

이중시편장전용 크립캡슐 설계 (Design of Creep Capsule for loading Double Specimen)

조만순, 박승재, 서철교, 주기남,
최명환, 손재민, 강영환, 김봉구

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

현재 하나로에서는 캡슐 내에 시편을 다중으로 장전하여 시험의 경제성과 효율성을 높일 수 있는 복수시편장전용 캡슐을 개발 중에 있다. 본 연구에서 설계 제작한 크립캡슐은 2개의 시편을 장착할 수 있는 캡슐이다. 본 캡슐의 시험목적은 노심에서 조사중 발생하는 크립현상을 실시간으로 측정하기 위한 것으로 하나로 노심에 캡슐을 장전하여 하중부과장치와 변위측정을 위한 LVDT의 건전성을 확인하고 온도, 압력 및 열전달계수와 같이 설계 단계에서 산정된 설계인자들을 확인하기 위한 것이다. 현재까지 하나로에서는 중성자속이 매우 낮은 IP공에서 무게장캡슐 개념으로 제작된 크립캡슐을 이용하여 조사시험을 한 경험이 있다. 본 캡슐은 하나로 노심 영역인 CT공에서 시험하므로 외형상으로는 재료계장캡슐과 같은 형상으로 설계하였다. 이중으로 장착된 시편의 온도를 올리기 위해 시편 주위에 감기는 주히터와 함께 외부 열매체에 보조히터를 2개씩 설치하였다. 시편에 응력을 부과하는 장치인 하중부과장치에 대해서는 STS316 시편에 대해 크립시험에 요구되는 응력조건을 만족한다는 것을 노외실험을 통해 확인하였다. 특히 본 캡슐은 시편, 하중부과장치, 변위측정장치로 이루어진 장치가 2세트씩 장착되므로 사용된 부품의 소형화 설계를 통해 단일시편을 장착한 02S-08K 캡슐보다 공간 이용률을 높인 특성을 지니고 있다. 본 캡슐에 복수로 장착된 하중부과장치 및 변위측정장치들에 대한 조사중 건전성 및 작동성을 조사시험시 확인하므로써 추후 4중시편을 장전할 수 있는 복수시편용 크립캡슐의 설계에 대한 기초 자료를 확보할 계획이다.

Abstract

In HANARO, multi-specimen loading creep capsule is presently being developed for

raising the utilization property considering economy and efficiency in irradiation test. The creep capsule in this study is for loading double specimen. The test purpose of the creep capsule is to confirm the integrity of the loading unit and LVDT in the in-core irradiation condition and to evaluate the design parameters such as temperature, pressure and heat transfer coefficient estimated in the design stage. The previous creep irradiation test was performed at IP hole at which neutron flux was very low, so the capsule was designed with the concept of non-instrumentation capsule of which protection tube was very short. But the appearance of this capsule is same as the material instrumented capsule which has been successfully irradiated up to now in HANARO, so that it would not be damaged in the environment of high radiation. In order to control the temperature of the double specimen, the main heaters are located around the specimen and the sub-heaters are wound around the outside Al thermal media. The integrity for the capsule parts and the instruments which are doubly equipped in capsule will be confirmed in the in-core irradiation test, and the data will be applied for designing the 4 specimen loading creep capsule to be developed.

1. 서 론

크립시험은 고온에서 재료시편에 파단이 일어나지 않는 하중을 부과하여 시간에 따른 변형정도를 파악하기 위한 시험이다. 원자로의 구조재료에 대한 크립파단 시험은 재료의 건전성을 평가하기 위한 실험으로 고온에서 조사량에 따른 재료의 기계적 특성 변화를 파악하기 위한 것이다. 한국원자력연구소에서는 차세대 원자로를 비롯한 신형원자로의 압력용기와 같은 원자로 구조재료에 이용되는 지르코늄 합금, 스테인레스강, Cr-Ni강 등에 대한 크립시험을 하나로에서 수행하기 위한 크립캡슐을 개발하고 있다. 크립캡슐 개발의 최종 목표는 4개의 시편을 동시에 조사시험할 수 있는 복수시편 장전용 크립캡슐을 개발하는 것이다. 크립캡슐을 하나로에서 활용하기 위해서는 이용자들의 활용도를 높이는 것이 중요하다. 이를 위한 방안으로 한개의 캡슐 내에 시편을 다중으로 장전하여 시험의 경제성과 효율성을 높이기 위한 캡슐을 개발하기 위한 연구가 진행 중이다.

본 연구에서 설계한 크립캡슐은 복수시편 장전용 크립캡슐 개발의 전단계 캡슐로서 2개의 시편을 장착할 수 있는 캡슐이다. 본 캡슐의 시험목적은 노심에서 조사중 발생되는 크립현상을 실시간으로 측정하기 위한 것으로 하나로의 노심에 캡슐을 장전하여 하중부과장치와 변위측정을 위한 LVDT의 건전성을 확인하고 온도, 압력, 응력변화 등 설계 단계에서 산정된 설계인자들을 확인하기 위한 것이다. 현재까지 하나로에서는 중성자속이 매우 낮은 IP공에서 무게장캡슐 개념으로 제작된 크립캡슐을 이용하여 조사시험을 한 경험 밖에 없다. 본 캡슐은 하나로 노심 영역인 CT공에서 시험하므로 외형상으로는 재료계장캡슐과 같은 형상으로 설계하였다. 이중으로 장착된 시편의 온도를 올리기 위해 시편 주위에 감기는 주히터와 함께 외부 열매체에 보조히터를 2개씩 설치하였다. 시편에 응력을 부과하는 장치인 하중부과장치에 대해서는 STS316LN 시편에 대해 크립실험에 요구되는 응력조건을 만족한다는 것을 노외실험을 통해 확인하였다. 본 연구의 캡슐은 시편, 하중부과장치, 변위측정장치로 이루어진 장치가 2세트씩 장착되므로 사용된 부품의 소형화 설계를 통해 단일시편을 장착한 이전 캡슐

02S-08K보다 공간 이용률을 높인 특성을 지니고 있다. 본 캡슐에 복수로 장착된 하중 부과장치 및 변위측정장치들에 대한 조사중 건전성 및 작동성을 조사시험시 확인함으로써 차기 개발 예정인 4중시편을 장전할 수 있는 복수시편용 크립캡슐의 설계에 대한 기초 자료를 확보할 계획이다.

크립캡슐 개발을 위한 연구는 다양하게 수행되어 왔다. 선진국에서는 재료의 조사크립 특성을 평가하기 위해서 다양한 형태의 크립캡슐을 제작하여 조사크립 시험을 수행하고 있다. 미국에서는 ORNL 및 Westinghouse 등의 연구로에서 그라파이트의 변형 거동, 액금로 구조재료의 크립 거동에 대한 연구에 조사크립 캡슐이 사용되었다. 유럽에서는 벨기에, 독일, 프랑스 및 러시아에서 원자로구조재료의 크립 특성연구 및 핵연료의 변형 거동특성 연구에 크립캡슐이 사용되었다. 특히 러시아의 IPPE에서는 코어의 중성자속이 $8.6 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 인 BR-10 연구로를 이용한 조사시험 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 연구대상 재료는 cladding 재료, 핵연료, 반사체 재료 등으로 오스테나이트 Cr-Ni강, 바나듐 합금에 대한 조사중 크립시험, 합금강에 일축 인장, 비틀림 하중부과 시험, 핵연료의 크립시험 및 cladding 재료에 대한 in-pile 피로 및 thermocycling 실험 등을 수행하였다[1]. 일본에서는 동력로와 고속중성자로의 구조재료인 Zr합금, STS304 등에 대한 in-pile 크립시험을 수행하였다[2].

국내에서도 하나로를 이용하여 조사크립 시험을 수행하기 위하여 노외시험용 크립캡슐의 개념설계와 벨로우즈를 비롯한 하중부과장치의 설계, 그립(grip)과 하중전달봉(pull rod)과 같은 하중전달장치의 연구 등 크립캡슐에 필요한 요소기술에 대한 연구를 진행해 왔다[3-5]. 원자력연구소에서는 크립캡슐을 제작하여 노심 외부 IP 시험공에서 조사시험을 수행하였다[6]. 최근에는 노심 내부 CT공에서 조사시험을 하기 위하여 단일시편을 장착한 크립캡슐을 제작하여 2004년 중에 시험을 수행할 계획이며[7], 복수시편장전용 기계적 시험장치의 설계 및 모형을 제작하고 있다[8].

2. 이중시편 장전용 크립캡슐 설계

본 크립캡슐은 하나로를 이용하는 표준형 복수시편장전용 크립캡슐을 제작하기 위해 캡슐 및 부품의 건전성과 온도 특성 등을 파악하기 위해 설계되었다. 표준형 복수시편장전용 크립캡슐로는 4개의 시편이 장전되는 크립캡슐을 개발할 계획인데, 본 캡슐은 이중시편 장전용 캡슐로서 복수시편용 캡슐의 과도기 모델로 설계되었다. 이 캡슐 설계의 주요 개념은 직경 60mm, 본체 길이 1,000mm로 제한된 공간에 시편부, 하중부과부 및 변위측정부로 구성되는 주요 부품 세트(시편변위측정부)를 상하부로 나누어 2세트를 장착할 수 있도록 하는 것이다. 본 캡슐은 단일시편장전용 크립캡슐의 설계를 근간으로 설계가 이루어지지만 시편변위측정부의 길이를 축소해야 하고, 시편부가 2세트 설치되므로 열전대, 히터, LVDT 등으로 구성되는 제어선들이 캡슐 상부로 서로 간섭되지 않고 빠져 나올 수 있도록 배치하는 것이 중요하다. 크립캡슐에 사용되는 제어선들은 시편 1개당 열전대 7~8개, 히터선 2개, LVDT선 1개, He 가스배관 2개로 이루어져 있다. 이중시편장전용 크립캡슐은 설계자료의 생산 목적 외에도 노내시험을 통해 크립시험을 하는 캡슐의 온도 특성을 분석하고 장기간 시험시 캡슐의 건전성을 확보하기 위한 목적으로 설계되었다. 설계시 고려된 조사기간은 28일이며 조사공은 CT공을 대상으로 하였다.

이중시편장전용 크립캡슐을 CT공에 장전하였을 경우에 대한 반응도 효과를 점검하고 조사량과 발열량을 평가하기 위한 조건으로 30MW 출력에서 조사시키는 것으로 하였다. 이러한 조건에 대하여 예상되는 0.1 및 1MeV 이상의 고속중성자 조사량과 발열량을 계산

하였다. 핵적 계산 조건은 새 핵연료가 완전 장전되어 있는 노심을 대상으로 하였으며 제어봉의 위치를 450mm로 설정하였다. 캡슐의 장전에 따른 반응도 효과를 조사하기 위하여 CT에 모의 핵연료가 장전되어 있을 때와 캡슐이 장전될 때에 대한 각각의 임계값을 계산하였다. 두 가지 노심에 대한 비교로 캡슐의 반응도 효과는 9.2mk로 나타났으며 제한치인 +12.5mk를 만족하는 것으로 나타났다. 이 값은 이전 크립캡슐인 02S-08K의 반응도 효과가 5.3mK임을 고려하면 상대적으로 크게 나타났다[9]. 그 원인은 이 캡슐이 이중시편장전용 크립캡슐로 제작되었기 때문에 중성자 흡수 물질인 STS304, STS316 등이 02S-08K 캡슐보다 많이 사용되었기 때문이다. 시편이 있는 부분은 최대 온도가 발생하는 부위로 축방향으로 5등분하여 발열량을 자세히 기술하였다. 최대발열량은 중심에서 -6.7cm 위치에 있는 STS316 시편에서 나타나며 값은 6.56W/g이다. 시편을 제외하고 STS316, STS304 및 Al 열매체와 같은 중심부위 주요 구조재에서의 발열량은 5.01~6.34W/g의 범위에 있다.

본 캡슐에 대한 조사시험은 2004년 하반기에 하나로 노심조사공인 CT공에서 수행할 계획이며, 28일 조사기준으로 중성자조사량은 $6.86 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2 (E > 0.1 \text{ MeV})$, $3.24 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2 (E > 1.0 \text{ MeV})$ 이다.

1) 시편부 및 히터 설계

본 캡슐에 사용된 시편은 단일시편장전용 크립캡슐인 02S-08K에 장전된 시편과 동일하다. 시편은 게이지부의 길이가 그림 1과 같이 $\phi 3.8 \text{ mm} \times 25 \text{ mmL}$ 인 STS316LN 재질을 사용하였다. 시편은 동일한 조건에서의 크립특성을 조사하기 위해 상하부에 2개를 장착하였다. 시편의 목표 온도는 600°C 이다. 시편의 온도조절장치는 진공계통, 헬륨공급계통, 히터, 온도측정장치 및 컨트롤러로 구성된다. 시료부의 온도는 본체 내부의 진공도를 $\sim 5 \text{ torr}$ 까지 조절하여 감마 발열만으로 조사 목표온도보다 높아지는 경우에는 내부의 분위기를 He 압력에 의해 냉각을 용이하게 하고 목표 온도보다 낮아지는 경우에는 히터로 가열한다. 히터는 주히터와 보조히터로 구성된다. 주히터는 2.5kW 용량의 코일상의 히터로 시편을 둘러싸고 있는 STS304 봉에 감아 시편에 열을 가할 수 있도록 하였다. 보조히터는 주히터의 고장시 사용하는 히터로 주히터 외부에 위치한 Al 열매체에 감겨있다. 시험응력의 최대값은 시편의 항복강도보다 높은 $200 \sim 230 \text{ MPa}$ 이며 이때 시편 주위 그림에서는 $231 \sim 266 \text{ kg}$ 이 하중이 요구된다.

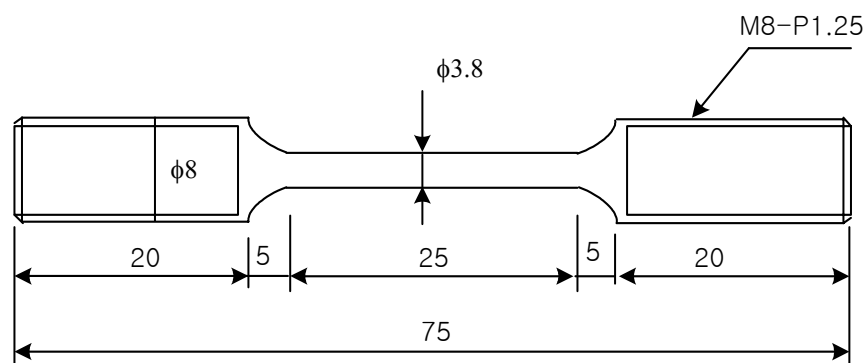


그림 1 03S-07K 크립캡슐 시편

2) 본체 설계

크립캡슐은 시편, 홀더부를 포함하는 시편부 외에 하중을 가하는 부분, 변형을 측

정하는 부분, 시편의 온도를 조절하는 부분으로 크게 구분할 수 있으며, 이들을 위한 외부장치로 열매체, 외통, 하중부과와 온도제어에 관련된 제어부, 변형량과 하중 측정에 관련된 데이터 수발부가 있다. 캡슐 외통은 각 부분품들을 수용하고 지지해 주는 부분으로 벨로우즈 등의 하중부과장치, 하중전달봉, 요크 및 시편그립과 시편 온도조절을 위한 히터, 내부 압력 조절을 위한 헬륨배관, 변위 측정을 위한 LVDT 및 온도 측정과 압력제어를 위한 T/C, 배관 등을 포함한다. 하중부과장치는 벨로우즈와 연결된 하중전달봉의 하부에 가스로 압력을 가하여 힘을 전달하고 요크와 그립을 통해 시편에 필요한 하중을 전달하는 장치이다.

캡슐의 외통은 직경 60mm의 STS316 튜브를 사용하며, 내부 재질로는 감마열에 의해 발생하는 열을 제거하기 위해 AI-1050을 사용하고 하중을 받거나 전달하는 부위에는 구조적 건전성을 확보하기 위해 STS304를 사용하였다. 그림 2 및 3은 단일 시편장전용 크립캡슐 02S-08K의 시편부 부품과 조립된 모습으로 이중시편장전용 크립캡슐에 사용된 시편부의 모습과 동일하다.



그림 2 크립캡슐 시편부 부품



그림 3 시편부와 히터(조립 후)

하중부과장치는 벨로우즈 외에도 요크, 하중전달봉, 시편 그립과 가압장치로 구성된다. 본 캡슐에 사용된 하중부과장치의 하중전달 과정은 단일시편장전용 크립캡슐 02S-08K 크립캡슐에 사용된 하중전달 장치에 대한 모습인 그림 4 및 5로부터 이해될 수 있다. 그림 4는 캡슐 내부에 장착된 하중부과장치로 시편에서부터 벨로우즈까지의 전체 모습이다. 첫 번째 그림은 시편과 붙어 있는 부분으로 시편이 하중을 받아 움직이게 되면 시편과 함께 움직이는 부분이다. 이 그림을 통해 하중부과의 원리를 알 수 있다. 그림의 두 번째 부분은 시편과 분리되어 있으며 시편이 움직이더라도 움직이지 않는 고정된 부분으로 프레임 역할을 해 준다. 그림의 세 번째를 보면 이 두분이 합쳐져서 조립되어 있는 모습으로 벨로우즈 상부에 가스로 압력을 가할 때 하중을 전달하는 과정을 볼 수 있다. 벨로우즈의 재질은 하스텔로이강이며, 직경 34mm, 스프링상수는 1.2kg/mm이다. 그림 5는 캡슐 내부에 있는 하중부과장치를 확대한 모델로 노외에서 하중부과시험용으로 사용되는 장치이다. 캡슐에 장착되는 하중부과장치는 2개가 필요하지만 외부에서 부과되는 가스압력에 따른 하중이나 응력을 파악하기 위해서 동일한 하중부과장치를 한조 더 제작하여 이 장치에서 노외 하중부과 특성을 파악하는 것이 필요하다. 본 캡슐에 사용된 벨로우즈의 특성은 표 1과 같다.



그림 4 하중부과장치 및
하중전달개념



그림 5 노외하중부과장치

변위량의 측정에는 LVDT가 사용되었다. 사용된 LVDT의 특성은 표 2와 같다. LVDT는 시편의 파단검출에도 사용되는데 LVDT와 연결된 제어장치에서 변위량이 최대변위량인 10mm에 이르면 파단으로 간주하도록 설계하였다. 크립시험 중 시험변수 데이터는 측정 및 데이터 수발장치에 의해 수행된다. 측정되는 데이터는 시편에서의 응력, 변위, 온도 및 본체 내부, 하중부과장치에서의 압력이다. 온도측정은 시편 및 시편과 같은 높이에서 외통 쪽을 향하여 5개의 T/C를 장착하여 반경에 따른 온도변화를 측정하도록 하였다. 장착된 T/C의 위치는 시편 외부, 시편 스페이서(spacer) 외부, 히터 외부, 코넥터 외부 및 Al. 열매체 외부로 중심으로부터 같은 높이에 장착되어 있다. 상부와 하부에는 LVDT부, 하중부과장치부 및 연결 금구에 6개의 T/C를 장착하였다.

표 1 Bellows 특성

항목	사양
재질	Hastelloy C-276 cold reduced
최대 운전 압력(ΔP)	50kg/cm ²
Free length	70
최대 압축 길이	50
Cycle 수명	19,314
외/내경	34/23mm
Leaflet 두께	0.14mm
Convolutions	52
No of plies	2

표 2 LVDT 특성

항목	사양
설계온도(사용온도)	600℃
운전 압력	50kg/cm ²
사용 분위기	헬륨가스
변위 측정범위	±10mm
최소검출 감도	0.01mm
외관 크기	120mmL & 2m integral MI cable

3. 온도계 산

캡슐 내부의 온도를 결정하는데 있어서 가장 중요한 것은 내부 부품 사이의 간격을 정하는 것이다. 시편이 있는 동일 수직 높이에서 캡슐 부품 사이에 있는 간격은 시편과 히터 사이, 히터와 열매체 사이 및 열매체와 외통 사이로 0.1mm의 간격으로 제작되어 있다. 그 외에 시편 게이지부 움푹 들어간 부위에는 외부로의 열전달을 용이하게 하기 위해 2개의 스페이스(spacer)가 접촉된 상태로 붙어 있다. 갭 사이에 공간을 차지하고 있는 He가스 분위기의 열전달계수의 변화로 인해 온도계산시 갭은 온도의 불연속 면이 된다. 온도계산 모델은 시편과 스페이스 사이의 갭을 고려해 주는 모델과 두 면이 접촉되어 한개의 재질로 되어 있다고 간주하는 모델이 있다. 본 크립캡슐의 온도계산에서는 시편과 스페이스 사이의 갭의 불연속면을 고려해 주는 모델을 사용하였다. 이 연구에서 사용한 온도계산 모델은 그림 6과 같다. 캡슐 내부의 온도를 계산하기 위해서는 GENGTC, Heating 7.2f 또는 ANSYS 등의 전산프로그램들이 많이 이용되고 있다[10].

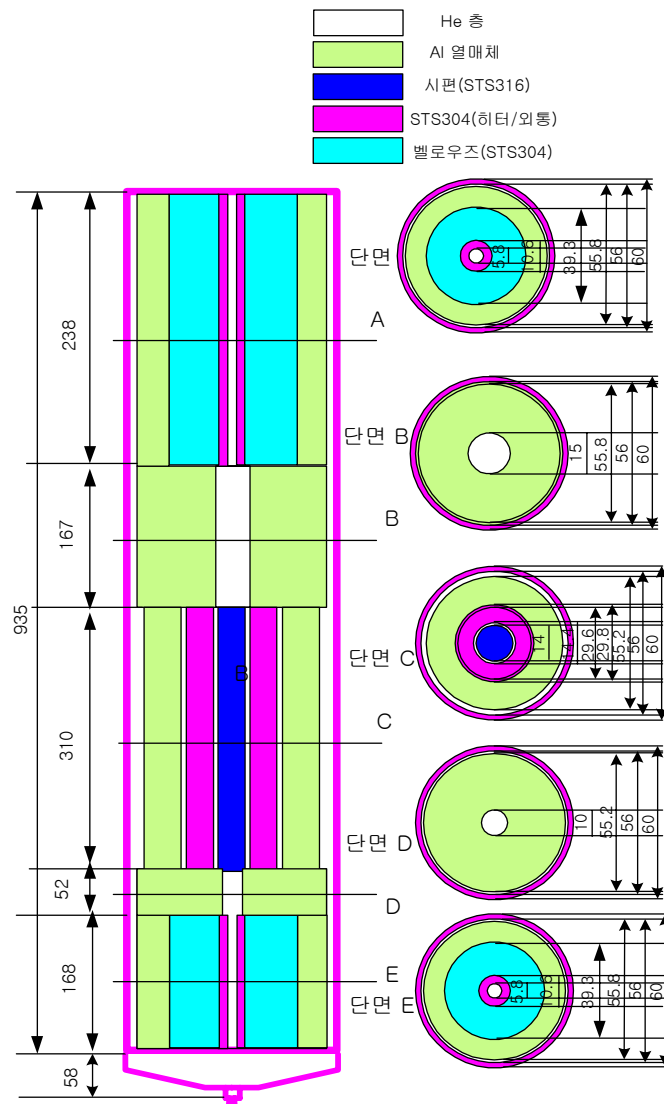


그림 6 크립캡슐(03S-07K) 핵/열계산 모델

현재 개발 중인 크립캡슐은 시편부 및 상하 중요 부위의 단면이 동심원을 이루고 있어서 프로그램의 운용이 가장 간단한 GENGTC code와 2차원 열계산을 하는 ANSYS code를 이용하여 캡슐 각 부분의 온도를 계산하였다.

캡슐 내부에서 위치와 재질별로 나타낸 발열량은 그림 7과 같다. 본 캡슐의 경우 발열량이 가장 높은 부위가 시편 위치이며 중심위치를 기준으로 볼 때 다른 부분은 빈 공간이며 재료가 채워진 부분은 시편부 밖에 없으므로 시편부의 온도가 가장 높다. 그러므로 시편위치의 단면에 대한 온도계산을 나타내었다. 열계산에서 냉각수 온도는 36℃로 설정하였으며 노심에서의 열전달계수는 $30,300\text{W/m}^2\text{℃}$ 이다. 열발산 방식은 캡슐 내부에서는 전도 방식으로 열이 밖으로 전달되고 외통에서는 대류에 의한 열전달 방식으로 열이 냉각수로 발산된다. 온도계산시 캡슐 내부의 압력은 1기압으로 설정하였다. 온도계산시에 사용된 시편부위의 단면적은 그림 8과 같다.

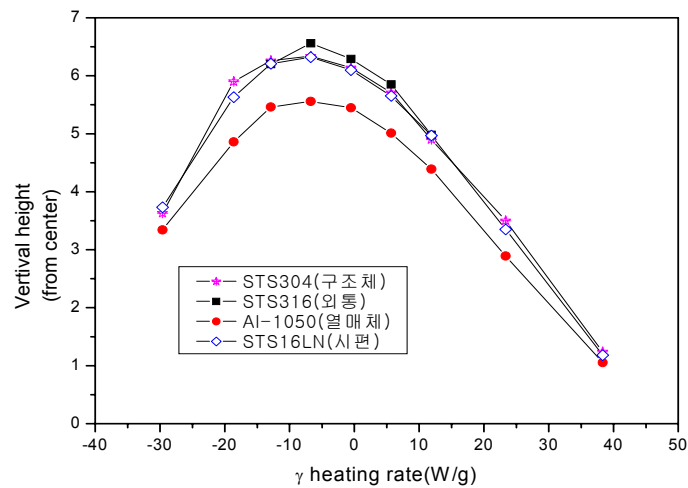


그림 7 크립캡슐(03S-07K)의 감마 발열량

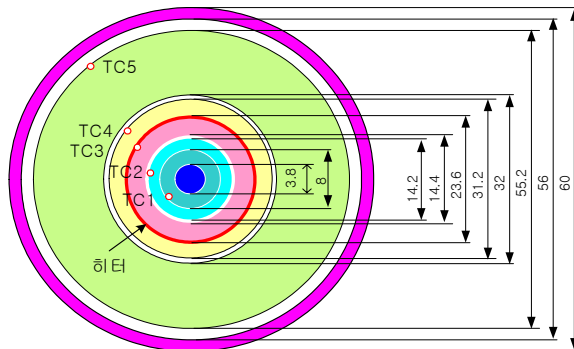


그림 8 크립캡슐(03S-07K)의 시편부 단면

시편부 단면에 대해 갭간격과 히터 출력에 따른 온도분포는 그림 9 및 그림 10과 같다. 그림 9의 그래프 중 제일 위의 곡선은 하나로 출력 30MW, 캡슐 내부압력 1기압, 갭간격 0.1mm에서의 온도를 나타낸다. 갭간격이 0.1mm에서 설계시 사용한 재질을 기준으로 계산한 값은 히터를 사용하지 않고도 600℃에 도달한다. 이는 온도에 여유를 갖지 못하는 결과를 나타내므로 내부의 재질 변화를 고려할 필요가 있다. 시편의 온도를 낮추어 주기 위해서는 외부로의 열전도가 높은 재질을 사용해야 한다. 재질 변화를 위해 고려된 부품은 Al. 열매체 바로 안쪽에 있는 고정된 내부코넥터와 시편 게이지부를 싸고 있는 시편덮개 중 바깥덮개다. 이 부품들의 온도는 조사시험 시 400℃ 이하로 Al을 사용해도 좋다. 캡슐 내부 코넥터의 재질은 STS304인데, 이 부분은 시편과 히터를 둘러싸고 있는 고정된 부분으로 시편부의 moving part가 움직일 때 가이드 역할을 해준다. 그러므로 코넥터의 재질을 Al. 과 같이 열전달이 좋고 강도가 약한 재질로 사용하더라도 문제가 발생되지 않는다. 또한 시편 게이지부 움푹 들어간 곳의 공간을 채워 열전달을 용이하게 해 주기 위해 채운 스페이서 재료 중 바깥 부분의 재질을 Al.으로 바꾸는 경우에 대해서도 온도 변화를 고려하였다. 그림 9의 그래프 중 아래 두 곡선은 내부 부품 중 코넥터와 시편덮개의 재질을 바꾸었을 때의 온도 분포를 나타내고 있다. 이때 갭간격은 모두 0.1mm로 고정하였다. 계산결과 코넥터만 Al.으로 바꾼 경우에 시편의 온도가 525℃로 나타났으며, 코넥터와 시편덮개를 모두 Al.으로 바꾼 경우에는 시편의 온도가 439℃로 나타났다. 이 결과를 기준으로 코넥터의 재질을 Al.으로 하는 것이 시편의 목표 온도에 안전하게 도달할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 10은 하나로 출력 30MW, 캡슐 내부압력 1기압, 갭간격 0.1mm 조건에서 히터 출력을 변화시켰을 때의 온도변화를 나타낸다. 히터 출력 변화에 따라 시편의 온도는 0kW에서 525℃, 0.5kW에서 560℃, 1.0kW에서 591℃, 1.5kW에서 620℃로 나타났다. 그러므로 목표온도인 600℃에 도달하기 위해선 코넥터의 재질을 Al.으로 하고 갭간격 0.1mm, 히터 출력 1.0~1.5kW인 상태가 되어야 한다는 것으로 나타났다.

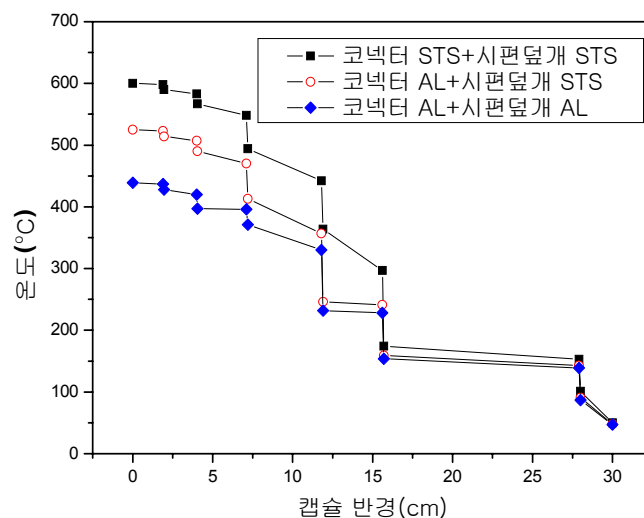


그림 9 크립캡슐(03S-07K)의 온도분포
(갭 0.1mm, no heater, 내부 재질 변화 고려)

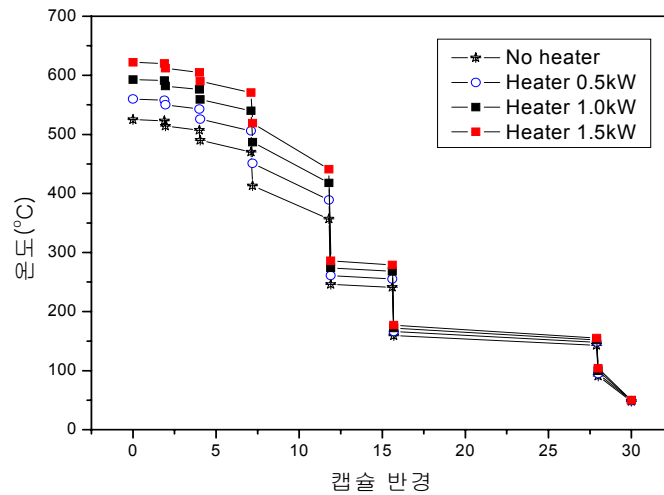


그림 10 크립캡슐(03S-07K)의 온도분포
(캡 0.1mm, 히터 출력 변화)

캡슐 표면 온도는 하나로에서의 ONB 조건인 124°C 이하가 되어야 한다. 위 두가지 경우 모두 캡슐 표면 온도가 $47\sim 50^{\circ}\text{C}$ 의 범위에 있다. 그러므로 어떠한 경우에도 외통의 온도는 ONB 조건을 만족한다.

4. 결론

본 크립캡슐은 이중시편장전용 캡슐로서 하나로에서 이용자들의 활용도를 높이기 위해 개발 계획인 표준형 4중시편용 크립캡슐을 제작하기 위해 설계되었다. 조사시험을 통해 캡슐 부품의 건전성에 대한 특성을 파악하고, 4중시편용 크립캡슐 설계자료의 생산 목적 외에도 노내시험을 통해 장기간 시험시의 캡슐의 건전성을 확보하기 위한 데이터를 확보한다. 이 캡슐은 중성자속이 높은 노심시험공 CT에서 조사시험할 예정이므로 현재까지 조사시험을 해 온 기존 재료계장캡슐과 외형을 같게 하여 노심에서의 유속과 방사선 등에 의한 외부적인 요인으로부터는 안전하도록 하였다. 내부적으로는 온도와 벨로우즈의 고압에 의한 안전성이 고려되었다. 조사시험시 시편 주위에 위치한 주히터가 손상되는 경우에 대비하여 시험을 계속할 수 있도록 외부 열매체에 보조히터를 설치하였다. 시편에 응력을 부과하는 장치인 하중부과장치에 대해서는 STS316LN 시편에 대해 크립실험에 요구되는 응력조건을 만족한다는 것을 노외실험을 통해 확인하였다. 본 캡슐에 대한 조사시험은 2004년 하반기에 수행될 계획이며, 조사온도 600°C 에서 크립현상을 관찰하고 크립률을 산정할 계획이다. 이 시험을 통해 중성자속이 높은 노심 조사공에서 크립시험에 대한 캡슐, 부품 및 계장품들의 건정성을 확인하고, 이중으로 장착된 시편과 변위측정부 등의 작동 성능 검증을 통해 추후 설계 예정인 하나로의 표준형 복수시편장전용 크립캡슐 설계에 대한 기반을 수립할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 과기부에서 시행한 원자력증장기사업 중 조사시험용 캡슐 개발 및 활용 연구
과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 맹완영 외, “노외시험용 특수캡슐 개발”, KAERI 기술보고서, KAERI/TR-1563/00, 2000.
2. 齊藤 隆 외, “고속로용 구조재의 크립파단시험용 조사캡슐의 설계/제작 및 조사시험, JAERI 메모 62-029, 1987
3. 최용 외, “지르코늄 합금의 조사크립 시험장치 개념설계”, ‘99 한국원자력학회 추계학술대회 논문집, 1999.
4. 조만순 외, “조사크립 캡슐의 예비설계”, ‘01 한국원자력학회 추계학술대회 논문집, 2001.
5. 조만순 외, “조사크립 캡슐의 설계요건 및 하중부과 장치 실험”, ‘01 한국원자력학회 추계학술대회 논문집, 2001.
6. 조만순 외, “크립캡슐(01S-01K)의 온도분포 계산과 구조적 건전성 해석”, ‘03 한국원자력학회 추계학술대회 논문집, 2003.
7. 조만순 외, “크립캡슐 02S-08K 설계 및 제작”, ‘03 한국원자력학회 추계학술대회 논문집, 2003.
8. 최용 외, “지르코늄 합금의 조사 크립 시험방법 연구”, KAERI 기술보고서, KAERI/CM-404/99, 1999.
9. 서철교, “크립캡슐(03S-07K)의 조사량 및 발열량 예비 평가”, 내부통신문, HAN-RR-CR-920-04-005, 2004. 1. 13
10. GENGTC-JB, 조사용 캡슐 내 온도평가 프로그램, JAERI-M-87-148, 1987