2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

MELCOR 전산코드의 핵분열생성물 노심방출 모델 평가

Fission Product Core Release Model Evaluation in MELCOR Code

송용만, 김동하, 김희동
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

MELCOR 코드의 핵분열생성물 노심방출 계산은 BMI에 의해 개발된 CORSOR 모델들에 기반하고 있다. 즉, 손상온도 초과 또는 건전구조의 붕괴로 인해 핵연료와 피복재의 간극에서 시작하는 방사성 핵종의 노심방출은 핵연료 온도에 기초한 다양한 CORSOR 실험 방출식을 사용하여 계산되며 원자로 및 일차계통으로 방출된 이후에는 핵종군의 증기압 및 주변온도에 따라 에어로졸 및/또는 기체로 존재하게 된다. 본 논문에서는 최신 버전인 MELCOR 1.8.5 코드의 3가지 노심방출 모델 (CORSOR, CORSOR-M 및 CORSOR-Booth)을 사용하여 차세대 원자로의 보수적인 고압/저압 사고경위에 대하여 대표적인 휘발성 및 비휘발성 핵종을 선정하여 방출분석을 수행하였다. 또한 CORSOR 및 CORSOR-M 방출계산에서는 핵연료 구성물의 표면적 대 체적비 보정 옵션, 그리고 CORSOR-Booth 모델에서는 핵연료의 고연소도 및 저연소도 옵션의 영향을 함께 고려하였다. 분석 결과, 고휘발성 핵종은 CORSOR-M 모델의 방출율이 높고 비휘발성 핵종은 일관성은 부족하나 전체적으로 CORSOR 모델의 방출율이 높은 편이였으나 모델별 방출율이 수~배 (고휘발성 핵종)에서 최대 10000여배 (비휘발성 핵종)의 차이가 발생하여 불확실 범위가 매우 넓으므로 모델 선택시 사용자의 주의가 필요한 것으로 평가되었다.

Abstract

The fission product core release in the MELCOR code is based on the CORSOR models developed by Battelle Memorial Institute. Release of radionuclides can occur from the fuel-cladding gap when a failure temperature criterion exceeds or intact geometry is lost, and various CORSOR empirical release correlations based on fuel temperatures are used for the release. Released masses into the core may exist as aerosols and/or vapors, depending on the vapor pressure of the radionuclide class and the surrounding temperature. This paper shows a release analysis for selected representative volatile and non-volatile radionuclides during conservative high and low pressure sequences in the APR1400 plant. Three core release models (CORSOR, CORSOR-M, CORSOR-Booth) in the latest MELCOR 1.8.5 version are used. In the analysis, the option of the fuel component surface-to-volume ratio in the CORSOR and CORSOR-M models and the option of the high and low burn-up in the CORSOR-Booth model are considered together. As the results, the CORSOR-M release rate is high for volatile radionuclides, and the CORSOR release rate is high for non-volatile radionuclides with insufficient consistency. As the uncertainty range for the release rate expands from several times (volatile radionuclides) to more than maximum 10,000 times (non-volatile radionuclides), user's careful choice for core release models is needed.

1. 서론

최근 SNL에서 열린 중대사고 국제회의 (USNRC MCAP-2003 Meeting)에서는 국제적으로 사용되고 있는 중대사고 해석코드인 MELCOR 코드의 최신 개발 활동이 소개되었다 [1]. 이에 의하면 기존의 MELCOR 노심방출 모델이 국제적인 핵연료 거동 실험인 FPT-1 실험결과를 잘 예측하지 못하였으며 이로부터 새로운 모델의 필요성이 제시되었다. 이는 FPT-1 실험을 해석하였던 국내의 연구에서도 개선의 필요성이 지적된 바 있다 [2]. 이로부터 본 연구에서는 가장 최신 버전인 MELCOR 1.8.5 코드 [3]의 3가지 노심방출 모델 (CORSOR, CORSOR-M 및 CORSOR-Booth)을 실험이 아닌 상용 원자력 발전소에 적용하여 분석을 시도하였다. 이는 기존 모델간의 차이 및 불확실 범위를 우선 평가하고 차후 개선된 모델의 개발 및 반영시 기존 모델과의 비교평가에 이용하기 위한 것이다. 이를 위해 대상 발전소는 차세대 원자로를 선택하였으며 보수적인 고압 및 저압 사고경위인 발전소정전사고 (Station Black Out : SBO) 및 양단파손 (Guillotine Break) 대형냉각재상실사고 (Large Loss of Coolant Accident : LLOCA)에 대하여 대표적인 휘발성 및 비휘발성 핵종을 선정하여 분석을 수행하였다.

피복관 파손이전 핵연료내의 방사성 핵종은 핵연료-피복재간의 간극 (gap)으로 이동하고 피복관 파손시 주변의 노심공간으로 방출된다. 즉, 방사성 핵종의 노심방출은 손상온도 초과 또는 건전구조의 붕괴로 인해 핵연료-피복재간의 간극에서 시작한다. 이러한 노심 물질로부터의 방출은 핵연료 온도에 기초한 다양한 CORSOR 실험 방출식을 사용하여 계산되며 노심공간으로 방출된 이후에는 핵종군의 증기압 및 주변온도에 따라 에어로졸 및/또는 기체로 존재하게 된다. MELCOR에서 핵연료내 존재하는 기본핵종은 원소형태만으로 가정하며, 핵연료 방출이후 화합물 형태를 가질 수 있다. 방사성 핵종의 노심방출은 구성물인 건전 핵연료, 재배치된 노심물질, 및 노심파편물내의 핵연료 물질 (UO_2)에서만 이루어진다. 이와 같은 MELCOR 코드의 노심방출 계산은 3가지 모델 즉, CORSOR, CORSOR-M 및 CORSOR-Booth [4, 5]가 사용된다. 또한 CORSOR 및 CORSOR-M 방출계산은 실험데이타에서 도출된 기본값과 비교된 구성물의 표면적 대 체적비 (surface-to-volume ratio : SV) 옵션에 의해 보정되며, CORSOR-Booth 모델에는 고연소도 (high burn-up) 및 저연소도 (low burn-up) 옵션이 있다. 이상의 모델 적용시 모델별로 구성물의 종류에는 관계없이 비슷한 관계식 (구성물의 온도에 따른 함수)이 적용되나 모델별로 방출상수 또는 확산상수가 다르게 정의된다. 그러나 이상의 노심방출 모델중 일반적으로 기준할 수 있는 모델이 아직까지 정립되지 못했으므로 현재까지 각 모델의 가정 및 제한치를 염두에 둔 적용이 필요하며, 모델간의 결과 비교를 통한 결과 범위 예측이 필요하다. 본 연구는 이러한 노력의 일환으로 최초로 국내 발전소에 MELCOR 코드의 노심방출 모델들을 적용하여 모델별 차이를 분석하였으며, 노심방출 모델의 이해 제고와 발전소 사고해석시 최적모델 선정 및 불확실 범위 예측/감소, 그리고 개선모델의 개발/반영에 도움이 될 것으로 사료된다.

2. MELCOR 모델

MELCOR 코드의 3가지 모델 즉, CORSOR, CORSOR-M 및 CORSOR-Booth, 및 옵션에 대하여 다음에 간단히 기술하였다.

CORSOR 모델

CORSOR 모델은 방출분율을 지수형태인 다음식으로 표시한다.

$$f = A \exp(BT) \quad \text{for } T \geq T_i$$

여기서 f는 방출분율 [분$^{-1}$] 이고, A 및 B는 실험데이타에 기초한 실험상수이며, T [K]는 노심cell 구성물의 온도이다. A,B는 3개의 온도영역 (온도 영역중 가장 낮은 온도 이하에서는 방출율이 계산되지 않는다)에 대해 각각 다른 값을 가지며 참고자료 [3]에 핵종별로 제시되어 있다. 한편, 방출이 발생하는 물질의 표면적 대 체적비의 효과는 다음처럼 보정한다.

$$f = f_{CORSOR(-M)} \, (S/V)_{structure} \, / \, (S/V)_{base}$$

여기서, $(S/V)_{base}$ 는 422.5 m^{-1} 이고, $(S/V)_{structure}$ 는 노심구성물의 표면적 및 체적으로부터 계산되는데 노심손상시 표면적 대 체적비의 변화를 반영할 수 있다.

CORSOR-M 모델

CORSOR-M 모델은 CORSOR 모델의 동일한 방출 데이터를 다음과 같은 Arrhenius 형태의 방출식으로 표시한다.

$$f = K_o \exp^{(-Q/RT)}$$

여기서 k(T)는 온도 T [K]에서의 방출분율 [분$^{-1}$] 이고, R은 우주기체상수 (= 1.987E-3 kcal/mol.K) 이며, 방출상수인 K_o 및 방사화 에너지 (activation energy) Q의 단위는 각각 [분$^{-1}$] 및 [kcal/mol] 로써 참고자료 [3]에 핵종별로 제시되어 있다. 한편, CORSOR 모델과 마찬가지로 방출이 발생하는 물질의 표면적 대 체적비의 효과를 동일하게 보정한다.

CORSOR-BOOTH 모델

본 모델은 방사성 핵종 방출시 이송 제한을 고려하여 세슘 (Cesium) 방출에 대해 실험적 확산상수 (diffusion coefficients)에 의한 Booth 확산모델을 사용한다. 그리고 여타 핵종에 대한 방출분율은 세슘에 상대적으로 계산된다. 핵연료내 세슘의 고전적 확산상수는 다음처럼 정의된다.

$$D = D_O \exp(-Q/RT)$$

여기서

D = 확산상수 [cm^2/s],
D_o = 핵연료 연소도에 따른 배율상수 [cm^2/s],
Q = 방사화 에너지 [cal/mol],
R = 우주기체상수 (= 1.987 cal/mol.K = 8.3145 J/mol.K), 그리고
T = 온도 [K] 이다.

위에서 D_o 값은 30,000 MWD/MTU 초과의 고연소도에 대해서는 저연소도의 경우에 비해 5배 큰 값을 사용한다. D_o 기본값 (고연소도 = 2.5E-7, 저연소도 = 5.0E-8, 변화 연소도 = 3.0E-4) 및 Q 기본값 (= 3.8E5)은 핵연료 실험 데이터 [6]에 기초한 값이다. 이후에 세슘의 방출분율은 구형 핵연료 알갱이 (fuel grain)에 대한 Fick's law의 근사치로부터 계산되며, 기체 상태의 질량 이송 및 확산을 결합한 방출식으로 표시되게 된다. 세슘이외의 핵종에 대한 확산 방출율은 세슘의 방출율에 적당한 배수 (scaling factor)를 곱하여 표시되는데 필요한 핵종에 대해 피복재의 산화정도 및 온도에 따른 보정이 이루어지며 자세한 사항은 참고자료 [3]를 참조하기 바란다 .

3. 계산 사고 경위 및 분석 방법

분석 대상 발전소는 차세대 발전소 (APR1400)이며, 분석 사고경위는 보수적인 고압사고 경위로서 발전소정전사고 (SBO) 및 보수적인 저압사고 경위로서 대형냉각재상실사고 (Large LOCA, LLOCA)를 선정하였다. 선정된 사고를 모의하기 위한 입력은 2000년 “차세대원자로개발 (3단계) – 중대사고분야” 과제에서 개발된 MELCOR1.8.4 버전의 입력 [7]을 1.8.5 버전으로 수정해 사용했다 [8].

참조고압사고는 WASH-1400 [9]에서 정의된 TMLB’이며 대표적인 중대사고 시나리오 중의 하나이다. 즉, 발전소 내부 및 외부 교류전원이 상실되고 (Loss of Onsite & Offsite AC Power), 보조급수 계통이 작동되지 않아 증기발생기 이차측의 모든 급수가 중단되며, 터빈 우회계통 및 대기방출밸브가 작동되지 않아 이들을 통한 이차측 열제거가 불가능한 사고이다. 모든 교류전원이 상실되었으므로 노심냉각을 위해 활용가능한 수단은 기존의 일차계통 냉각수와 안전주입탱크의 냉각수 재고량이며 이차계통을 통한 열제거는 증기발생기 재고량 및 주증기안전밸브 만으로 이루어진다. 참조저압사고는 저온관양단파단, 안전주입탱크작동, 안전주입펌프실패 그리고 재순환실패로 정의된다. 즉, 계통의 이용면에서 4대의 안전주입탱크만 작동가능하고 4대의 안전주입펌프는 사고 초기에 모두 작동되지 않는 것으로 가정하였다 (이는 KNGR SAR 및 Level 2 PSA 결과 안전주입펌프가 하나만 작동하더라도 중대사고가 유발되지 않는다는 계산결과에 기초한 것이다). 증기발생기 주급수 및 보조급수는 모두 작동하는 것으로 가정하였으나 대형냉각재 상실사고이므로 별 영향은 없는 것으로 판단된다. 참조사고시 상세 사고진행 및 열수력 해석결과는 참고문헌 [7]을 참조하면 된다.

본 연구에서는 MELCOR 1.8.5의 PC 버전을 사용하여 핵분열생성물의 노심방출 모델 및 각 모델의 옵션을 포함한 다음의 6가지 경우를 분석하였다:

경우 1. CORSOR, 표면적 대 체적비 보정 (**C+sv-CORE**)
경우 2. CORSOR, 표면적 대 체적비 보정 안함 (**C-CORE**)
경우 3. CORSOR-M, 표면적 대 체적비 보정 (**M+sv-CORE**)
경우 4. CORSOR-M, 표면적 대 체적비 보정 안함 (**M-CORE**)
경우 5. CORSOR-Booth, 고연소도 핵연료 (**B+high-CORE**)
경우 6. CORSOR-Booth, 저연소도 핵연료 (**B+low-CORE**)

분석시간은 원자로용기 파손 직전 노심지지판 (core support plate) 실패시점 까지이며, 분석핵종은 방사성 핵종만을 대상으로 불활성 기체 (Xe), 대표적인 휘발성 핵종 (CsI, Cs, Te), 및 대표적인 비휘발성 핵종 (Ba, Ce, Ru, Mo)을 선정하였다. 특히. 비휘발성 핵종중 Ba 및 Ce 핵종은 ISAAC 전산코드의 결과 [10]와, Ru 및 Mo 핵종은 SNL의 계산결과 [1]와 추이의 비교가 가능하다.

4. 노심방출 분석 결과

차세대원자로의 SBO 및 LLOCA 사고경위에 대해 원자로용기 파손직전 노심지지판 실패 (SBO-Ring1, LLOCA-Ring2) 시점에서 모델별 핵분열 생성물 노심방출 분율을 <표.1>에서 비교하였는데, 모델별 방출분율을 핵종별 휘발성에 의해 구분한 비교결과 (비교의 편의성을 위해 방출분율이 높을수록 붉은색을 낮을수록 파랑색을 사용하였으며 채도로써 정도를 표시)는 다음과 같다:

■ 불활성 및 고휘발성 핵종 (Xe, CsI, Cs)

· CORSOR 및 CORSOR-M에 비해 CORSOR-Booth 모델의 방출율이 낮다.
  - SBO : CORSOR-M ≈ CORSOR > CORSOR-Booth
  - LLOCA : CORSOR-M ≈ CORSOR ≈ CORSOR-Booth

■ 중휘발성 핵종 (Te)

· CORSOR-M 및 CORSOR-Booth에 비해 CORSOR 모델의 방출율이 낮다.
  - SBO/LLOCA : CORSOR-M > CORSOR-Booth > CORSOR

■ 비휘발성 핵종 (Ba, Ce, Ru, Mo) :

· 핵종별 일관성이 부족하나 전체적으로 CORSOR 모델이 방출율이 높은 편이다.
· 고/저압 시나리오별 방출율 순서는 핵종별로 일정한 편이다.
· SBO : 전체적인 일관성 부족
  - Ba : CORSOR > CORSOR-M > CORSOR-Booth
  - Ce : CORSOR > CORSOR-Booth > CORSOR-M
  - Ru : CORSOR-Booth ≈ CORSOR > CORSOR-M

- Mo : CORSOR ≈ CORSOR-M > CORSOR-Booth

· LLOCA : 전체적인 일관성 부족

- Ba : CORSOR > CORSOR-M > CORSOR-Booth
- Ce : CORSOR > CORSOR-Booth > CORSOR-M
- Ru : CORSOR-Booth > CORSOR > CORSOR-M
- Mo : CORSOR ≈ CORSOR-M > CORSOR-Booth

다음으로 <표.1>에 기반하여 노심지지판 실패 시점까지 방출율의 불확실 정도를 비교하였다. 여기서는 핵종별 및 모델별로 2가지 시나리오에 대해 방출분율이 최대 및 최소인 값을 찾아 범위를 구한 후 최대값 및 최소값의 비율을 구하여 불확실도를 표시하는 방법을 이용하였다. 이에 의하면 불활성 및 휘발성 핵종 경우의 불확실도는 ~수배 이내였으나 비휘발성 핵종의 경우에는 (Ba의 경우 50-130배, Ru의 경우 2000-14000배) 배율이 한자리에서 4자리까지 차이가 나서 불확실도가 매우 높은 것으로 나타났다. 사고 시나리오별로는 SBO가 LLOCA에 비해 2배 이상 (불활성 및 휘발성 핵종) 또는 한자리 이상 (비휘발성 핵종) 불확실 범위가 넓은 것으로 나타났는데 이는 고압사고경위시 노심지지판 실패시점 (또는 원자로용기 파손시점)이 늦어 원자로용기내에서 핵연료의 온도 거동이 모델별 방출온도 구간에서 저압사고경위보다 변하는 기간이 긴 것으로 판단된다. 결국, 저압사고경위의 불활성 및 휘발성 핵종의 경우 모델별 차이가 거의 없는데 반해 고압사고경위의 비휘발성 핵종의 경우 모델별 차이가 가장 컸다.

다음으로 옵션별 영향을 살펴보면, 고압사고 경우 (SBO), SV 옵션의 영향이 무시할 정도이나 옵션 사용 경우가 미미하나마 약간 방출율이 높은데 반해, 저압사고 경우 (LLOCA), SV 옵션의 미사용시 방출율이 ~수배 이내에서 대체로 증가한다 (특히 Te/Ba/Mo의 경우 주목할 만하다). 고연소도 및 저연소도 옵션 (CORSOR-Booth 모델에서)의 경우, 전체적으로 고연소도 경우가 저연소도 경우에 비해 높으며 저압사고경위 비휘발성 핵종의 경우 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

마지막으로 현 계산에서 원자로용기 하부에서 노심파편물이 용융상태로 수증기에 노출되는 시간이 거의 없어 (노심지지판 파손이후 곧바로 원자로용기파손 발생 : SBO, 노심지지판 파손이후 ~수십분 이내 원자로용기파손 발생 : LLOCA), 재배치 이후 원자로용기파손까지 원자로용기 하부에서의 방출량은 거의 없으므로 본 연구의 평가는 원자로용기 파손시점까지의 결과도 대표한다. 또한, 상세계산 [8]에 의하면 (CORSOR+SV 경우), 원자로용기 파손시까지 전체 방사성 핵종 및 주요 핵종의 방출량 (단위: kg)은 다음과 같았다:

· SBO(15000초) < ~700kg :Xe(320)>Cs(170)>Ba(35)>Mo(35)>CsI(30)>Te(7)>Ce(0.1)

· LLOCA(5000초)< ~2100kg :Xe(350)>Cs(180)>Ba(90)>Mo(60)>CsI(30)>Te(15) >Ce(0.2)

그런데 위에서 명시된 7가지 핵종 이외의 방출량은 대부분 (40kg-SBO, 1400kg-LLOCA, 80%이상이 에어로졸 기체 상태로 존재) 우라늄(U) 핵종인데, 두 가지 시나리오에서 U 핵종을 제외한 나머지 핵종의 방출량 총합이 대체로 비슷해도 본 경우처럼 U 핵종의 방출량은 매우 다를 수 있으며 결국 핵연료의 온도거동이 매우 다를 수 있다는 것을 예시하는 점이 주목된다.

5. 결론 및 추후 연구사항

최신 버전인 MELCOR 1.8.5 코드의 3가지 노심방출 모델 (CORSOR, CORSOR-M 및 CORSOR-Booth) 및 모델당 2가지 옵션을 사용하여 차세대 원자로의 보수적인 고압/저압 사고경위에 대하여 대표적인 휘발성 및 비휘발성 핵종을 선정하여 방출분석을 수행하였다. 모델별, 옵션별, 시나리오별 및 핵종별로 방출분율이 달랐으며 그 차이가 최대 10000배 이상인 경우도 존재하였다. 특히, 고압사고경위 비휘발성 핵종의 경우 모델별 차이가 가장 컸고, 옵션의 영향은 수배 이내였으나 연소도 옵션에 따른 저압사고경위 비휘발성 핵종의 경우가 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 고/저압 시나리오별 핵연료 온도거동도 매우 다른 것으로 예측되고 방출결과가 사용자의 모델 선택에 의해 매우 달라질 수 있으나 아직까지 일반적인 최적모델이 제시되어 있지 않으므로 결과 평가시 유의해야만 한다. 이러한 불확실성의 감소를 위해 추후 개선모델 및 평가결과 제시 그리고 노심방출 핵종중 Cs 핵종과 Mo 핵종간에 결합이 발생하여 생성되는 것으로 알려진 Cs_2MoO_4 (Molybdate)의 영향 연구 및 텔루륨 (Te)의 방출제한에 대한 추가연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. R. O. Gauntt (SNL), Current MELCOR Development Activities, USNRC MCAP-2003 Meeting, May 8-9, 2003.
2. 조성원, MELCOR1.8.4 코드를 이용한 PHEBUS FPT-1 실험 해석, KAERI/TR-989/98, 1998. 3.
3. SNL, MELCOR Computer Code (Ver 1.8.5) Manuals, NUREG/CR -6119, SAND2000-2417, May 2000.
4. M. R. Kuhlman, D. J. Lehmicke, and R. O. Meyer, CORSOR User's Manual, BMI-2122, NUREG/CR-4173, March 1985.
5. M.Ramamurthi, M.R.Kuhlman, Final Report on Refinement of CORSOR - An Empirical In-Vessel Fission Product Release Model, BMI, October 31, 1990.
6. T. Nakamura and R. A. Lorenz, Effective Diffusion Coefficients Calculated from ORNL FP Release Test Results, ORNL Research Paper, April 1989.
7. 최영, 안광일, MELCOR 코드를 이용한 차세대원자로의 TMLB’ 및 LOCA 사고해석, KAERI/TR-1677/2000.
8. 송용만, MELCOR 1.8.5 핵분열생성물 방출 모델 평가, 2003년 발간 예정.
9. U.S.NRC, Reactor Safety Study – An Assesment of Accident Risks in U.S. Commercial NPP, WASH-1400 (NUREG-75/-014), October 1975.

10. 송용만, ISAAC 전산코드의 비휘발성 핵분열생성물 방출 모델 평가, 2004 한국원자력학회 춘계학술발표회 논문집 발표 예정.

<표.1> MELCOR 노심방출 모델별 핵분열생성물 방출분율 비교 (노심지지판 실패시점에서: SBO-Ring1, LLOCA-Ring2)

	사고경위	분석시점	Xe	CsI	Cs	Te	Ba	Ce	Ru	Mo
C+sv-CORE	SBO	14950	79.6	82.1	73.2	18.5	18.5	1.8E-2	7.3E-1	12.0
	LLOCA	5460	88.2	91.0	81.1	45.2	51.6	4.5E-2	2.8	18.6
C-CORE	SBO	14640	78.5	81.0	72.2	15.9	16.5	1.6E-2	6.4E-1	10.1
	LLOCA	6566	96.6	99.6	88.8	76.7	82.2	1.1E-1	7.0	40.5
M+sv-CORE	SBO	14830	80.4	82.9	73.9	72.4	1.0	2.5E-5	1.6E-4	8.2
	LLOCA	4950	88.6	91.4	81.4	87.3	24.7	1.4E-2	2.8E-2	24.7
M-CORE	SBO	14530	78.0	80.4	71.7	71.6	0.83	2.1E-5	1.3E-4	6.6
	LLOCA	5312	96.0	99.0	88.2	95.0	49.4	3.7E-2	7.3E-2	47.6
B+high-CORE	SBO	14420	52.4	54.0	48.1	47.1	0.35	3.2E-3	1.8	2.9E-2
	LLOCA	5320	94.8	97.7	87.1	94.3	8.5	9.0E-2	63.8	2.2
B+low-CORE	SBO	14710	32.5	33.6	29.9	27.4	0.15	1.3E-3	8.5E-1	1.7E-2
	LLOCA	4891	90.2	93.0	82.9	89.6	1.5	1.5E-2	21.8	4.0E-1
범위	SBO	최소~최대	33~80	34~83	30~74	16~72	0.15~19	2.1E-5~0.018	1.3E-4~1.8	0.017~12
	LLOCA	최소~최대	88~97	91~100	81~89	45~95	1.5~82	0.014~0.11	0.028~64	0.4~48
배수	SBO		2.4	2.4	2.5	4.5	127	857	13850	706
	LLOCA		1.1	1.1	1.1	2.1	55	7.9	2285	120