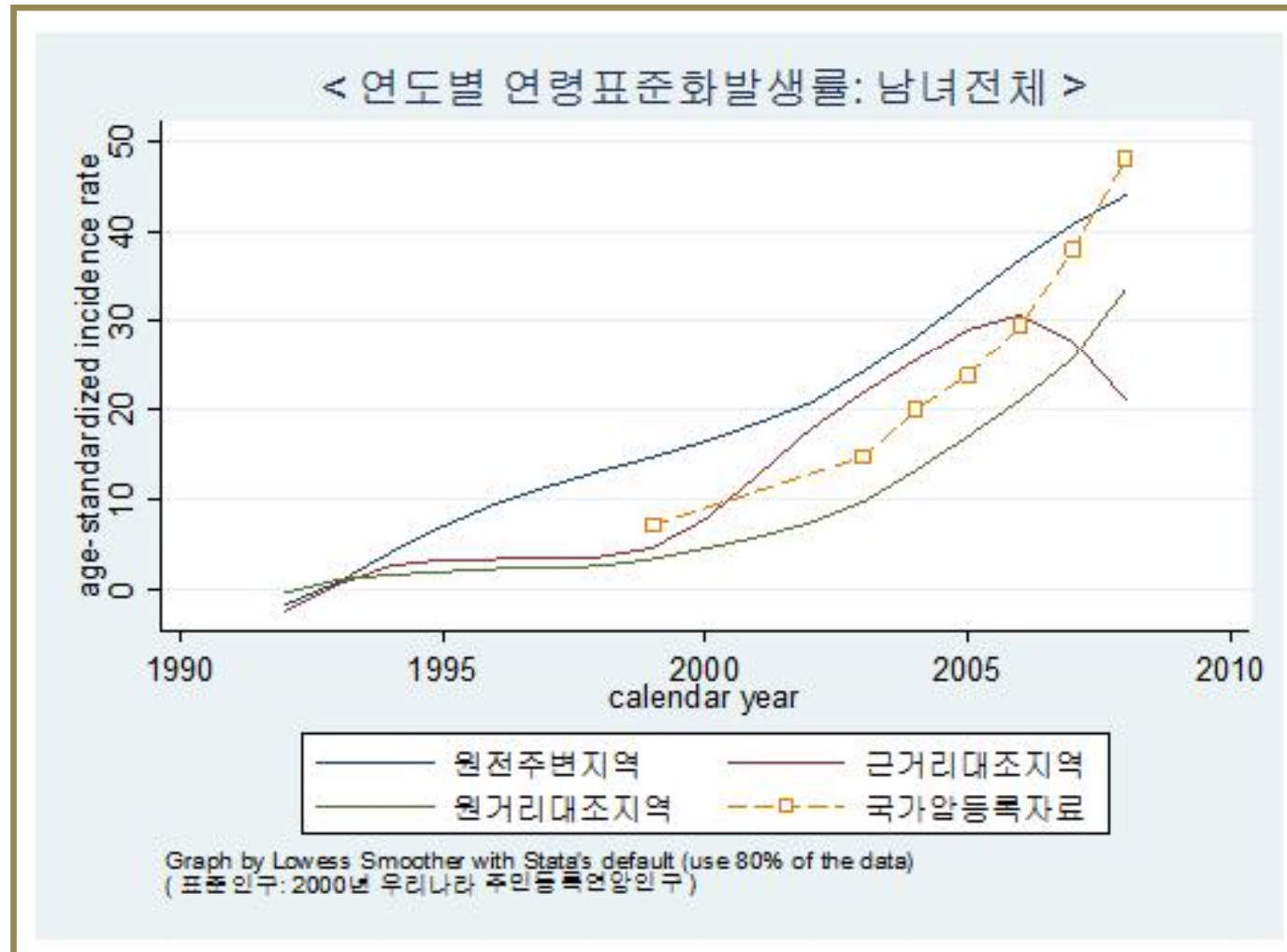
- 기반(Baseline)조사 : 설문조사, 신체검사, 일반임상검사(CBC, U/A, 일반화학검사), 특수임상검사(특수화학검사), 종양표지자 검사 등(THS, T4, AFP, CEA, CA19-9, CA125, SCC, PSA)
  - \* 암 확진검사(초음파, CT, MRI 등)는, 앞의 검사결과 종양의심자에게만 시행(주변지역과 대조지역 코호트에 동일하게 적용...)
  - \* 20년간 제출된 보고서들을 확인해 본 결과, 주변지역과 대조지역 기반조사 결과상 특별한 조치를 차별적으로 취할 만한 수준의 차이점들은 없었음. 또한 실제로도 암 확진검사를 거의 시행하지 않았던 것으로 보임 (보고서들에 해당내용이 없음).
- 의료이용특성을 보면, 오히려 주변지역 코호트의 의료이용수준이 낮은 것으로 보임.
- 암 추적조사는, 전체코호트 중 암발생의심자에 한하여 현지직접 조사와 의료(이용)자료들을 이용한 추적조사 방식으로 수행함.

# 원전코호트 갑상선암 연령표준화발생률 (전체)



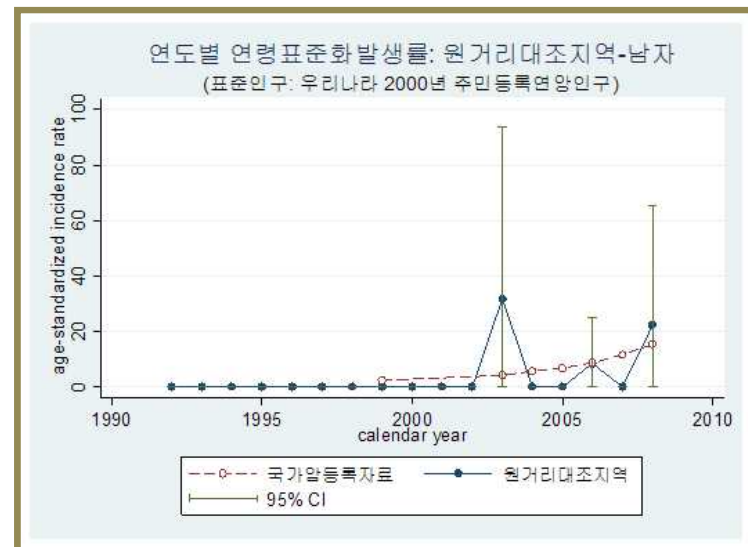
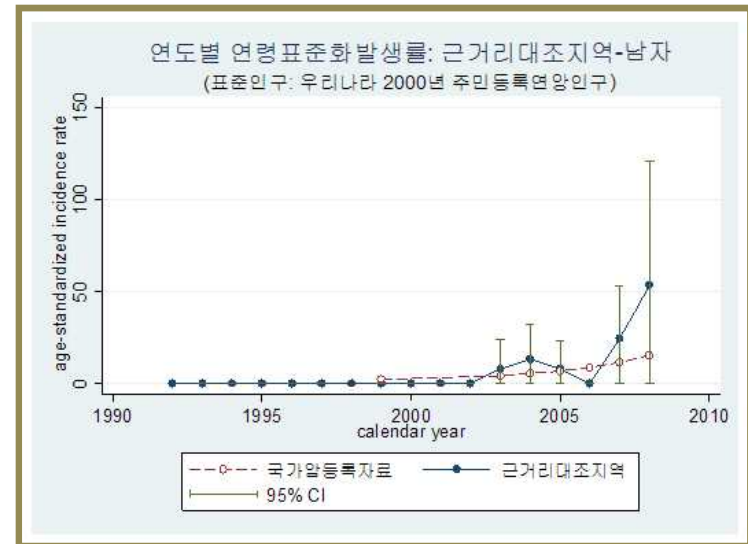
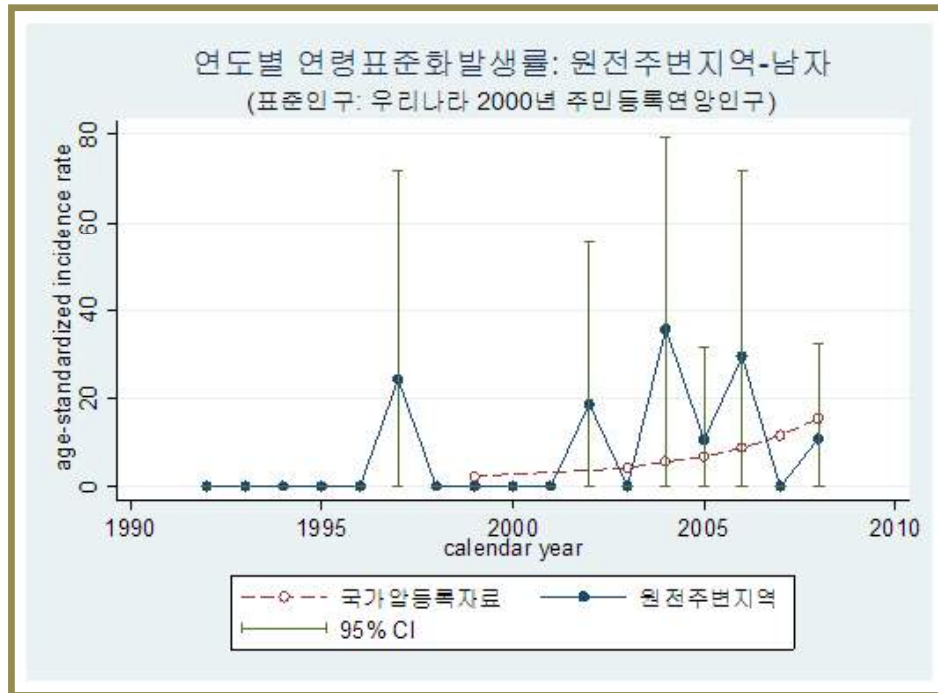
# 원전코호트 갑상선암 연령표준화발생률 (전체)

## - Lowess Smoothing -





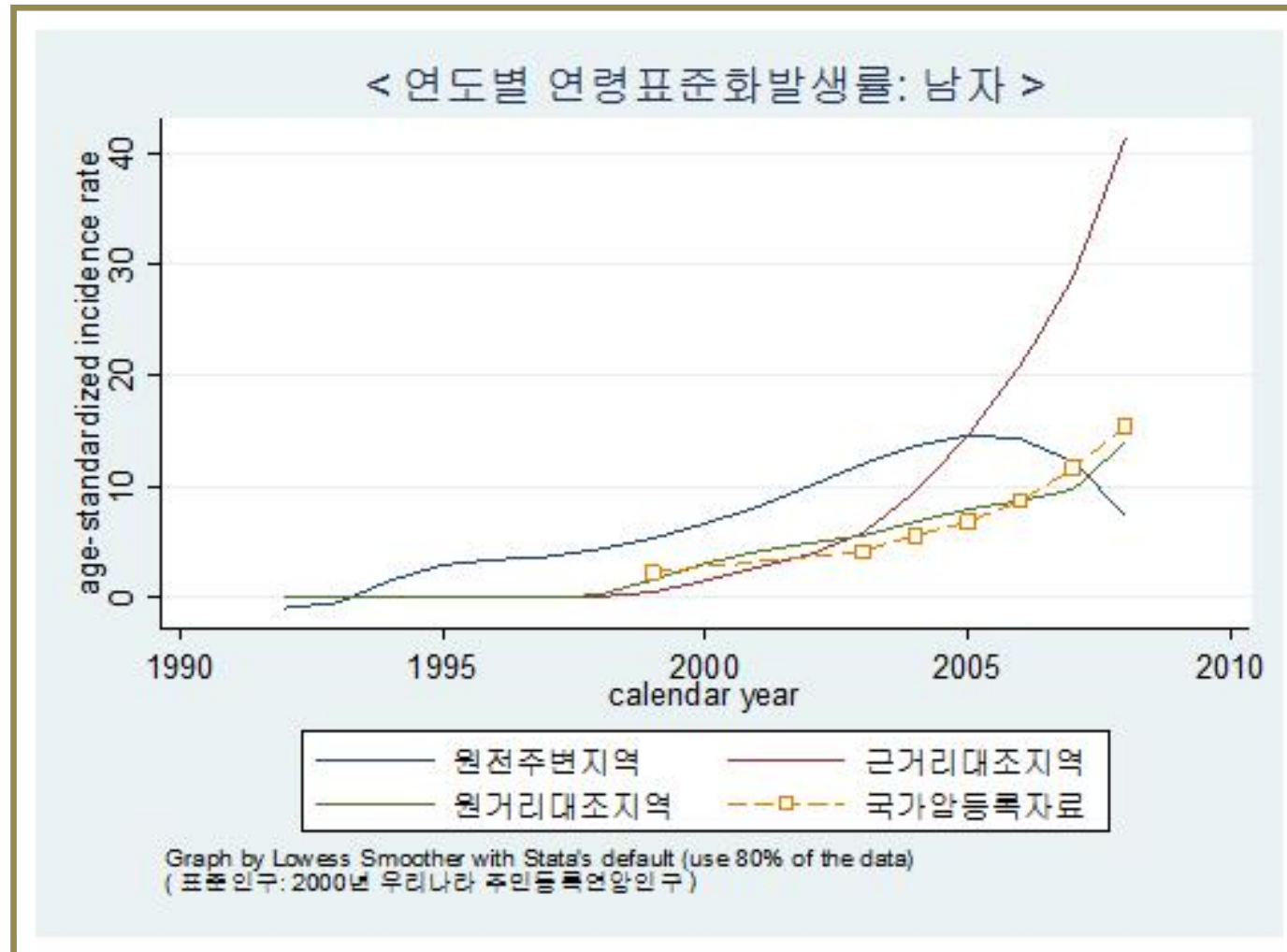
# 원전코호트 갑상선암 연령표준화발생률 (남자)



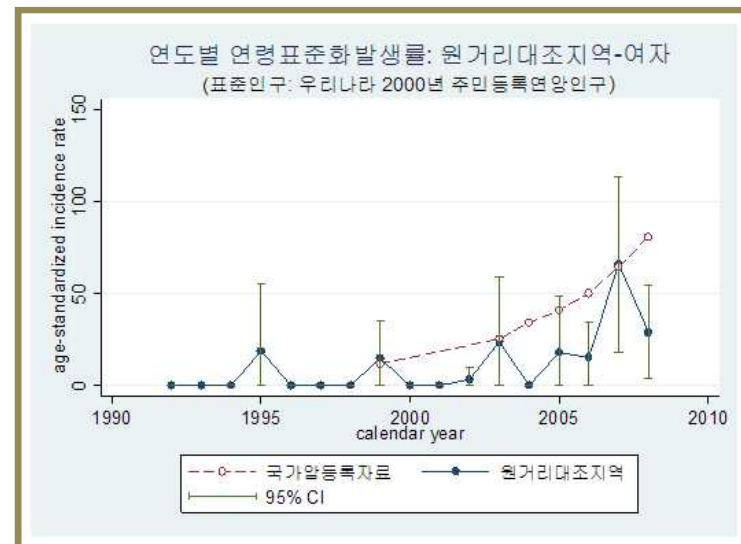
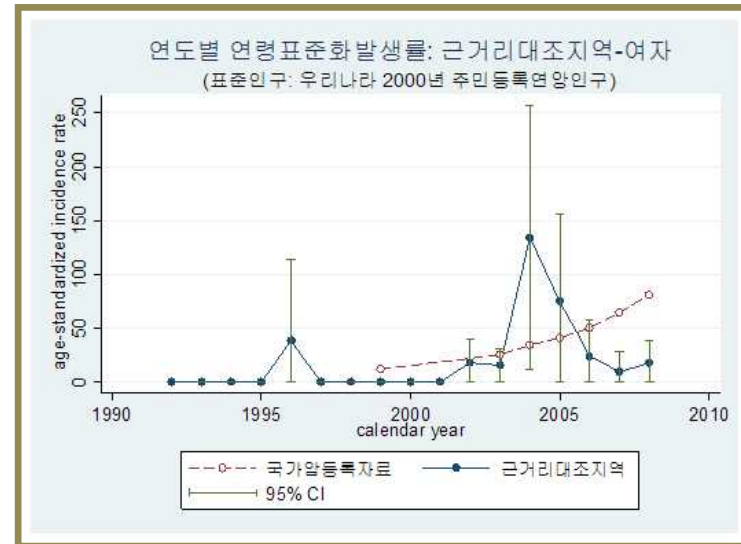
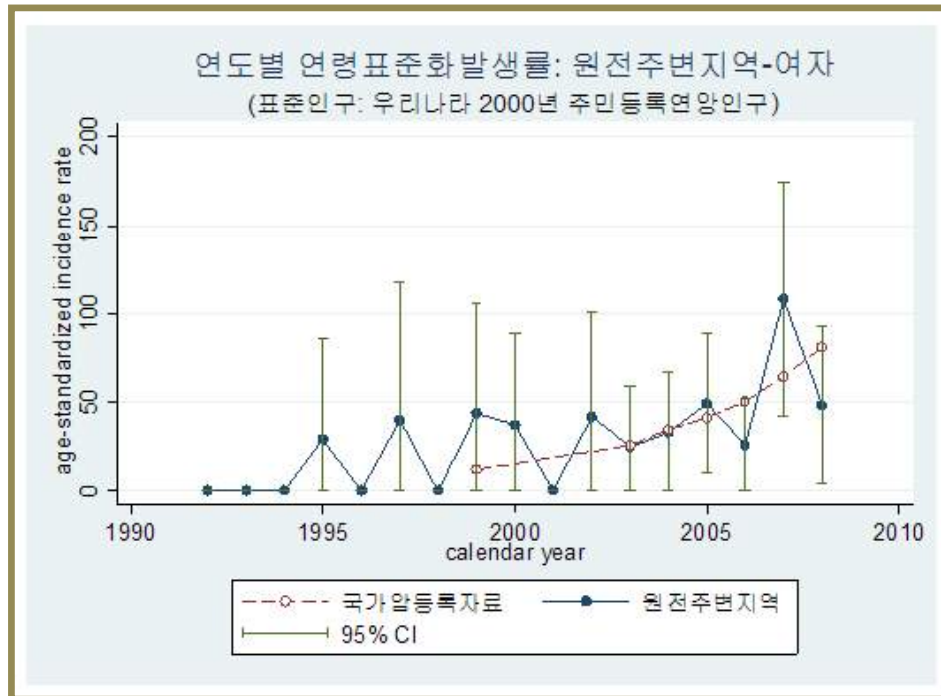


# 원전코호트 갑상선암 연령표준화발생률 (남자)

## - Lowess Smoothing -

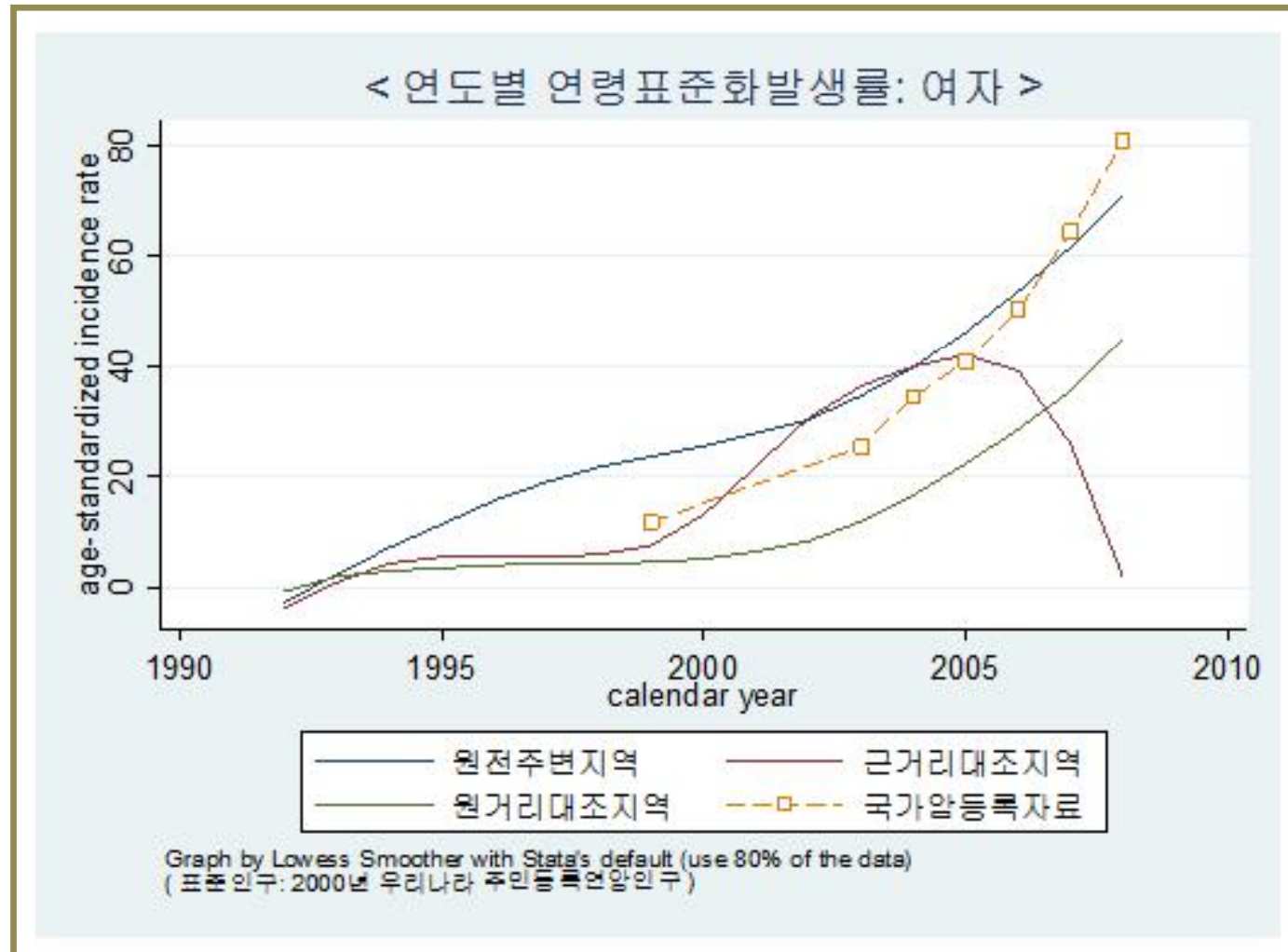


# 원전코호트 갑상선암 연령표준화발생률 (여자)



# 원전코호트 갑상선암 연령표준화발생률 (여자)

## - Lowess Smoothing -



# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’ 문제점 (2)

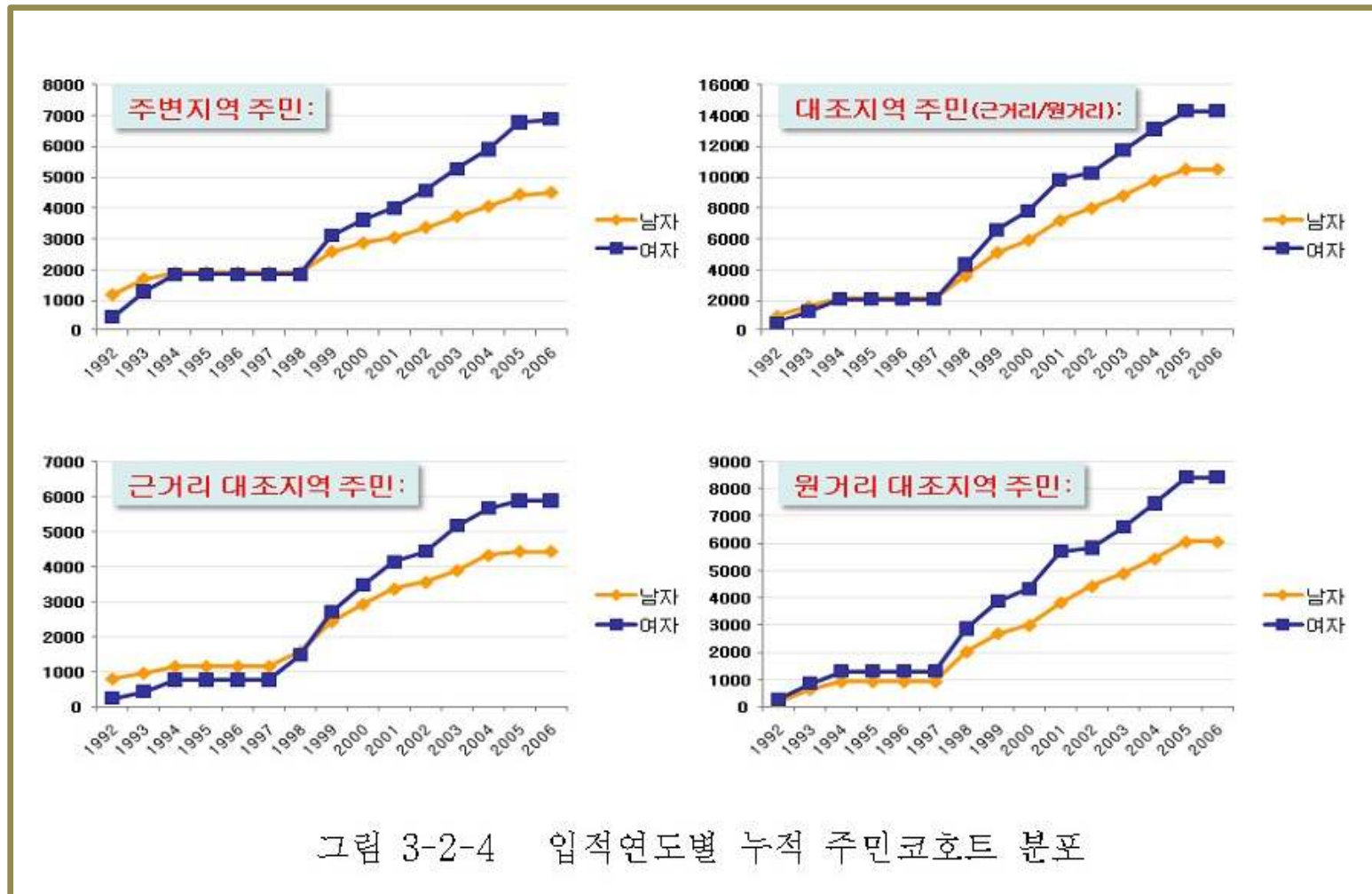
표 3-2-5 입적연도별, 지역별, 성별 주민코호트 분포

입적연도	지역	주변지역(남/여)	대조 지역(남/여)		
			계	근거리 지역	원거리 지역
1992		1,652(1,195/457)	1,552(1,017/535)	1,065(819/246)	487(198/289)
1993		1,350(511/839)	1,389(615/774)	361(161/200)	1,028(454/574)
1994		767(215/552)	1,250(476/774)	519(192/327)	731(284/447)
1998		-	3,781(1,515/2,266)	1,126(425/701)	2,655(1,090/1,565)
1999		1,919(660/1,259)	3,758(1,554/2,238)	2,080(846/1,234)	1,678(674/1,004)
2000		800(281/519)	2,024(794/1,222)	1,266(497/769)	758(297/461)
2001		537(169/368)	3,286(1,264/2,022)	1,091(431/660)	2,195(833/1,362)
2002		912(335/577)	1,229(790/439)	497(191/306)	732(599/133)
2003		1,062(355/707)	2,275(804/1,471)	1,060(341/719)	1,215(463/752)
2004		939(320/619)	2,352(972/1,380)	926(427/499)	1,426(545/881)
2005		1,266(389/877)	1,913(736/1,177)	332(113/219)	1,581(623/958)
2006		163(61/102)	-	-	-
계		11,367(4,491/6,878)	24,809(10,503/14,306)	10,323(4,443/5,880)	14,486(6,060/8,426)

\* 입적연도는 기반조사가 시행되어 코호트로 입적된 연도로 코호트 관찰이 시작하는 시점임.

\*\* 입적 후 1년경과 시점까지 코호트 추구관찰이 시행되었을 때 입적연도가 최종 확정 됨.

# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’ 문제점 (2)



# ‘원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구’ 문제점 (2)

## 나. 연구대상 코호트 구축

### (1) 입적 기준

지역주민 연구대상 코호트는 주변지역, 근거리 대조지역, 그리고 원거리 대조지역 주민코호트로 구성되며 기반조사에서 아래의 조건을 충족한 경우에 연구대상 코호트로 입적하였다.

(가) 신체검사 및 역학조사 등의 기반조사를 받은 자

- 2회 이상 중복 피검자는 첫 번째 조사 결과만을 반영 함.

(나) 만 20세 이상인 자

(다) 암 질환 유병/기왕력 없는 자

(라) 역학 설문 면접조사에서 충실한 응답을 한 자

(마) 연구대상 코호트로 입적된 이후 최소 1년 추구관찰이 시행된 자

# 원전 종사자 코호트 연구방향

- 원전종사자 코호트 연구
  - 최근의 노출량(1.5년 방사선량)과 염색체 이상과의  
관련성은 확인됨
  - 노출평가 및 노출저감을 위한 개선방안 마련 필요
  - 중장기적으로, 염색체(유전자) 손상에 따른  
발암가능성에 주목하여, 2차 예방 방안 모색



# 원전 지역주민 코호트 연구방향

- 여성 갑상선암 문제
  - 여성 갑상선암 발생률과 상대위험도에 대한 적극적인 해석 필요 : 통계적 유의성에 대해 주목
  - 원인적 연관성 탐색 : Risk Factors 에 대한 조사
- 원전 주변지역 코호트 연구
  - 원전 주변지역 코호트 내에서, 거주기간이나 원전에서 거주지까지의 거리를 계산하여(주소 이용), 노출지표로 활용 · 분석



# 원전 지역주민 코호트 연구방향

- **고리, 월성, 영광, 울진 지역별 코호트 연구**
  - 지역적 노출특성(노출기간, 노출방식 등)을 고려한 지역간 비교, 혹은 하위그룹(sub-groups) 분석연구 시행
- **다양한 역학적 연구방법론 도입**
  - Nested Case-Control Study,
  - 시·공간분석(Time-Spatial Analysis) 등, 다양한 추가적 역학연구 방법론 모색

## 참고자료

- 서울대학교병원 원전 종사자 및 주변 주민에 대한 역학조사단. 원전 종사자 및 주변 주민에 대한 역학조사. 1992~1995
- 서울대학교 의학연구원 원전역학조사단. 원전 역학조사의 중장기 추진과 방사선 영향의 학술적 연구. 1998~2000
- 서울대학교 의학연구원 원자력영향·역학연구소. 원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구. 2003.3~2006.2
- 서울대학교 의학연구원 원자력영향·역학연구소. 원전 종사자 및 주변지역 주민 역학조사 연구. 2007.3~2011.2
- Cleveland WS, Devlin SJ. Robust locally-weighted regression and smoothing scatterplots. J Am Stat Assoc 1979;74:829-836.

**감사합니다.**