Fission Moly 표적을 장전하기 위한 안내관의 제트유동 억제 후 하나로 노심유량분포

박 용 철*1, 이 병 철*2[1], 김 봉 수*3[2], 김 경 련*4[3]

Flow Distribution in the Core of the HANARO After Suppressing the Jet Flow in the Guide Tube used for Loading Fission Moly Target.

Yong-Chul Park, Byung-Chul Lee, Bong-Soo Kim and Kyung-Ryun Kim

The HANARO, multi-purpose research reactor, 30 MWth open-tank-in-pool type, is planning to produce a fission moly-99 of radio isotopes, a mother nuclide of Tc-99m, a medical isotope and is under developing a target handling tool for loading and unloading it in a circular flow tube (OR-5). A guide tube is extended from the reactor core to the top of the reactor chimney for easily loading the target under the reactor normal operation. But active coolant through the core can be quickly raised up to the top of the chimney through the guide tube. The jet flow was suppressed in the guide tube after reducing the inner diameter of a flow restriction orifice installed in the OR-5 flow tube for adding the pressure difference in the flow tube after unloading the target. This paper describes an analytical analysis to calculate the flow distribution in the core of the HANARO after suppressing the jet flow of the guide tube. As results, it was confirmed through the analysis results that the flow distribution in the core of the HANARO were not adversely affected.

Key Words: 냉각특성 (Cooling Characteristics), 유량조절 오리피스 (Flow Restriction Orifice), 안내관 (Guide Tube), 제트유동 (Jet Flow), 표적취급장치 (Target Handling Tool)

1. 서 론

Fission Mo-99는 의료용 방사성 동위원소인 Tc-99m의 모 핵종 (mother nuclide)으로 U-235의 핵분열에 의해 생성된다. 이를 30 MWth의 개방수조형 다목적 연구로인 하나로[1]에서 생산하기 위해 표적취급장치를 개발하고 있다.

Fission moly를 생산하기 위해서는 원자로 운전 중에 표적을 OR5 조사공 (irradiation hole)에 장전하여 방사선을 조사하여야 하고, 조사 후에는 표적을 인출하여야 한다. 하나로 노심이 약 12 m 깊이의 수중에 있어 표적의 장전과 인출을 쉽게 하기 위해 안내관 (guide tube)이 조사공에서 침니상부까지 연장되어야 한다.

그러나 하나로 노심은 상향유동으로 냉각되므로 표적을 장전 인출하는 경우 조사공이 비워지면 안내관은 방사선을 띤 냉각수를 수조상부로 유인하여 수조상부의 방사선 준위를 상승시킨다.

수조상부의 방사선 준위를 낮게 유지하기 위해 안내관 제트가 억제되어야 하며 냉각유량을 14 kg/s로 줄이는 경우 안내관 제트는 관 내부에서 억제됨이 조사되었다[2].

보수적으로 이 유량의 80%에 해당하는 11.2 kg/s

*1 정회원, 한국원자력연구소 연구로계통관리
*2 비회원, 한국원자력연구소 연구로기술개발
*3 비회원, 한국원자력연구소 연구로계통관리
*4 비회원, 한국원자력연구소 연구로계통관리

의 유량이 흐르도록 조사공 하부에 설치된 유량조절 오리피스의 내경을 37.5 mm에서 31 mm로 줄이는 경우 조사공이 비워지더라도 추가 차압에 의해 안내관 내부에서 안내관 제트가 소멸되었고, 표적을 장전하더라도 6.38 kg/s의 유량이 흘러 표적을 안전하게 냉각할 수 있음이 조사되었다.[3]

본 논문에서는 안내관 제트유동이 안내관 내에서 억제되는 경우 유량변동으로 인하여 주변 노심채널의 유량변동을 조사하기 위해 전산해석 기법을 이용하여 하나로 노심에 대한 유량분포를 해석하였다.

2. 하나로의 표적취급장치

하나로 노심채널은 Fig. 1과 같이 23개의 육각 노심채널과 16개의 원형 노심채널로 구성되어 있다. Fission moly 표적은 외부노심의 원형 노심채널인 OR5 조사공에 장전된다.

냉각수는 순환펌프에 의해 가압되어 Fig. 2와 같이 총 냉각수 (780 kg/s)의 90 % (703 kg/s)인 노심 냉각수가 하부유입구 (inlet plenum), 노심채널 (core channel), 침니 (chimney)를 거쳐 침니하부에 있는 출구를 통해 순환펌프에 흡입되어 순환하며 핵반응 중에 발생한 열을 냉각한다. 이중에서 50 kg/s의 유량은 유동관 외부를 냉각하기 위해 갭홀 (gap hole)을 따라 유동관 외부를 흐르며 유동관 내부를 흐르는 노심유량은 653 kg/s로 설계되어 있다.

나머지 냉각수인 총유량의 10 %는 노심을 우회하므로 노심우회유량 (77 kg/s)이라 하며 원자로 수조로 유입되어 침니상부를 지나 하부에 있는 출구를 통해 순환펌프에 흡입된다. 그 유동방향이 노심 냉각수와 반대이므로 노심을 지난 냉각수의 솟구침을 억제한다[4].

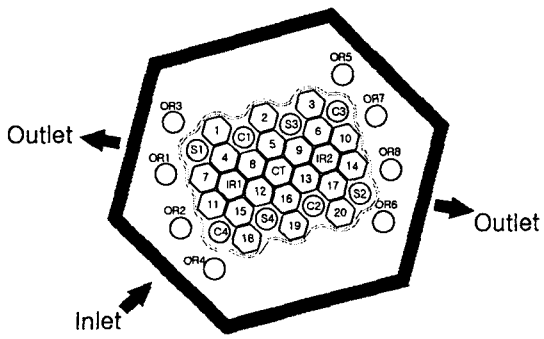

Fig. 1 Plan view of core channel of the HANARO

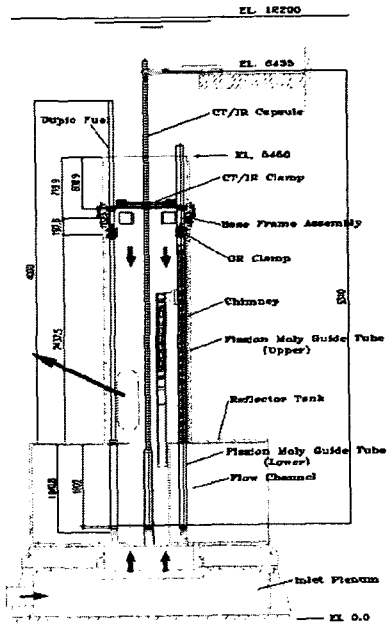

Fig. 2 Installation of fission moly guide tube

OR5 조사공의 안내관은 Fig. 2와 같이 하부와 상부 안내관이 각각 설치된다. 하부 안내관은 노심채널에 설치되어 표적을 냉각하기 위한 유로를 형성하고, 유체유발진동을 억제하기 위한 지지대 역할을 한다. 상부 안내관은 수조상부에서 표적의 장전과 인출을 용이하게 하기 위해 침니상부로 연장되며 고정장치 (OR clamp)에 의해 고정된다.

3. 계산조건 및 방법

하나로 노심의 유량분포를 계산하기 위해 상용화된 전산프로그램을 이용하여 3차원 비압축성 정상유동에 대해 해석하였다[5]. 해석방법은 실험으로 구한 각 채널의 압력손실계수를 적용하여 각 채널의 유량을 구하고, 그 결과를 실험결과와 비교하여 계산방법을 검증하였다. 검증된 계산방법을 이용하여 OR5 조사공의 안내관 제트유동이 억제된 상태의 유량과 주변 채널의 유량을 구하여 유량불균형을 조사하였다.

실험에 사용한 유량측정용 모의핵연료는 육각과 원형 핵연료에 대해 각각 3개씩 만들었다. 각각의 차압특성곡선은 식 (1)과 같이 차압 ($\triangle P$)을 측정하면 유량($\dot{m}$)을 계산할 수 있도록 표시하였다. 차압특성식의 상수 (A)와 지수 (p)는 Table 1에 각각 나타내었다[6].

Table 1 Constants and exponents of flow measurement dummy fuels

Dummy fuel		A	p	Error ratio(%)
Hexagon	DH-002	1.88853	0.566339	0.867
	DH-003	1.89123	0.559319	0.742
	DH-004	1.91453	0.548788	1.203
Circular	DC-002	1.24527	0.558143	1.514
	DC-003	1.37596	0.568535	1.678
	DC-004	1.28139	0.551514	1.325

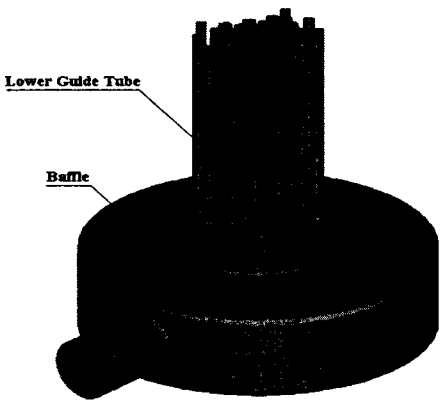

Fig. 3 Analysis model of inlet plenum and core channel for the HANARO

Table 2 Boundary conditions

Flow rate	653.5 kg/s
Differential pressure	226 kPag
Gravity accelerator	9.8 m/s^2
Temperature	40 ℃

$$\dot{m} = A(\Delta P)^{p} \quad (1)$$

해석모델은 Fig. 3과 같으며 계산범위는 유입구에서부터 노심채널 상단까지이다. 실험으로 얻은 플레넘 입구를 통해 노심으로 유입되는 유량은 갭 유량을 제외한 653.5 kg/s이다. 이때의 차압은 226 kPag로 측정되어 설계차압 210 kPag 보다 약 5% 높으며 경계조건을 Table 2와 같이 정리하였다. 격자는 정렬 및 비정렬 격자를 혼용하여 약 150만개의 cell로 구성하였으며 중력을 고려하였다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 전산해석 방법 검증

압력손실계수 실험값을 이용하여 해석한 결과는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 가로축은 각 유동채널 번호를, 세로축은 상대오차를 각각 나타내었다. 육각 노심채널의 해석결과는 실험값에 대해 4번 채널에서 최고 2.372 %의 오차를 보였으며 평균 0.865 %를 보였다. 설계값에 대해서도 4번 채널에서 최고 2.102 %의 오차를 보였으며 평균 1.031 % 보여 잘 일치함을 보여 주었다. 원형 노심채널의 해석결과는 실험값에 대해 OR4 채널에서 최고 6.102 %의 오차를 보였으며 평균 2.607 %를 보였다. 설계값에 대해서는 C3 유동관에서 최고 5.219 %.의 오차를 보였으며 평균 2.975 % 보여 주었다.

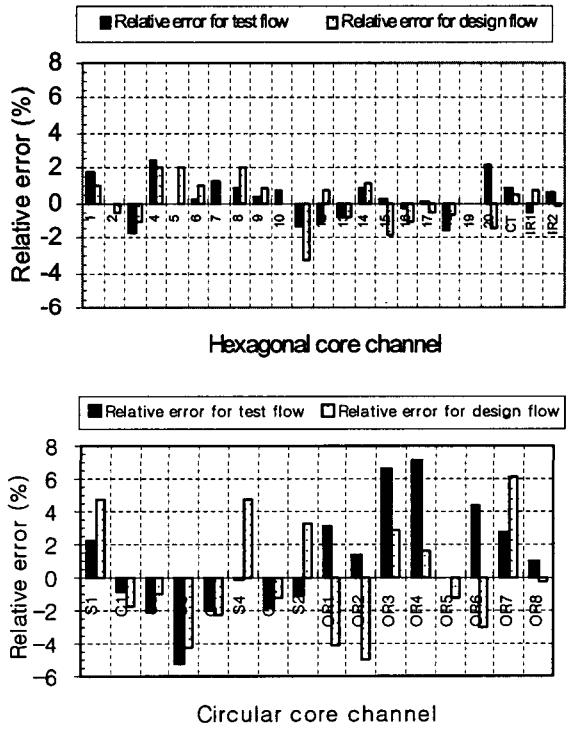

Fig. 4 Relative error of hexagonal and circular flow channel

Table 3 Total flow of design, test and calculation (unit: kg/s)

Flow tube	Design unit flow	No. of flow tube	Design flow	Test flow	Cal' n flow
Hexagon	12.58	16	201.28	201.3	203.1
Circular	19.64	23	451.72	452.2	453.2
Total flow			653.0	653.5	656.3

그리고 총 노심유량에 대해 실험유량, 설계유량 및 계산유량을 정리하여 Table 3에 나타내었다. 계산결과는 차압을 기준하였을 때 실험유량과 거의 일치함을 보여 신뢰할 수 있는 것으로 평가된다.

4.2 안내관 제트 억제 후의 유량분포

검증된 계산방법을 이용하여 안내관 제트가 억제된 후의 유량분포상태를 조사하여 Fig. 5에 각각 나타내었다. 각 그림에는 유량분포에 대해 안내관 설치 전의 실험값 (test)과 계산값 (calculation) 그리고 안내관 제트 억제 후의 계산값 (modification)을 표시하였다.

OR5의 평균유량분포는 87%이며 평균유량이 12.88 kg/s이므로 11.2 kg/s를 나타내어 안내관 제트를 억제할 수 있는 유량이 모의되었다. OR5의 유량 감소로 인해 원형노심채널의 유량분포는 C1 채널이 약 8% 증가하였고, S1 채널은 약 7% 감소하였으나 OR5를 제외한 모든 채널은 평균유량의 95%를 상회함을 보여 설계요건을 만족하였다.

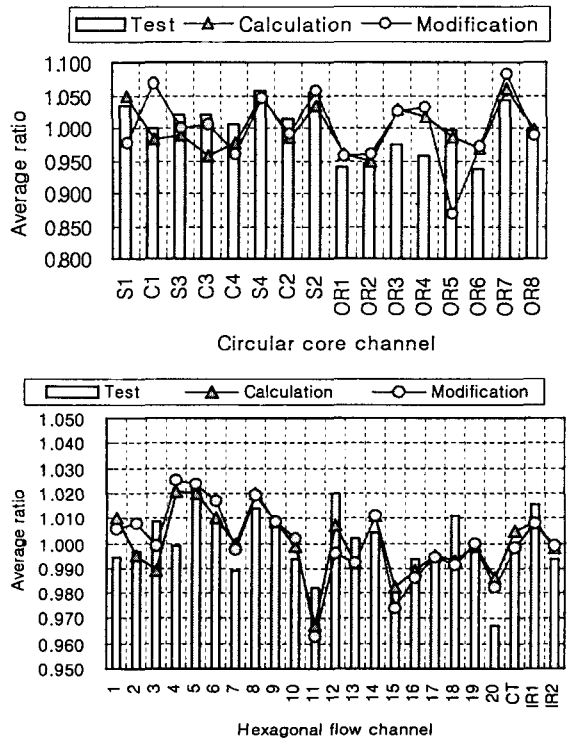

Fig. 5 Flow distribution of circular and hexagonal core channel

육각 노심채널의 유량분포에서 2번 채널이 최대 1.5 % 증가하고, 15번 유동관은 1 % 감소하였으나 모든 유동관이 평균유량의 95 %를 상회하여 설계요건을 만족하였다.

5. 결 론

Fission Moly를 생산하기 위해 OR5 조사공의 안내관 제트 억제 후 하나로 노심의 유량 분포를 검증된 계산방법으로 계산하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) OR5의 유량은 11.2 kg/s를 나타내어 안내관 제트를 억제할 수 있는 유량이 모의되었다.

2) OR5의 유량 감소로 인해 육각 노심채널의 유량은 큰 변화가 없으나, 원형 노심채널의 C1 채널은 최대 약 8 % 증가하였고, S1 채널은 최소 약 7 % 감소하였다.

3) 안내관 제트 억제 후 OR5를 제외한 모든 채널이 평균유량의 95 %를 상회하여 설계요건을 만족하였다.

참고문헌

[1] Park, Y.C. et al, 1996, "System Performance Test in HANARO," the 5th ASRR Vol.1, pp.240-246.

[2] Park, Y.C. et al, 2004, "The Analytic Analysis of Suppressing Jet Flow at the Guide Tube of Circular Irradiation Hole in the HANARO," 한국전산유체공학회 2004 춘계학술대회논문집, pp.214-219.

[3] Park, Y.C. et al, 2004, "The Cooling Characteristics for Circular Irradiation Hole under Suppressing Jet Flow at Guide Tube in the HANARO," 한국전산유체공학회 2004 춘계학술대회논문집, pp.208-213.

[4] Park, Y.C. et al, 2002, "Flow Analysis of HANARO Flow Simulated Test Facility, the Abstracts of The Fifth JSME-KSME Fluids Engineering Conference, pp.309.

[5] Fluent Inc. *Users Manual of FLUENT 5.4.*

[6] Heonil Kim et. al, 1996, "HANARO Core Channel Flow Rate Measurement," 한국원자력연구소, KAERI/TR-717/96.