

원자력학회 '18 추계학술발표회 워크숍

ICRP-103 기반 방사성유출물에 의한 주민선량평가프로그램 개발



2018. 10. 24, 여수
한국원자력연구원
황 원 태



한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

- 국내외현황
- 개발배경
- 코드개발
- 요약 및 향후과제



- **국내환경에 적합한 주민선량평가코드 최초 개발 ('89)**
 - U.S. NRC 모델 및 코드 (XOQDOQ GASPAR, LIQTAP) 기반
 - KAERI : XQDQWQ, KINS : GASDOS, LIQDOS
 - 최대피폭개인 (Max. Exposed Individual) 개념
- **'98년 ICRP-60 (1991) 방사선방호량의 국내 법제화**
 - 방사선방호량 변화 (전신선량→유효선량, 선량당량→등가선량)
 - 기관별 코드 개선 (선량계수 등)
 - INDAC, KDOSE-60, TEDII-60, ENDOS 등
- **'00대 이후 원자력관련 신규시설운영 및 자체코드개발**
 - 중저준위 방사성폐기물처분시설, 핵연료가공시설 등
- **국내 실험자료 및 국외 신모델/신자료 제공에도 불구하고 '89년 적용 모델/자료 대부분 그대로 유지**

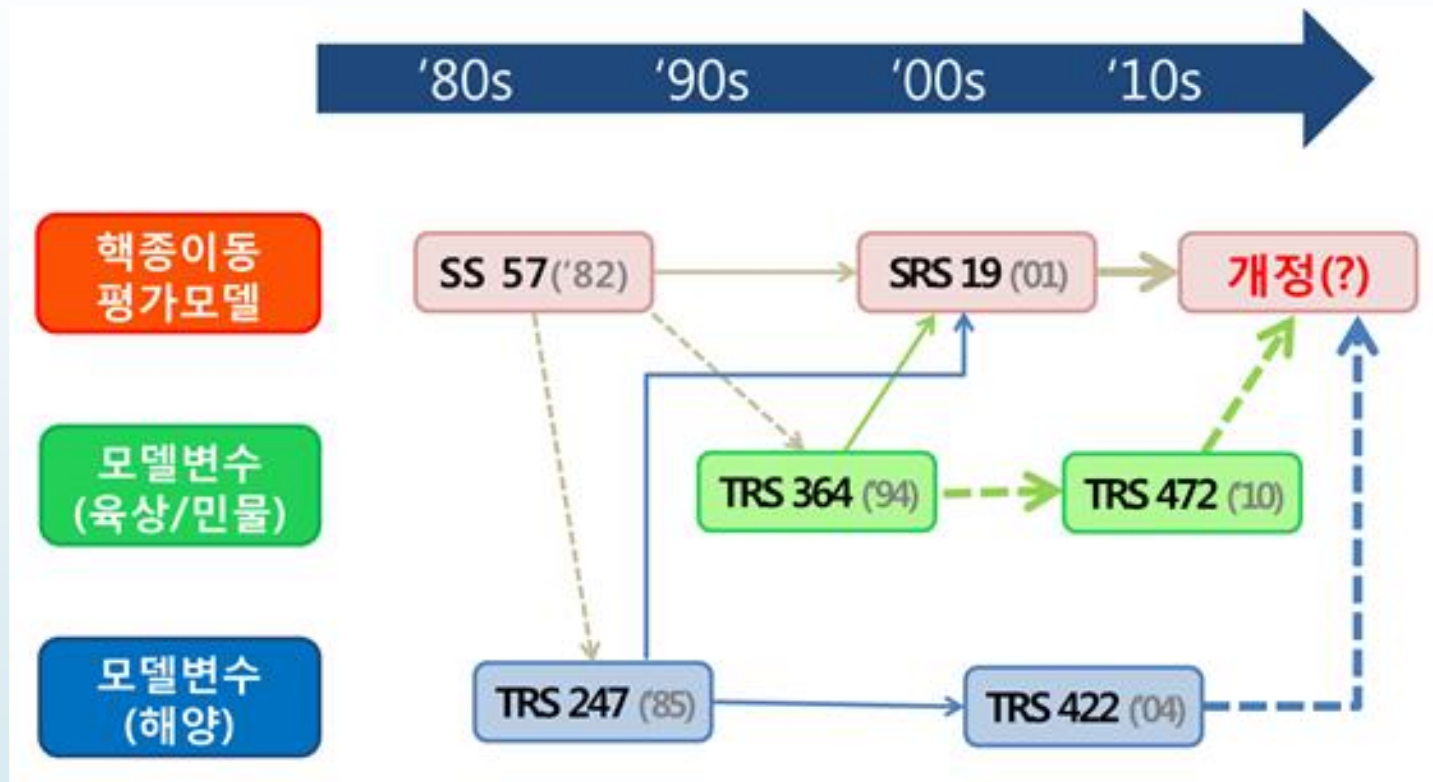
● ICRP 1990년 권고 (ICRP-60, 1991) 발간

- 유효선량당량 → 유효선량, 선량당량 → 등가선량
- 선량한도 : 5mSv/yr → 1mSv/yr (유효선량)
- 신방사선방호량에 기반한 선량계수 제공 (6개 연령군)

● ICRP 2007년 권고 (ICRP-103, 2007) 발간

- 결정집단(critical group) → 대표인(representative person)
- 연령군 세분화 : 6개 → 3개 그룹
- 환경 (야생동식물) 방호를 위한 평가 권고
- 선량계수는 출판되지 않음

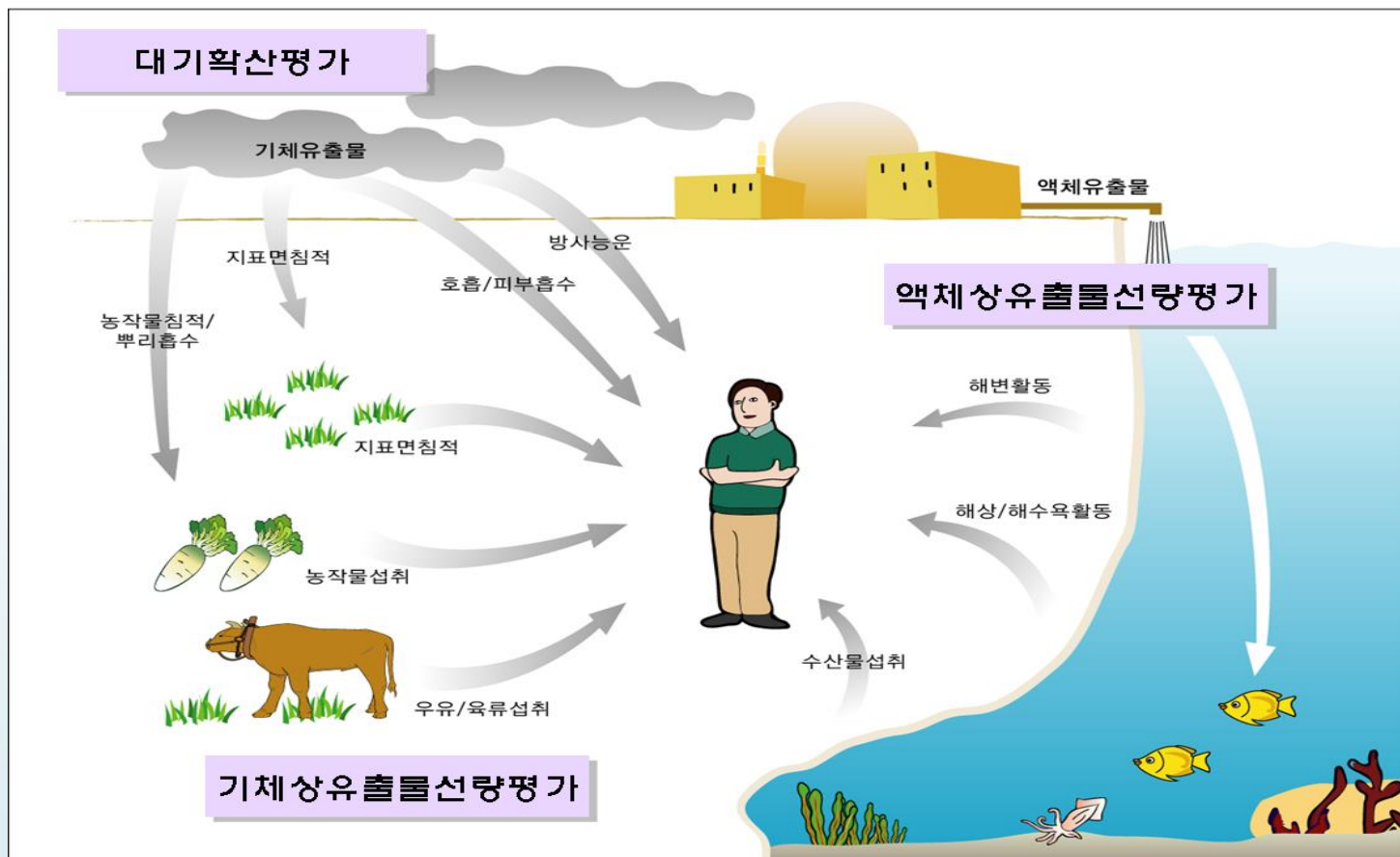
● 신평가모델 및 신자료 지속적 제공



- 그동안 국내는 방사선 사고에 대비한 R&D 집중
- 4차 원연사과제 ('12~'16) 기획
 - ICRP-103 신권고 및 IAEA 신모델/신자료 기반
 - 기체상유출물에 의한 주민선량평가 모델 (3년)
 - 액체상방류물에 의한 주민선량평가 모델 (2년)(야생동식물 선량평가코드개발은 별도 세부과제 기획)
- 국내현안 및 사회적분위기
 - '10년 말 월성1호기 계속운전관련 현안 (사고평가모델)
 - '11년 3월 후쿠시마 원전사고
- 4차 원연사 과제 보완
 - 경/중수로 통합 사고결말평가모델 (ACCESS ; 3년)
 - ICRP 신권고 기반 기체상유출물 주민선량평가모델 (2년)



코드개발 - 피폭경로



환경매질의 극히 낮은 농도로 측정 불가, 개인의 생활습성의 불확실성 등
 → 모델을 사용한 극히 보수적 예측



	최대피폭개인 (NRC)	대표인 (ICRP-103)
정의	<ul style="list-style-type: none"> 집단의 평균 피폭값으로부터 합리적인 편차의 피폭값을 나타내는 생활습성을 갖는 개인 	<ul style="list-style-type: none"> 집단에서 보다 높게 피폭을 받는 사람을 대표하는 개인 ※ 정량적으로 집단의 95th%
적용	<ul style="list-style-type: none"> 연령군/피폭경로에 대해 최대 피폭을 갖도록 변수값 (섭취량 등) 선택 개별 피폭경로에 대한 선량을 단순 합산 → 극단적 보수성 	<ul style="list-style-type: none"> 연령군에 대해 균질성을 갖는 소수집단의 평균습성에 대한 변수값 선택 ※ 정량적으로 연령군으로 세분화한 집단의 95th% (국가통계자료) 반복적 최대선량의 단순합산으로 인한 극단적 과대평가 지양
적용 예시	<ul style="list-style-type: none"> 미국의 경우 습성인자가 각 연령군에 대해 최대값과 평균값으로 구분 <ul style="list-style-type: none"> - 섭취량, 수확-소비 지연시간, 차폐인자 최대값은 최대개인선량, 평균값은 집단선량 평가에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 영국의 경우 개인선량과 집단선량에 동일한 습성인자 값 적용 연령군별 식품섭취량은 Top-Two 식품에 대해 97th%, 나머지는 평균값 기타 습성인자는 평균값 적용
기타	<ul style="list-style-type: none"> 개인별 생리대사 차이는 고려치 않고 평균치 적용 (예 : 호흡률, 선량계수) 	



● 사회/환경자료 개선

➤ 3개 연령군 식품섭취량 (95th % 및 평균)

- 국가통계자료 ('11년) 및 통계분석 S/W 활용
- 소아(0-5세), 아동(6-15세), 성인(16-70세)의 대표연령으로 1세, 10세, 17세 섭취량 통계분석
- 95th % 값은 최대개인선량, 평균값은 집단선량 평가에 적용

➤ 잎 차단계수, 뿌리흡수인자, 잎 흡수인자

- IAEA TRS-472, 국내 온실실험자료 등

➤ 3개 연령군별 호흡량

- ICRP 신권고자료 (ICRP-101)

➤ 가옥 차폐인자 (거주시간 반영)

- MCNP 코드 이용 국내 대표가옥 차폐인자 평가
- 오염공기 및 지표침적 가옥 차폐인자 별도 도출
- 국내통계자료 연령군별 거주시간 (최대 및 평균) 조사
- 최대개인선량 및 집단선량 평가를 인자 값 도출



● 모델개선

➤ 입 흡수인자 별도 반영

- IAEA TRS-472 및 국내 온실실험자료 활용
- 입자상핵종과 구분하여 요오드 및 흡수특성 반영

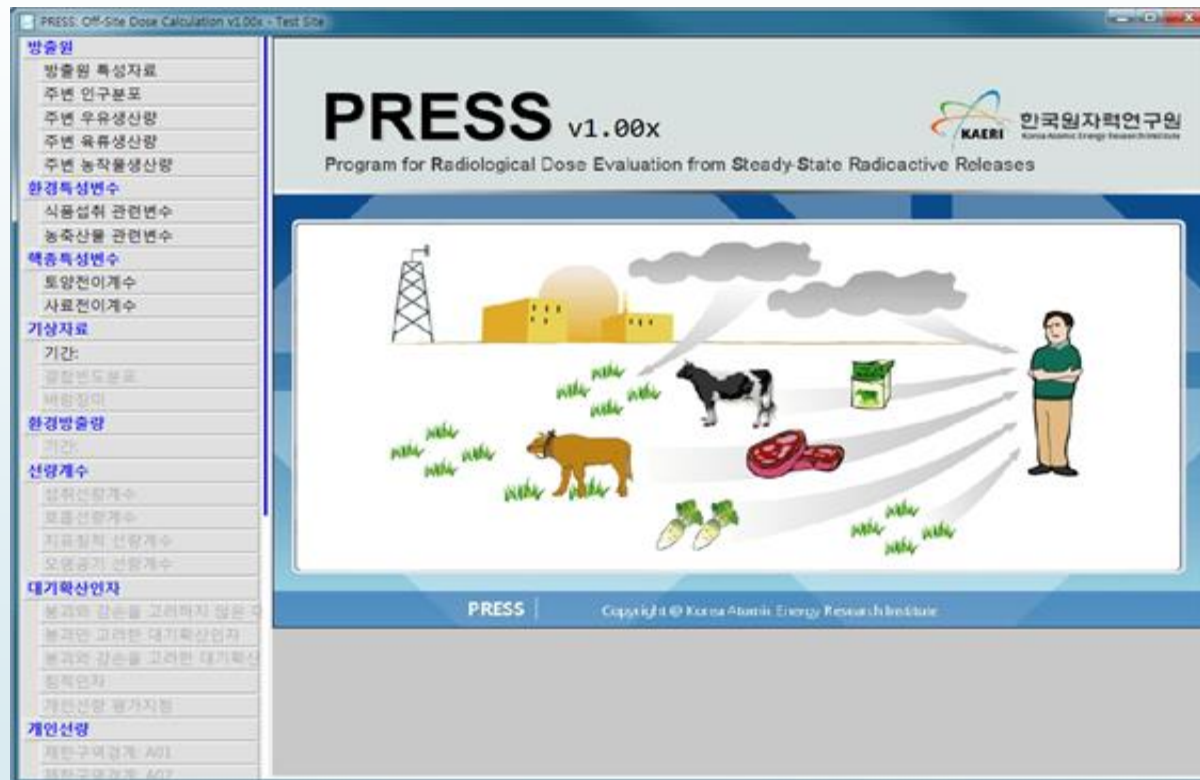
$$C_i^v = d_i \left(\frac{r T_v (1 - e(-\lambda_{Ei} t_e))}{Y_v \lambda_{Ei}} + \frac{B_{iv} (1 - e(-\lambda_i t_b))}{P \lambda_i} \right) e(-\lambda_i t_h)$$

➤ OBT (Organically Bounded Tritium) 반영

- 국제표준모델 미제공
→ 현 평가모델에서 가정의 보수성으로 HTO만의 고려로도 방사선안전성 확보에 충분
- NEWTRIT (LLNL 개발) 모델 적용결과 활용
- OBT/HTO 농도의 비를 도출하여 OBT 농도 평가
- OBT 섭취선량계수 적용



PRESS : Program for Radiological Dose Evaluation from Steady-State Radioactive Releases





코드개발 - 입력화면

PRESS-Off-Site Dose Calculation v1.00x - Test Site

PRESS-Atm: Program for Radiological Dose Evaluation from Steady-State Radioactive Releases v1.00x

Test Site

Copyright KAERI 2016

4-1. 기상자료 선택

- 년간 기상자료

2015_V4	2015년(1년간)
2015_01	2015년 1/4분기
2015_02	2015년 2/4분기
2015_03	2015년 3/4분기
2015_04	2015년 4/4분기

- 월간 기상자료

2015_01	2015년 01월
2015_02	2015년 02월
2015_03	2015년 03월
2015_04	2015년 04월
2015_05	2015년 05월
2015_06	2015년 06월
2015_07	2015년 07월
2015_08	2015년 08월
2015_09	2015년 09월
2015_10	2015년 10월
2015_11	2015년 11월
2015_12	2015년 12월

- 일치의 기간 기상자료

20150101~20150430	2015/01/01부터 2015/04/30까지(119일간)
201501~201505	2015/01부터 2015/05까지(5개월)

평가

<기상자료>

PRESS-Off-Site Dose Calculation v1.00x - Test Site

PRESS-Gas: Program for Radiological Dose Evaluation from Steady-State Radioactive Releases v1.00x

Test Site

Copyright KAERI 2016

1-2. 부지의 사회환경자료: 인구분포 [명]

거리구간	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	합 계
N	4,000E+00	1,270E+02	6,900E+01	6,270E+02	2,560E+02	1,083E+03
NE	4,196E+03	8,690E+02	2,162E+03	1,463E+03	4,052E+03	1,274E+04
E	2,800E+02	1,300E+01	-	-	-	2,930E+02
SE	1,070E+02	-	-	-	-	1,070E+02
S	9,100E+01	-	-	-	-	9,100E+01
SW	4,000E+00	-	-	-	-	4,000E+00
SSW	1,270E+02	2,300E+03	1,466E+03	6,130E+02	-	1,270E+02
SSW	2,000E+00	2,250E+02	3,600E+02	4,750E+02	7,761E+03	8,823E+03
SW	2,000E+00	9,200E+01	1,370E+02	1,210E+02	1,280E+02	4,000E+02
WSW	4,900E+01	2,000E+01	1,330E+02	3,200E+01	7,000E+01	3,200E+02
W	4,000E+00	5,700E+01	1,000E+02	1,370E+02	2,900E+01	3,350E+02
WW	5,000E+00	7,000E+01	2,600E+01	1,030E+02	1,200E+01	2,240E+02
WW	3,140E+02	6,000E+00	3,520E+02	5,200E+01	1,430E+02	8,670E+02
WW	2,000E+00	4,120E+02	1,140E+02	1,154E+03	4,300E+02	2,100E+03
합계	5,113E+03	4,207E+03	4,927E+03	4,777E+03	1,290E+04	3,192E+04

* 부지 평균 인구밀도 : 1.596E-06 [명/m²]

평가

<부지환경특성자료>

PRESS-Off-Site Dose Calculation v1.00x - Test Site

PRESS-Atm: Program for Radiological Dose Evaluation from Steady-State Radioactive Releases v1.00x

Test Site

Copyright KAERI 2016

1-1. 방출 특성 (Stack A: 242852, 247594)

- 방출 높이: 17.0 m

- 방출 속: 0.25 m/s

- 방출 유형: 기포 방출

- 기상조건 높이: 18.0 m

- 건물 높이: 17.0 m

- 건물 피드 인입속: 0.00 m/s

- 열 방출률: 0.00 cal/s

평가

<방출특성자료>

PRESS-Off-Site Dose Calculation v1.00x - Test Site

PRESS-Gas: Program for Radiological Dose Evaluation from Steady-State Radioactive Releases v1.00x

Test Site

Copyright KAERI 2016

3-1. 표양으로부터의 핵종별 경이계수 []

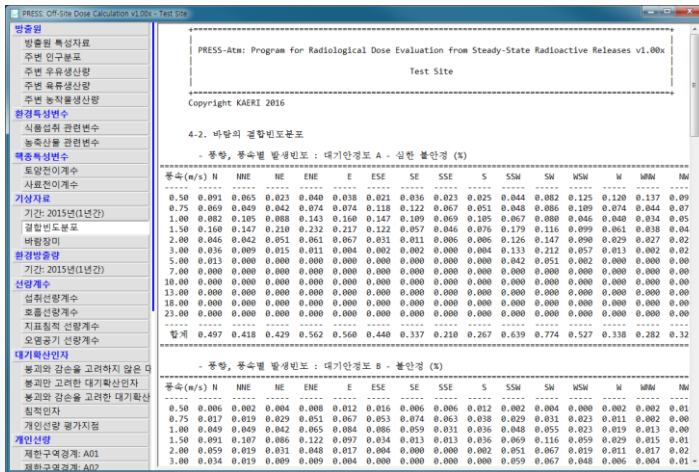
핵종	속류	파일	방출계수	경이계수	핵종	속류	파일	방출계수	경이계수
H	4.8E+00	4.8E+00	4.8E+00	4.8E+00	Sb	1.1E-02	1.1E-02	1.1E-02	1.1E-02
He	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02	Te	1.0E+00	1.3E+00	1.0E+00	1.0E+00
Li	8.3E-04	8.3E-04	8.3E-04	8.3E-04	T	2.9E-03	2.0E-02	2.0E-02	2.0E-02
Be	4.2E-04	4.2E-04	4.2E-04	4.2E-04	Xe	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01
B	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	Cs	4.5E-02	2.0E-03	4.7E-02	1.8E-02
C	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02	Ba	5.0E-03	5.0E-03	5.0E-03	5.0E-03
N	7.5E+00	7.5E+00	7.5E+00	7.5E+00	La	3.0E-03	2.5E-03	3.0E-03	3.0E-03
O	1.6E+00	1.6E+00	1.6E+00	1.6E+00	Ce	3.0E-03	5.0E-04	5.4E-03	7.0E-03
F	6.5E-04	1.5E-04	6.5E-04	6.5E-04	Pr	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03
Ne	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	Nd	2.4E-03	2.4E-03	2.4E-03	2.4E-03
Na	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02	Pm	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03
Mg	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	Sm	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03
Al	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-04	Eu	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03
P	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04	Gd	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03
S	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	Tb	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03
S	5.9E-01	5.9E-01	5.9E-01	5.9E-01	Dy	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03
Cl	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	Ho	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03
Ar	6.0E-01	6.0E-01	6.0E-01	6.0E-01	Er	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03
K	3.7E-01	3.7E-01	3.7E-01	3.7E-01	Tm	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03
Ca	3.6E-02	3.6E-02	3.6E-02	3.6E-02	Yb	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03
Sc	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	Lu	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03	2.6E-03
Ti	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05	Hf	1.7E-04	1.7E-04	1.7E-04	1.7E-04
V	1.3E-03	1.3E-03	1.3E-03	1.3E-03	Ta	6.3E-03	6.3E-03	6.3E-03	6.3E-03
Cr	3.0E-04	2.5E-04	3.0E-04	3.0E-04	W	1.8E-02	1.8E-02	1.8E-02	1.8E-02
Mn	2.6E-01	2.9E-02	1.2E-01	3.0E-02	Re	2.5E-01	2.5E-01	2.5E-01	2.5E-01
Fe	4.0E-04	4.0E-04	2.4E-04	2.0E-04	Os	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02
Co	2.0E-02	1.8E-03	9.1E-03	1.3E-02	Ir	3.0E-02	3.0E-02	3.0E-02	3.0E-02
Ni	2.0E-02	1.9E-02	1.9E-02	1.9E-02	Pt	5.0E-01	5.0E-01	5.0E-01	5.0E-01

평가

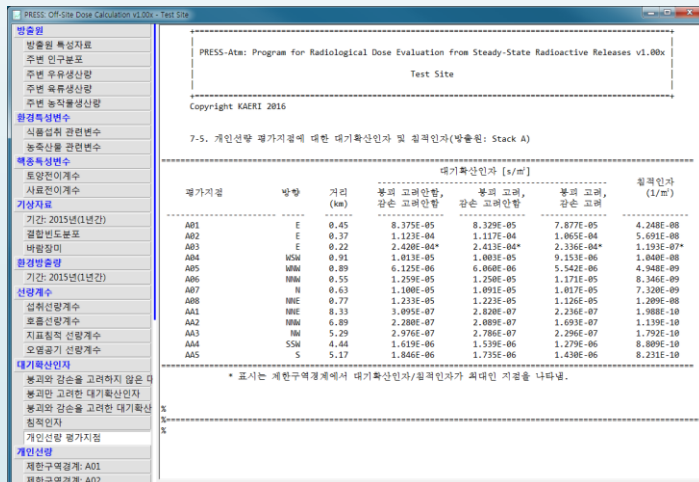
<농작물 뿌리흡수인자>



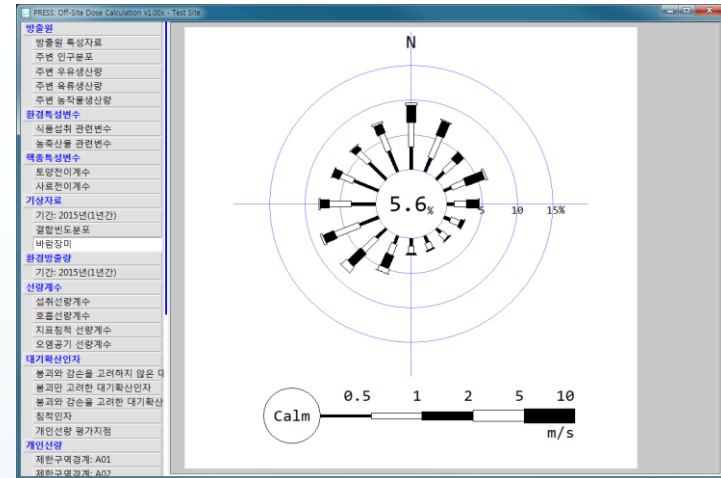
코드개발 - 결과화면



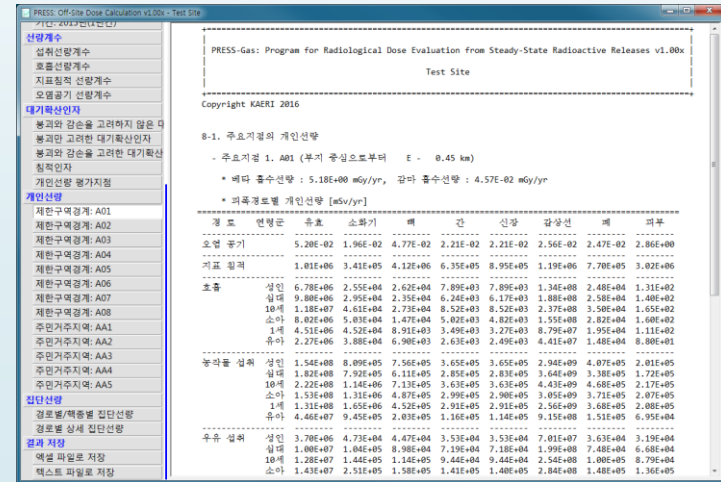
<결합빈도분포>



<대기확산인자 및 침적인자>



<바람장미>





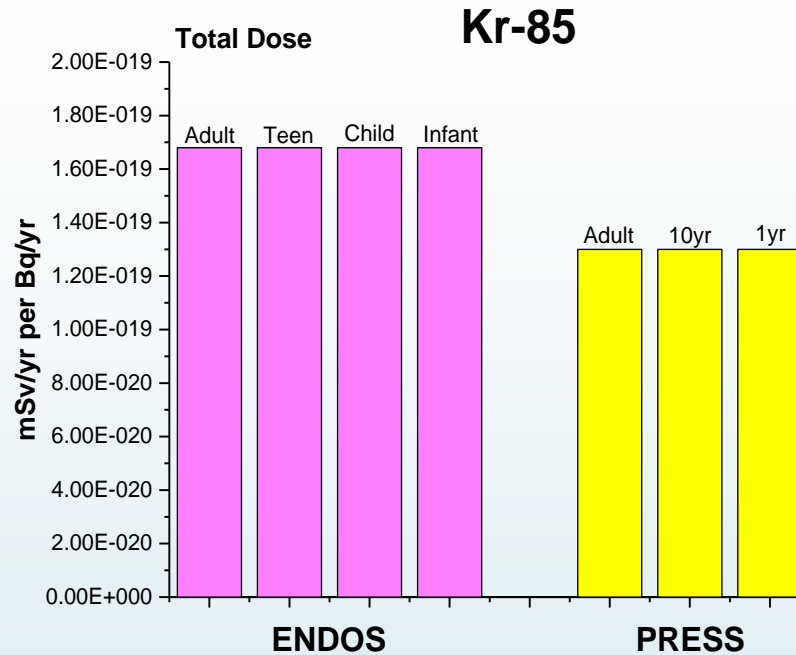
코드개발 - 결과검증

입자상 유출물(Cs-137)에 의한 선량평가 결과비교 (mSv/yr per Bq/yr)

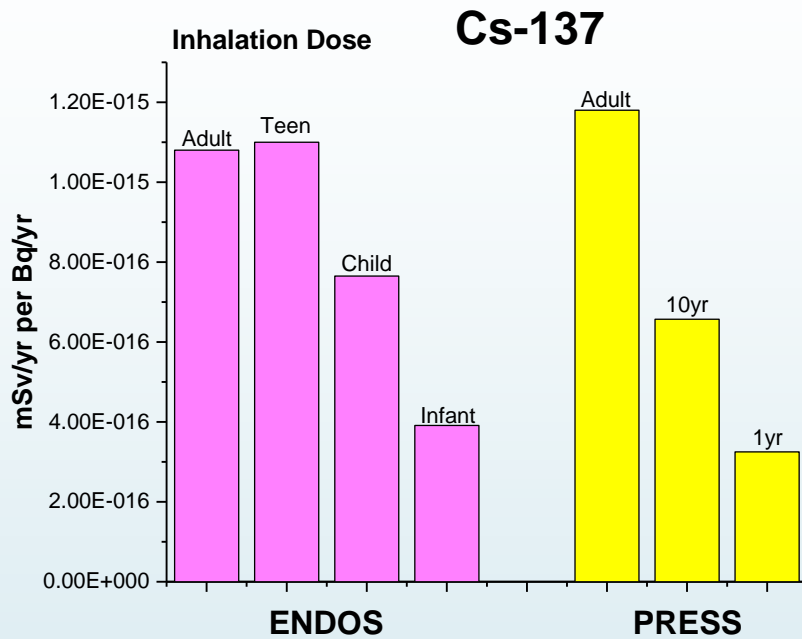
항목 \ 모델		수계산	PRESS
평가결과	농산물	1.17×10^{-12}	1.17×10^{-12}
	우유	1.85×10^{-14}	1.85×10^{-14}
	육류	1.56×10^{-13}	1.69×10^{-13}
PRESS 대비	농산물	1.002	-
	우유	1.001	
	육류	0.925	
평가결과	지표침적	1.06×10^{-14}	1.06×10^{-14}
PRESS 대비	지표침적	1.000	1.000
평가결과	호흡	9.69×10^{-16}	9.84×10^{-16}
PRESS 대비	호흡	0.985	-

삼중수소 유출물(H-3)에 의한 선량평가 결과비교 (mSv/yr per Bq/yr)

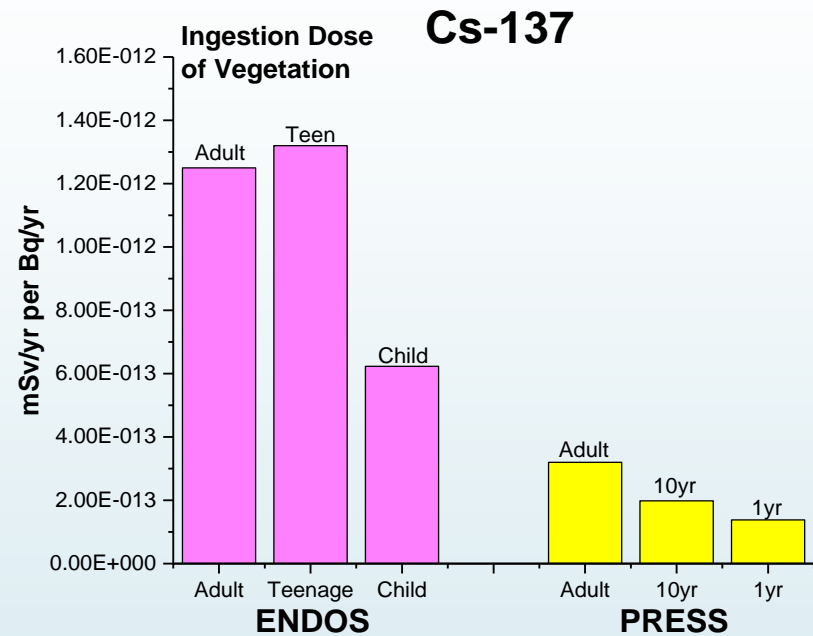
항목 \ 모델		수계산	PRESS
평가결과	농산물	7.11×10^{-18}	7.17×10^{-18}
	우유	9.27×10^{-19}	9.36×10^{-19}
	육류	2.55×10^{-19}	2.58×10^{-19}
PRESS 대비	농산물	0.991	-
	우유	0.990	
	육류	0.989	
평가결과	호흡	6.34×10^{-18}	6.33×10^{-18}
PRESS 대비	호흡	1.001	-



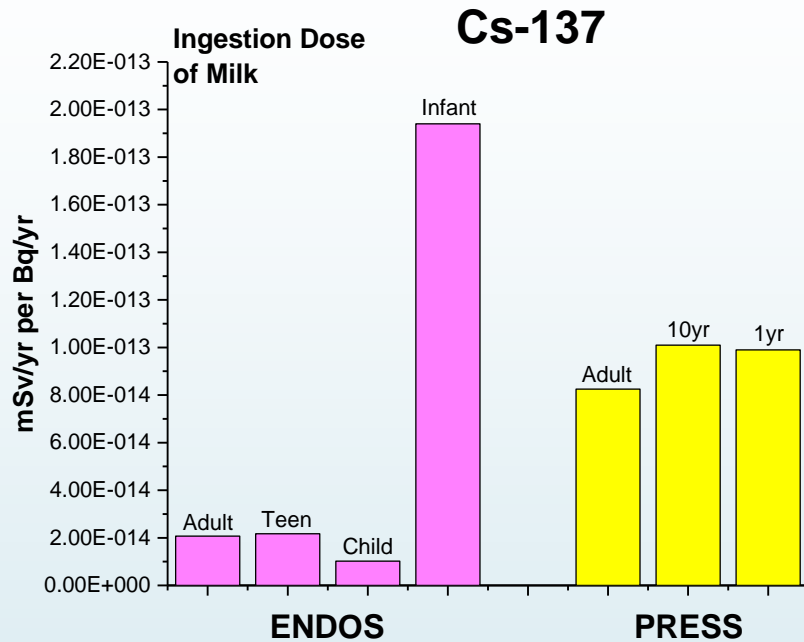
<총 유효선량 ; 오염공기 외부피폭>



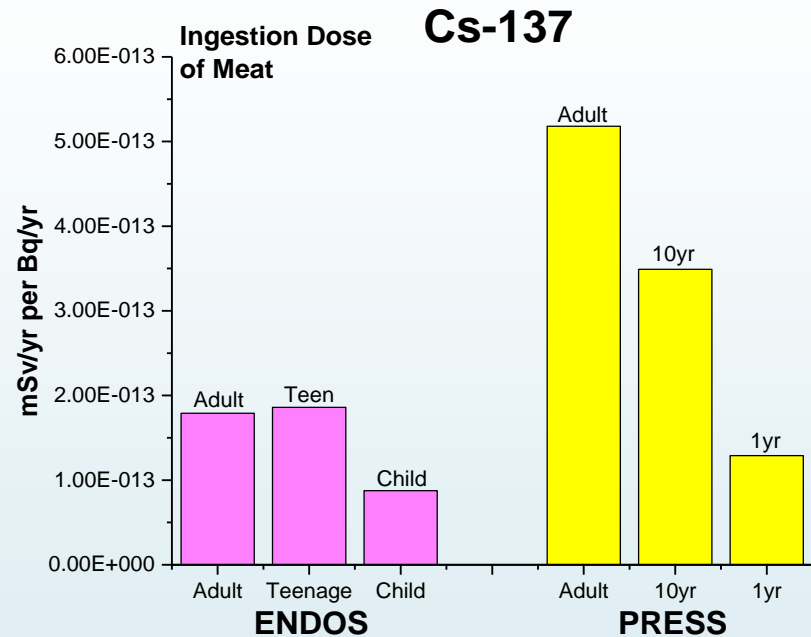
<흡입유효선량>



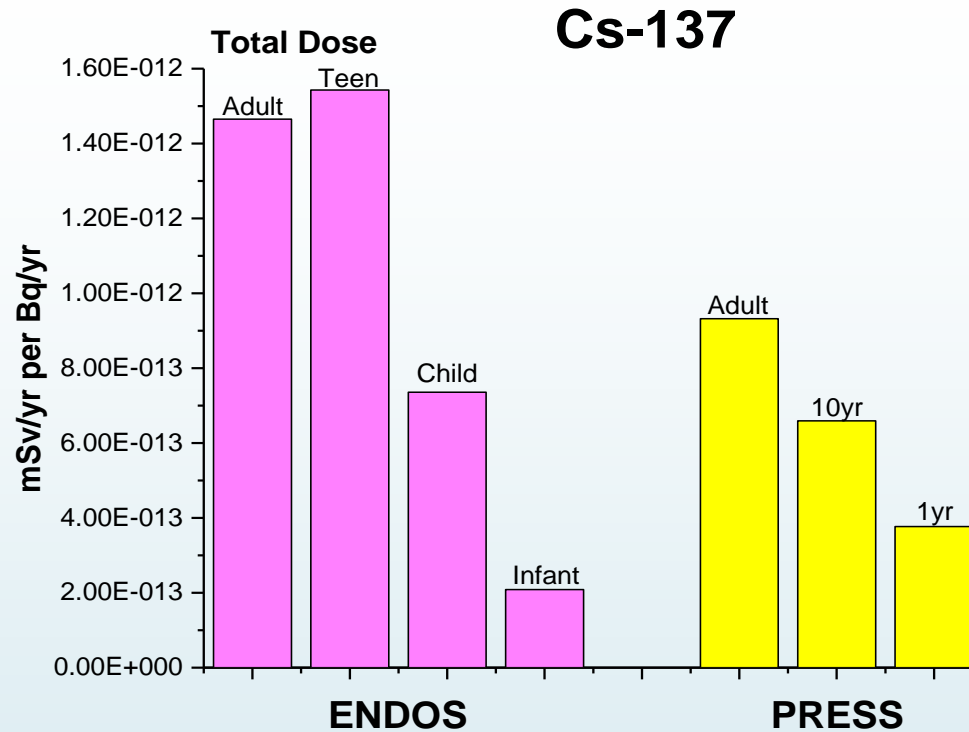
<농적물섭취 유효선량>



<우유섭취 유효선량>



<육류섭취 유효선량>



<총 유효선량>



- **신권고기반 기체상유출물 주민선량평가코드(PRESS) 개발**
 - 연구기간 제한으로 액체상방류물 주민선량평가코드 미개발
- **신권고 방사선환경방호평가 도구 확보를 위한 기반마련**
 - PRESS : 기체상유출물 주민선량평가
 - K-BIOTA : 야생 동식물 선량평가 (KAERI 타 연구그룹)
- **향후과제**
 - 보다 많은 자료의 조사·분석을 통해 국내특성 대표값 선정
→ 규제이행 활용성 강화
 - ICRP-103 기반 액체상방류물 주민선량평가코드 개발
 - 평가지점선정, 시설위치에 따른 피폭경로 설정 등에 대한 연구
 - 일반인의 수용성 관점에서 확률론적 선량평가



감사합니다