



KR0101278

KAERI/TR-1755/2001

우라늄 진공연속주조 기술 개발

Development of Vacuum Continuous Casting
Technology for Uranium

2001. 2

한국원자력연구소

32 / 49

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2000년도 “사용후핵연료차세대관리공정기술개발과제”의 “우라늄
진공연속주조 기술 개발” 기술보고서로 제출합니다.

2001. 2

주 저 자 : 이 윤 상
공 저 자 : 김 창 규
신 영 준
김 기 환
이 돈 배
김 정 도
장 세 정
안 현 석
김 응 수

요 약 문

I. 제목

우라늄 진공 연속주조 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

사용후핵연료를 효과적으로 처리하기 위하여 사용후핵연료를 리튬금속을 이용하여 환원시켜 길이가 긴 봉 형태로 주조한 후 케니스터에 저장하는 새로운 개념의 건식 처리방법을 개발하고 있다. 이 공정 중 저장 금속봉을 주조하기 위하여, 우라늄을 가늘고 긴 봉 형태로 주조할 수 있는 방법 중 연속주조 방법의 가능성을 검토하는데 연구의 목적이 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

기존의 석영관 형태의 고주파유도 용해로를 개조하여 우라늄을 연속주조 할 수 있는 방법을 검토하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 석영관 형태의 진공유도 용해로를 진공 연속주조 장치로 개조
 - 가. 연속주조 몰드 설계
 - 나. 인출기 구동 시스템 설치
2. 인출 시점 및 용탕의 응고 거동을 예측하기 위한 응고해석
3. 연속주조 시험
 - 가. 노즐 크기 및 인출 속도 조정
 - 나. 몰드 온도 측정 및 응고 해석 결과와 비교
 - 다. 비파괴 검사 중 중성자투과시험법을 사용한 결함 유무 확인

IV. 연구개발 결과

기존의 진공유도용해로를 개조하여 사용후핵연료의 모의 저장 금속봉을 주조하기 위한 우라늄 연속주조의 가능성 여부를 타진하기 위한 실험을 한 결과 결론은 다음과 같다.

1. 노즐 크기 지름 3mm 인출속도 초당 3.5 mm로 하여 지름 30mm, 길이 160mm의 우라늄 연속주조봉을 인출할 수 있었다.
2. 이 결과를 활용하여 본격적인 연속주조 장치를 설계 및 제작하는데 활용할 수 있게 되었다.

SUMMARY

I. Project Title

Development of Vacuum Continuous Casting Technology for Uranium

II. Objective and Importance of the Project

The spent fuel disposal process of new dry storage concept has been developed in KAERI, in which the uranium metal abstracted by Li-reduction of spent fuel will be formed to long rods and then the rods will be arranged uniformly in canister. The objective of this study is to review the feasibility of applying the continuous casting method to cast a long rod with modifying the vacuum high-frequency induction furnace to vacuum continuous casting system, which was normally used to cast the uranium.

III. Scope and Contents of Project

1. The modification of the vacuum induction furnace to the vacuum continuous casting system which consists of mold, crucible and withdrawal servo-motor
2. The analysis of the solidification behavior of the uranium using Magma software.
3. The experiment of the continuous casting
 - a. Investigation of the optimum condition of the withdrawal speed and nozzle size variations for the uranium continuous casting
 - b. A comparison between the experimental results and the calculation results for the temperature behavior of the melting uranium to solid uranium.
 - c. Nondestructive testing of neutron radiography for the uranium bars

IV. Result of Project

In order to review the feasibility of the continuous casting technology for fabricating the uranium bars, with modifying the vacuum high frequency induction furnace to the continuous casting system, the results are as follows.

1. With the nozzle size of 3mm and the withdrawal speed of 3.5 mm/sec, the length of 160mm, diameter of 30 mm continuous casting uranium bar was successfully cast.
2. This result shows there might be a possibility of continuous casting of uranium and helps the design and fabrication of new continuous casting equipment.

목 차

제 1 장 서 론	8
제 2 장 진공연속주조 장치 설계 및 제작	9
1. 용해로 및 도가니	9
2. Nozzle의 크기 계산	9
3. 몰드의 설계	12
4. 인출기 구동 시스템	13
제 3 장 응고해석	16
제 4 장 실험 및 결과	21
1. 우라늄의 연속 주조 실험 조건	21
2. 연속주조 실험 결과	22
3. 실험 결과 고찰	23
4. 비파괴검사(중성자투과시험)	26
제 5 장 결 론	28
제 6 장 참고 문헌	29
부 록	30

표 목 차

표 1. 진공 연속주조 실험 조건	21
표 2. 몰드 온도 측정 결과	21

그림 목 차

그림 1. 기존의 석영관 형태의 진공유도로를 개조한 연속주조 장치	11
그림 2. 인출기 구동시스템	14
그림 3. 조립도 및 진공 고주파 유도 용해장치 외관	15
그림 4. 응고해석을 위한 Mesh 및 경계 조건	17
그림 5. Mesh 내에서의 열전대 위치 및 냉각곡선	18
그림 6. 응고 시간에 따른 용탕의 고액 계면 변화	19
그림 7. 출탕 후 15초 시점의 우라늄 용탕의 온도 분포	20
그림 8. 1회차 연주실험 결과 연주봉	22
그림 9. 2회차 연주실험 결과 연주봉	22
그림 10. 3회차 연주실험 결과 연주봉	23
그림 11. Break out 발생기구	25
그림 12. 중성자 투과 시험 결과(수직방향관찰)	26
그림 13. 중성자 투과 시험 결과(수평방향관찰)	27

제 1 장 서 론

원자력발전소에서 발생하는 사용후핵연료를 리튬 금속을 이용하여 환원시켜 우라늄금속봉으로 제작하여 캐니스터에 저장하게 되면 기존의 사용후핵연료 저장 방법보다 체적이 1/4로 줄어들 뿐만 아니라, 높은 방사성 준위를 갖는 ^{137}Cs , ^{90}Sr 과 같은 원소를 제거할 수 있게 된다. 이러한 새로운 개념의 사용후핵연료 처리 기술 중 환원된 우라늄 금속을 주조하기 위한 금속저장봉 주조 과정이 있다. 이러한 금속저장봉은 지름이 약 13.5 mm, 길이 약 3.8 m로 설계되어 있으며, 이 우라늄 금속봉을 집합체에 일정한 간격으로 넣기 위해서는 주조된 봉의 진원도 및 직진도가 좋아야 하고, 내부 결함이 없어야 하며, 매끈한 표면을 가져야 한다.

본 연구에서는 일반적으로 가늘고 긴 금속의 주조에 사용되고 있는 강 및 비철 금속의 빌렛 생산에서 용융 금속에서 연속적으로 주조하여 공정을 간략화하고 제품의 수율을 향상시킬 수 있는 연속 주조 방법을 적용하여 보고, 그 타당성을 검토하기 위하여, 기존의 석영관 형태의 진공고주파 유도로를 개조하여 진공 중에서 우라늄을 연속주조 하여 우라늄 연속주조의 가능성을 검토하였다.

제 2 장 진공연속주조 장치 설계 및 제작

우라늄 금속을 긴 봉 형태로 성형할 수 있는 방법 중 연속주조 방법의 가능성을 타진하기 위해, 기존의 석영관 형태의 진공 유도용해로를 개조하여 석영관 안에 도가니, 몰드 및 인출기를 설치하였다. 일반적으로 연속주조 장치의 몰드는 냉각수를 공급하여 적정한 온도구배를 맞춘 후 일정 위치에서 고액계면이 형성 되도록 한 후 인출하는 구조로 되어 있다. 본 연구에 사용된 진공유도용해 장치에는 몰드에 냉각수를 공급할 수 없었기 때문에 우라늄 연속주조의 가능성만 타진하기 위해 지름 30mm의 우라늄 봉을 300mm 인출할 것을 목표로 그림 1과 같이 설계 및 제작하였다.

1. 용해로 및 도가니

우라늄은 산화성이 강하여 대기 중에서 용해 및 주조가 불가능하며 용탕 중에 존재하는 수소, 산소, 질소 등의 기체를 제거하기 위하여 진공 탈가스가 가능한 진공 유도 용해 방법이 일반적으로 사용된다. 기존의 고주파 유도로는 진공펌프를 사용하여 석영관 내부를 진공도 10^{-3} torr로 유지하면서 석영관 외부의 수냉 구리 코일에 주파수 3 kHz의 교류를 인가하여 용해한다. 도가니는 흑연 도가니에 $ZrSiO_2$ 가 주성분인 Holcote#110을 사용하여 코팅한 후 사용하였다. 용탕은 stopper로 막혀 있어 용해 시 들어올려 용탕을 노즐을 통해 직접 몰드로 흘러 내렸다. 도가니와 구리 몰드 사이에는 단열재(Graphite Felt)를 사용하여 도가니의 열이 몰드로 전달되지 않도록 하였다.

2. Nozzle의 크기 계산

필요한 주입률에 맞는 노즐 지름은 베르누이의 정리로부터 쉽게 계산된다.

$$Q = ca\sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서 c: vena contracta의 수축계수

a: 노즐의 면적

h: 용탕의 높이

예를 들면 원형 orifice에 대해 평균값이 $c=0.62$ 라 하면, 몰드 면적 A_m cm^2 로 용융금속을 볼 때, 잉고트 인출속도를 v cm/sec .라 할 때, 위 식으로부터 아래와

$$dn = \frac{2.15\sqrt{A_m v}}{\sqrt[4]{h}} \text{ 같이 된다.} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 dn은 노즐 orifice의 직경(mm)이다. 베르누이의 원리 적용에서는 표면 장력과 점도는 무시하였다. 용탕의 인출속도를 0.5 cm/sec, 몰드의 지름 30 mm이면,

$$dn = \frac{2.15\sqrt{A_m v}}{\sqrt[4]{h}} = \frac{2.15\sqrt{7.06 \times 0.5}}{\sqrt[4]{4}} = 2.9 \dots\dots\dots (3)$$

즉 노즐의 크기는 약 2.9 mm가 된다. 따라서 노즐 내부에 이형제인 Holcote로 코팅하기 때문에 코팅 두께 등을 고려하여 노즐의 지름을 3.0 mm로 가공하였다.

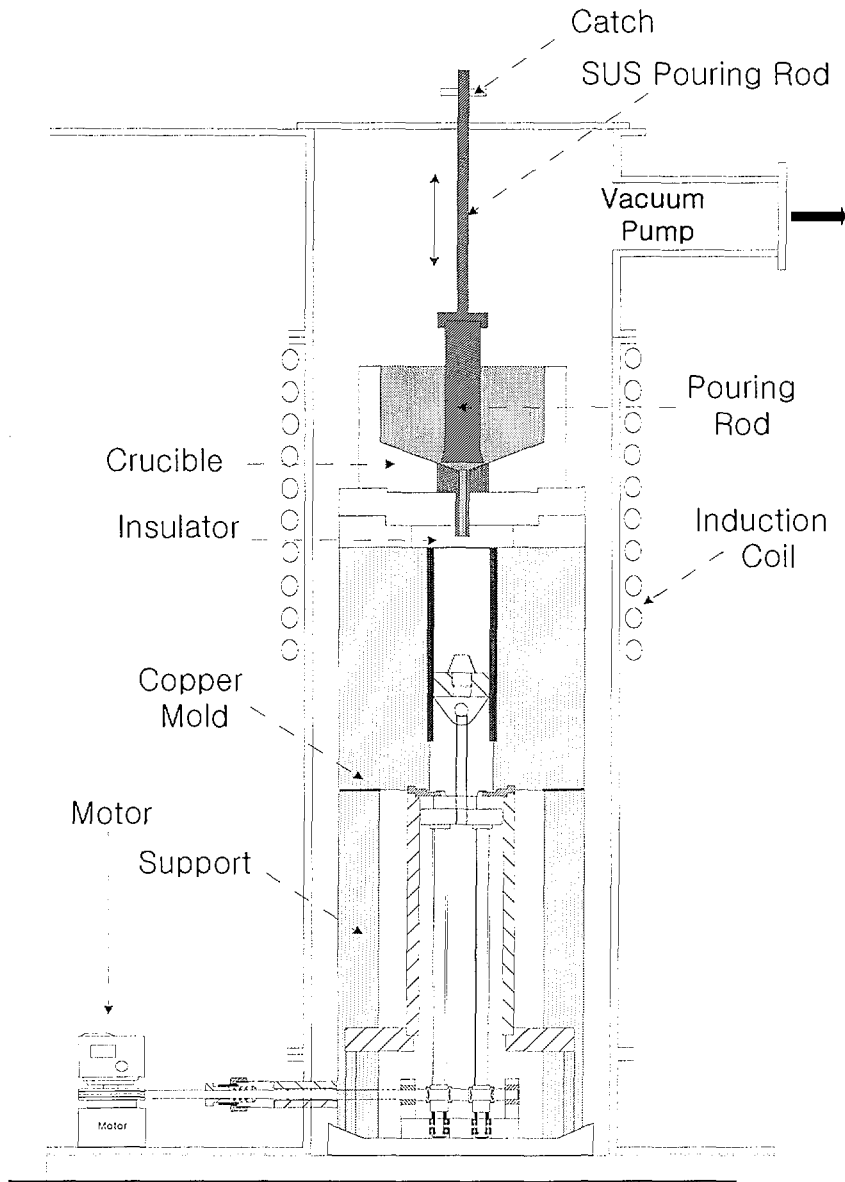


그림 1. 기존의 석영관 형태의 진공유도로를 개조한 연속주조 장치

3. 몰드의 설계

연속주조에서 몰드의 설계는 매우 중요하다. 몰드를 설계할 때 고려해야 할 변수는 여러 가지이며 이들의 관계는 복잡적이므로 몰드의 설계는 간단하지가 않다. 인출 속도는 잉고트를 인출할 때 응고 표면이 충분한 강도를 가지며, 잉고트가 끊어지지 않고 잉고트와 몰드와의 접촉 저항력이 크지 않아 표면이 매끈하게 주조되는 최적의 속도를 갖도록 해야 하며, 인출할 때 응고 계면이 몰드의 일정 높이에 유지되도록 인출속도를 조정하는 것이 이상적이다. 또한 인출할 때 응고 표면의 두께가 일반적으로 1/2 inch ~ 3/4 inch가 되도록 생각하면서 인출해야 한다. 그러나 이 연구에서는 기존의 고주파유도로를 개조하였기 때문에 구리 몰드의 냉각능력 및 응고속도 계산은 일반적인 수냉 몰드의 계산방식과는 맞지 않는다. 몰드의 재질을 구리로 사용하여, 구리의 큰 열용량을 이용하여 우라늄 응고시 발생하는 열이 이 몰드에 전달되어 지름 30 mm 길이 300 mm의 봉을 연속주조 하였을 때 몰드 온도가 100°C 이상 올라가지 않을 것이라고 추정하였다. Cu 몰드의 길이는 250mm 내경 34mm로 하고, 이 몰드의 내면에 몰드와 우라늄 용탕의 반응을 막고, 윤활작용을 돕기 위해 지름 30 mm 두께 2mm 길이 150 mm의 BN을 coupling하였다. 몰드 내의 응고 상태를 추정하기 위해 몰드의 상단, 중앙, 하단 높이에 열전대를 설치하였다. 스타터라는 응고된 잉고트에서 분리하기 쉽게 각형의 나사를 원추형으로 가공하여 부착하였다.

- 몰드의 재질 : Cu (지름 150 mm x 높이 250 mm)

* Boron Nitride Ring (두께 2 mm) --> 윤활 작용

- 몰드의 내경 --> 30 mm

- 몰드의 냉각능력 계산

* Cu의 비열 0.092 cal/g°C, U의 비열 0.043 cal/g°C

* Cu 주형 무게 약 40 kg, U 약 4 kg --> 최종온도 87°C 상승

- 노즐 직경 계산

* 용탕의 인출속도를 5 mm/sec, 몰드의 지름 30 mm 이면,

$$* dn = \frac{2.15\sqrt{A_m v}}{\sqrt[4]{h}} = \frac{2.15\sqrt{7.06 \times 0.5}}{\sqrt[4]{4}} = 2.9 \quad \text{약 3 mm 로 정함.}$$

- 몰드의 길이 설정

* 만약 응고면을 80 mm로 유지할 경우 응고 시간 : 20초

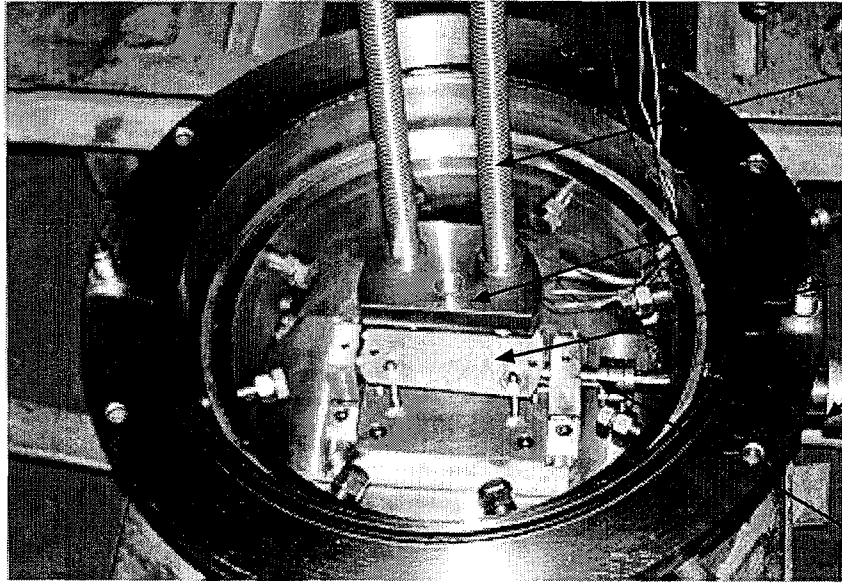
* 충전 속도 약 5 mm/초 --> 5 mm/초 x 20 초 = 약 120 mm

안전도를 감안하여 몰드의 길이를 150 mm로 정함.

4. 인출기 구동 시스템

두 개의 사각 나사(피치 4 mm) 기둥을 설치하고, 스타터바를 인출할 수 있도록 하기 위해 이 사각 나사가 회전할 때 이 사각나사를 따라 이동하는 Bracket를 부착하였다. 웜축을 서보 모터에 연결하고, 이 서보모터는 컴퓨터와 연결하여 인출 속도 및 위치 제어를 할 수 있도록 하였다. 웜 기어와 사각나사는 웜 및 피니언(회전비 30:1)의 원리를 이용하였고, 이 것은 감속기와 같은 효과를 얻었다. 웜 축에는 진공 유니언을 설치하여 축이 회전하더라도 진공이 유지될 수 있도록 하였고, 웜 축과 서보모터 축과의 원활한 이음을 위해 커플링을 사용하였다. 설 계도에서 각 번호별 부품명은 다음과 같다.

1) Support 2) 이동 Bracket 3) Nut 4) Screw(사각나사) 5) Worm shaft 6) Bushing 7) Worm Gear 8) Shaft Bracket 9) Base Plate 10) Bearing 11) ~ 16) Vacuum Union



사각 나사 기둥

이동 Bracket

웜과 피니언

진공(O-ring)
Union

커플링

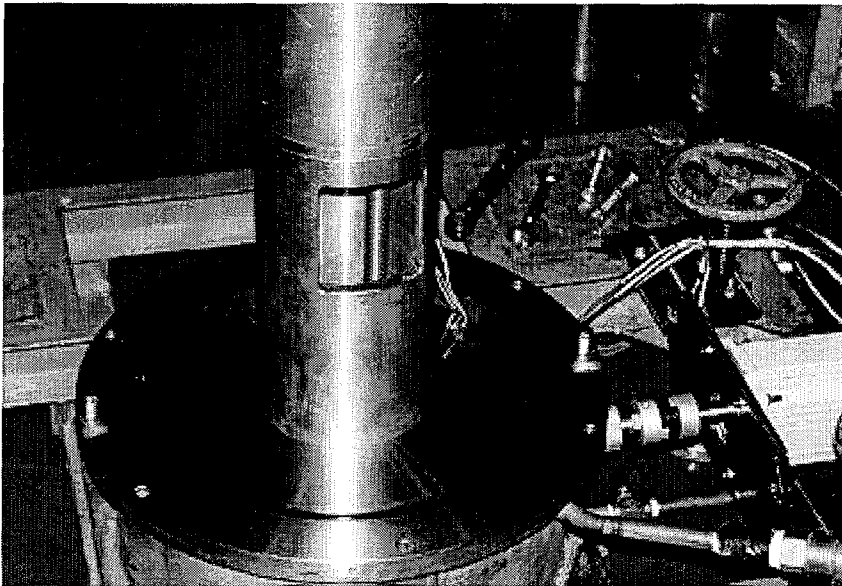


그림 2. 인출기 구동시스템

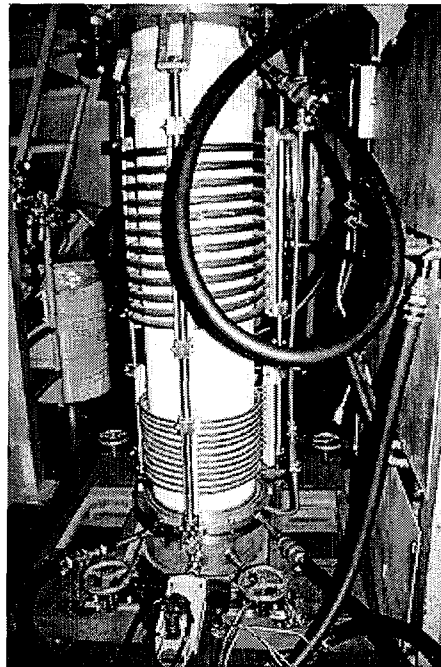
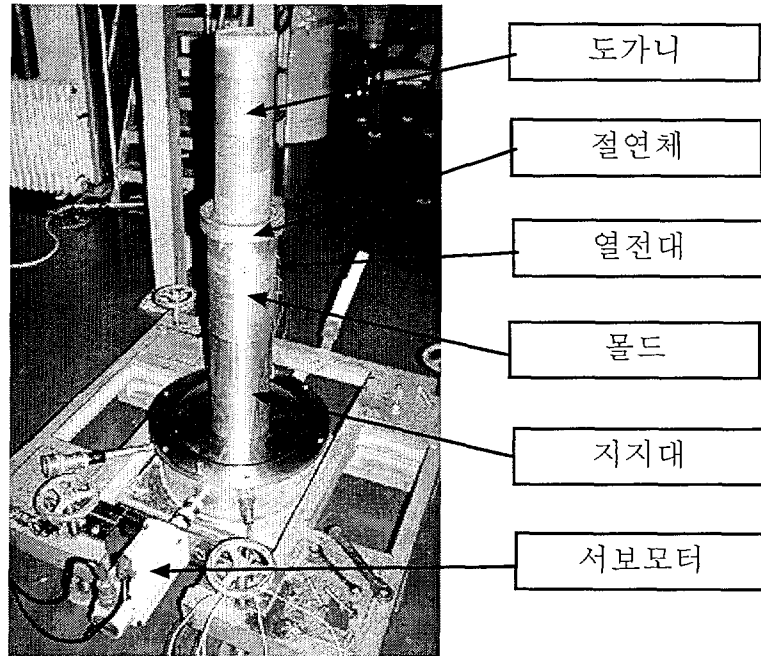
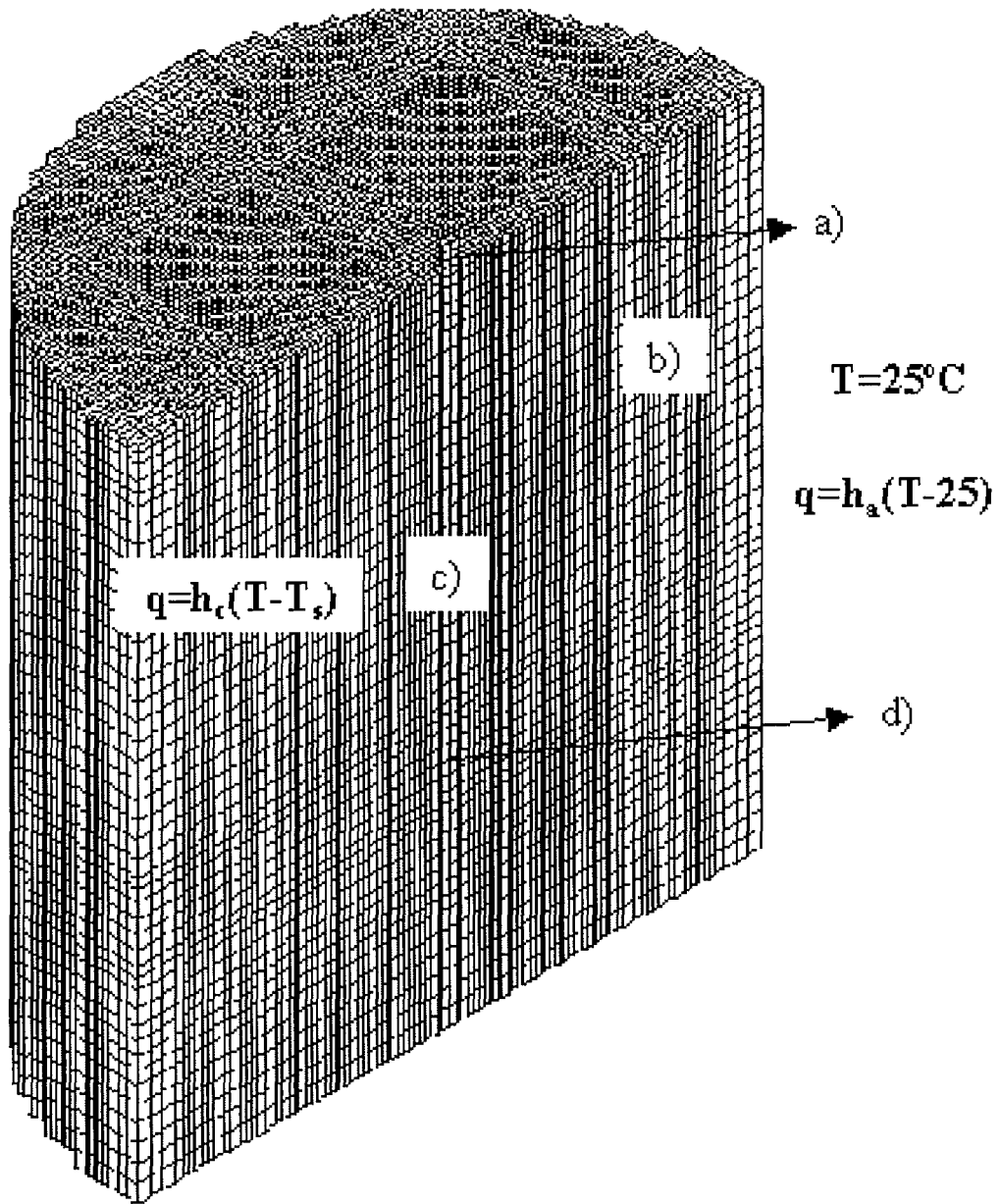


그림 3. 조립도 및 진공 고주파 유도 용해장치 외관

제 3 장 응고해석

연속주조시에 용탕의 응고거동을 계산하기 위하여 상용 응고해석 프로그램인 Magma soft를 이용하였다. 연속주조 과정은 금형과 용탕과의 계면이 지속적으로 변하는 moving boundary 문제이지만, Magma로는 해석이 불가능하여 초기 용탕이 dummy bar에 접촉한 후 약 100 mm 정도 충전된 후의 응고 시간을 결정하여 인출시점을 계산하였다. 이때 노즐 직경은 2 mm, 출탕온도는 1300 °C 우라늄의 응고 온도는 1133°C로 하였으며, 몰드 온도는 60°C에 대해 계산하였다. 그림 2는 계산에 사용된 mesh를 나타낸다. 여기서 a)는 노즐, b)는 구리 몰드, c)는 잉고트 부위이며, d)는 dummy bar(starter bar)이다. 또한 구리 몰드와 대기의 열전달계수(h_a)는 500W/m²K, 용탕과 몰드와의 접촉 열전달계수(h_c)는 10,000W/m²K, BN에 의한 열전달계수(h_g)는 2,000W/m²K로 설정하였다. Magma soft code는 실제형상에 가깝게 mesh generation을 하기 위해서는 방대한 양의 mesh가 필요하므로 계산의 효율성을 감안하여 유동 및 열전달 해석이 필요한 주물부분, 노즐등은 가능한한 미세하게 mesh를 나누었으며, 열전달만을 계산하는 구리몰드는 조대하게 mesh를 생성하였고 최종 mesh수는 총 80만개정도였다.

응고해석 결과 그림 3은 용탕 충전 후 20초까지의 냉각곡선을 나타낸다. 몰드쪽의 용탕의 경우는 응고개시 약 2초 후에 응고가 완료되며 중앙부위도 10초 이내에 고상선 이하로 온도가 내려감을 알 수 있다.



a) nozzle b) Cu mold c) cast d) dummy bar

그림 4. 응고해석을 위한 Mesh 및 경계 조건

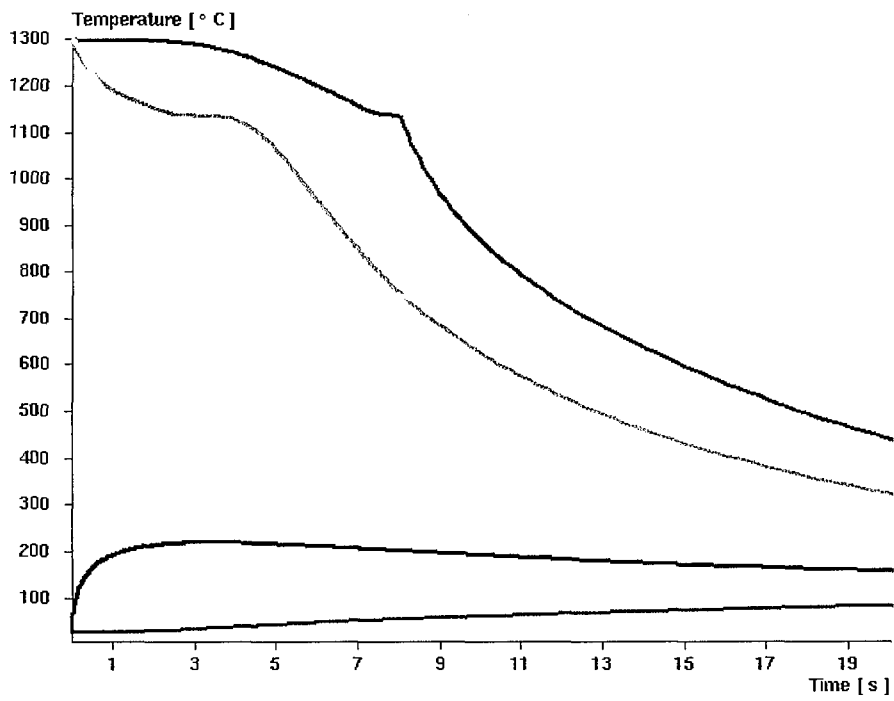
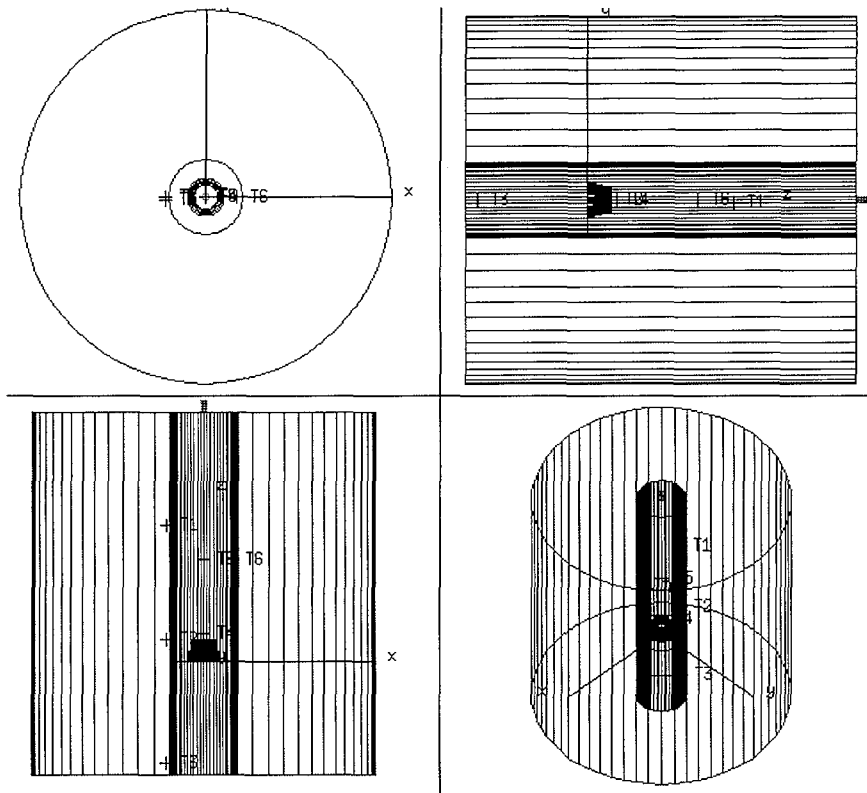


그림 5. Mesh 내에서의 열전대 위치 및 냉각곡선

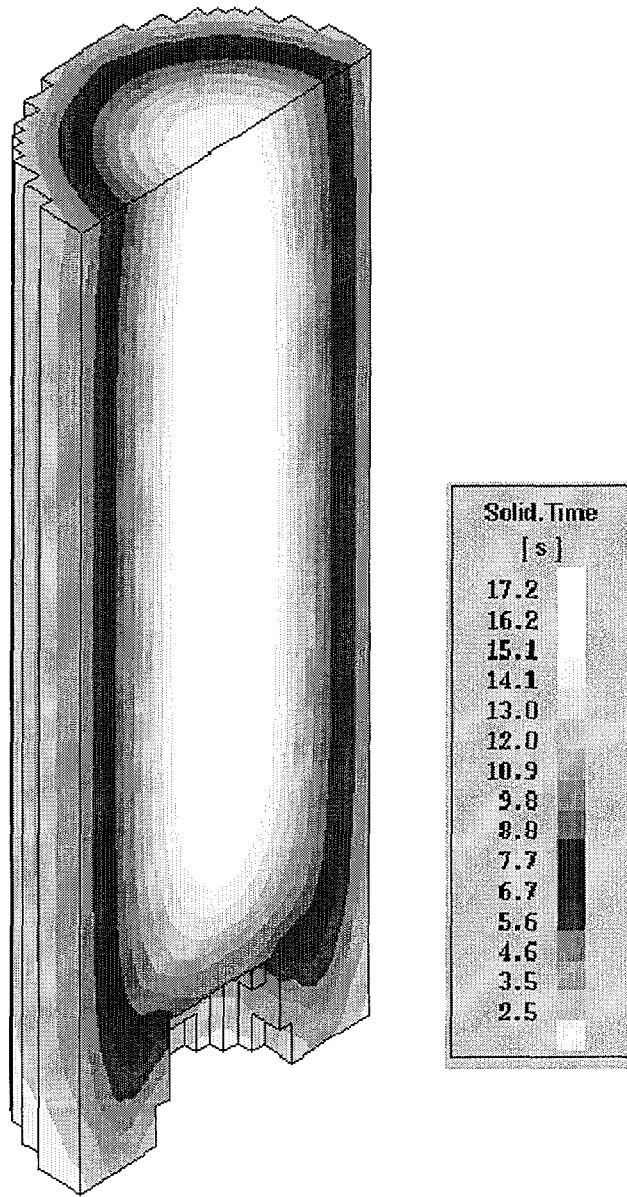


그림 6. 응고 시간에 따른 용탕의 고액 계면 변화

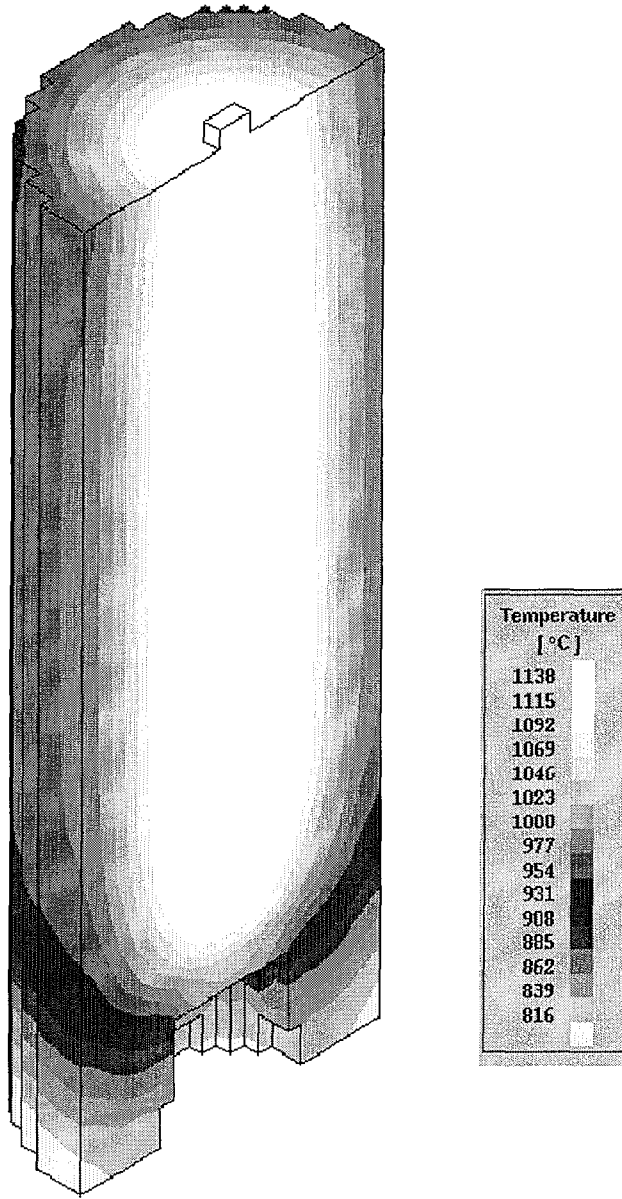


그림 7. 출탕 후 15초 시점의 우라늄 용탕의 온도 분포

제 4 장 실험 및 결과

1. 우라늄의 연속 주조 실험 조건

기존의 진공 유도장치를 개조한 장치를 사용하여 연속주조봉을 주조하기 위하여 감손 우라늄을 2 kg 장입하고 다음 표와 같은 조건으로 연속주조 실험을 3회 수행하였다.

표 1. 진공 연속주조 실험 조건

	#1	#2	#3
Nozzle 크기	지름 2 mm	지름 3 mm	지름 3 mm
인출속도	2 mm/sec	3 mm/sec	3.5 mm/sec
출탕온도	1300℃	1380℃	1350 ℃
출탕후 인출 시점	15 초 후	10 초 후	10초 후

몰드의 상 중 하 위치에 3개의 열전대를 장착하고 출탕 시 몰드 온도 변화를 측정된 결과와 응고해석 계산 결과(T1, T2, T3 위치)는 다음 표와 같이 유사하였다.

표 2. 몰드 온도 측정 결과

경과시간	0 초	30 초	60 초	90 초	15 분후
#1 중(10 cm)	43	-	-	-	-
#2 상(5 cm)	68	82	98	102	115
#2 중(10 cm)	62	70	88	89	110
#2 하(14 cm)	45	47	57	62	93
#3 중(10 cm)	60	70	85	90	110

2. 연속주조 실험 결과

1 회차 실험결과는 스타터바 위에서 30 mm까지는 매끈한 표면의 우라늄이 적층되었으나, 그 위 부분은 노즐크기에 비해 인출속도가 빨라 용탕이 몰드에 제대로 채워지지 않고 260mm 까지 적층되었다.

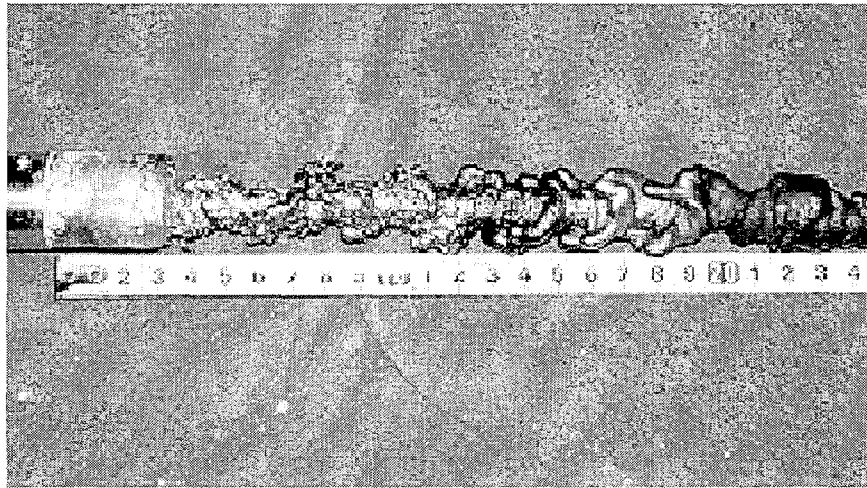


그림 8. 1회차 연주실험 결과 연주봉

2 회차 실험결과는 스타터바 위에서 60 mm 부분에서 단락이 발생하였다.

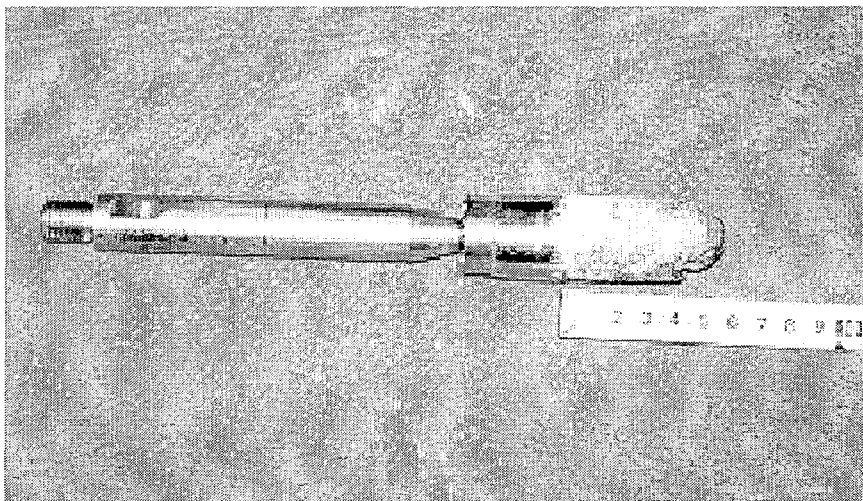


그림 9. 2회차 연주실험 결과 연주봉

3 회차 실험 결과는 2kg의 용탕이 전량 인출 되었으며, 인출봉의 길이는 160mm 로 초기 적층이 된 부분 즉 50 mm 부위부터 80 mm 사이는 표면이 거칠었으나 성공적으로 인출할 수 있었다.

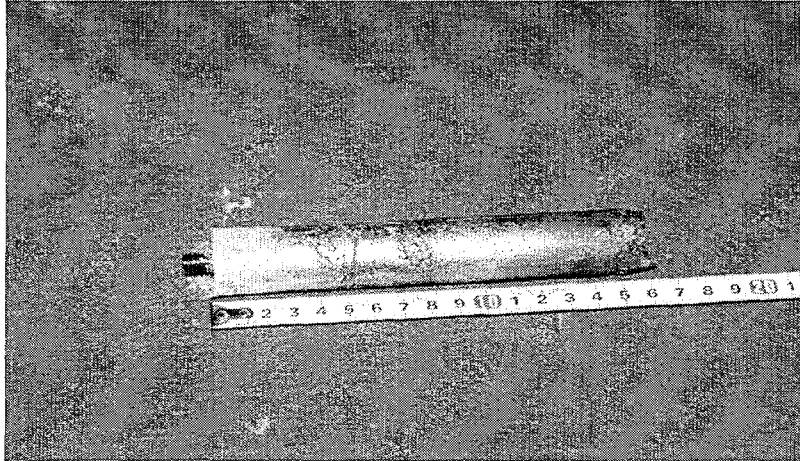


그림 10. 3회차 연주실험 결과 연주봉

3. 실험 결과 고찰

다음 식에 의해 2회 실험 결과 아래부분의 우라늄 적층 높이를 다음 식에 의해 계산하여 보았다.

- 적층높이 = 적층 속도(용탕 유량 / 몰드 면적) X 시간

베르누이의 정리: 용탕유량 $Q = a\sqrt{2gh}$

여기서 a: 노즐의 면적 h: 용탕의 높이

- 인출 시작 시점까지 충전된 양 : #1 : 30 mm / #2 : 60 mm

(용탕의 유량 계산식 확인)

위에서 계산한 결과와 실험 시 적층된 결과를 비교하여 보면 연속주조가 이루어지지 않고, 인출된 시점까지의 우라늄이 적층된 것만을 인출하였다. #1의 경우는 노즐 크기가 작아 용탕이 먼 거리를 낙하하면서 급냉되므로 노즐 크기를 크게 할 필요가 있다고 판단되었다. #2의 과단(break out) 발생에 대해 고찰해보면 이상적인 주조 상황에서는 열의 제거 속도는 가능한 빨라야 하며, 제거 방향

은 방사상으로 이루어져야 한다. 이렇게 하는 목적은 마찰 하중에 견디도록 응고된 shell의 강도를 비교적 높게 하기 위함이다. 마찰의 양상이 주조의 가능 여부를 결정하는데 중요한 영향을 미친다.

- 마찰의 크기 $F = K L 2 \pi r$

여기서 F는 마찰하중, K는 마찰계수, L은 응고 금속의 접촉길이

- 새로이 응고된 부분의 강도 $R = S \pi r$

S: 새로이 응고된 금속의 단위강도

건전한 주물을 얻기 위해서는 마찰력이 응고 부분의 강도보다 작아야 한다. 마찰력이 응고부분의 강도보다 크면 파단이 일어난다. 따라서 #2의 경우는 인출 속도가 느려서 표면상태는 거칠고 파단이 일어났다. 따라서 3회차 실험의 경우 인출속도를 2회차보다 높여 성공적으로 인출할 수 있었다.

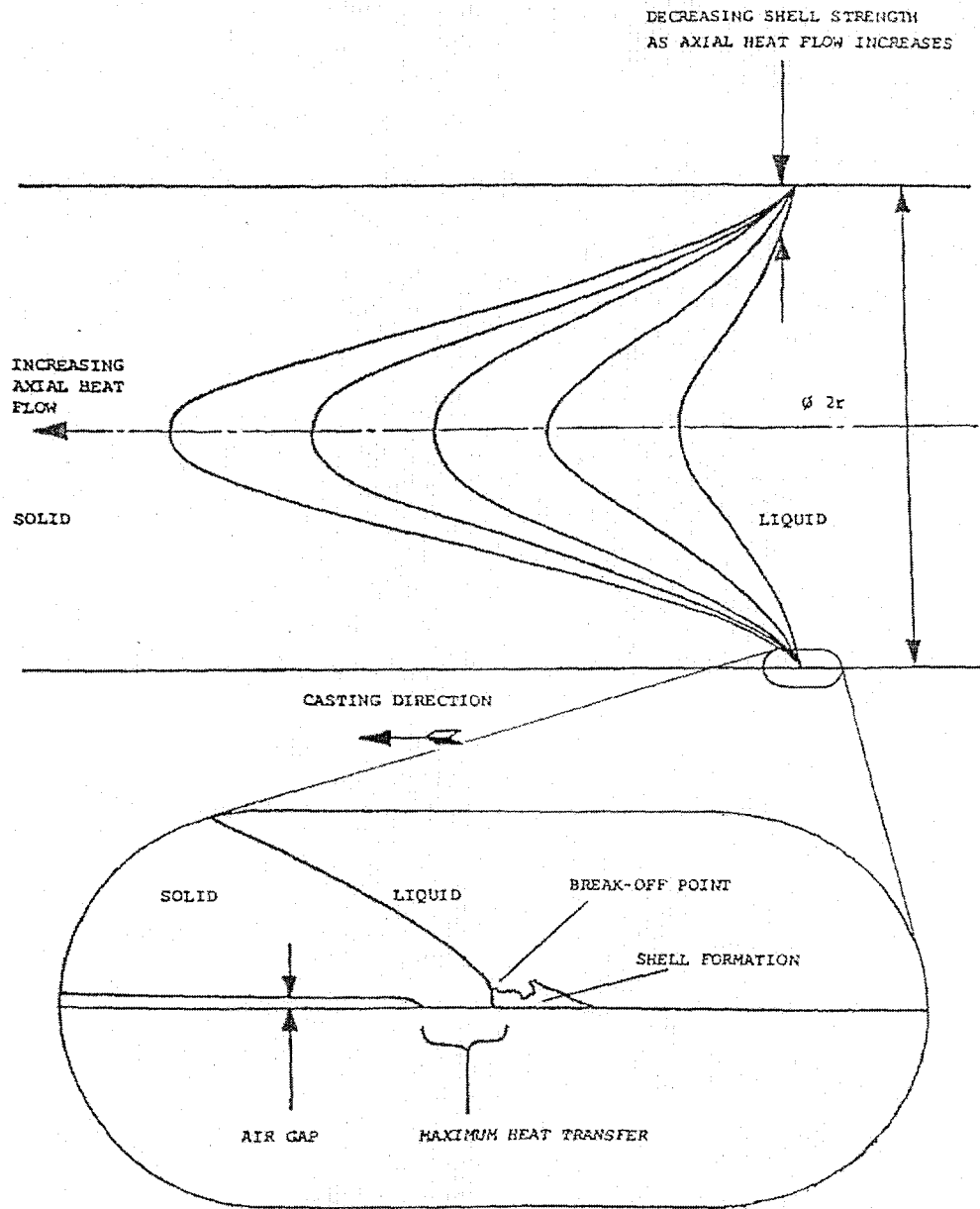


그림 11. Break out 발생기구

4. 비파괴검사(중성자투과시험)

연속주조봉에 대해 시편 내부에 결함이 존재하는가를 관찰하기 위하여 연구소의 중성자 물리실에서 보유하고 있는 중성자 투과시험 시설을 이용하여 중성자투과시험(NRT)을 수행하였다. 중성자 투과시험은 X선 또는 방사선투과시험과 같은 투과 검사법으로서 X선 또는 γ 과는 상호 보완적인 특성이 있다. 즉 X선 또는 γ 과는 달리 원자 번호와는 무관하게 원자핵 고유의 값을 가지며 동위원소 간에도 현저히 다른 경우가 많다. 원자번호가 근접한 원소로 구성된 부품이나 비금속, 경금속이 중금속과 복합적으로 구성된 부품 검사에 유리하다. 중성자 투과시험은 수백 또는 수천 kV의 X선 또는 γ 선의 투과력과 비교할 수 있는 투과력을 가지고 있다. 따라서 우라늄 주조품의 비파괴시험에는 중성자 투과시험 방법을 효과적으로 사용할 수 있다. 중성자 투과 시험 결과, 하부 스타터 바에 부착된 볼드 위치 및 상부 수축공을 제외한 다른 부위는 기공 등의 결함이 없는 것을 관찰할 수 있었다.

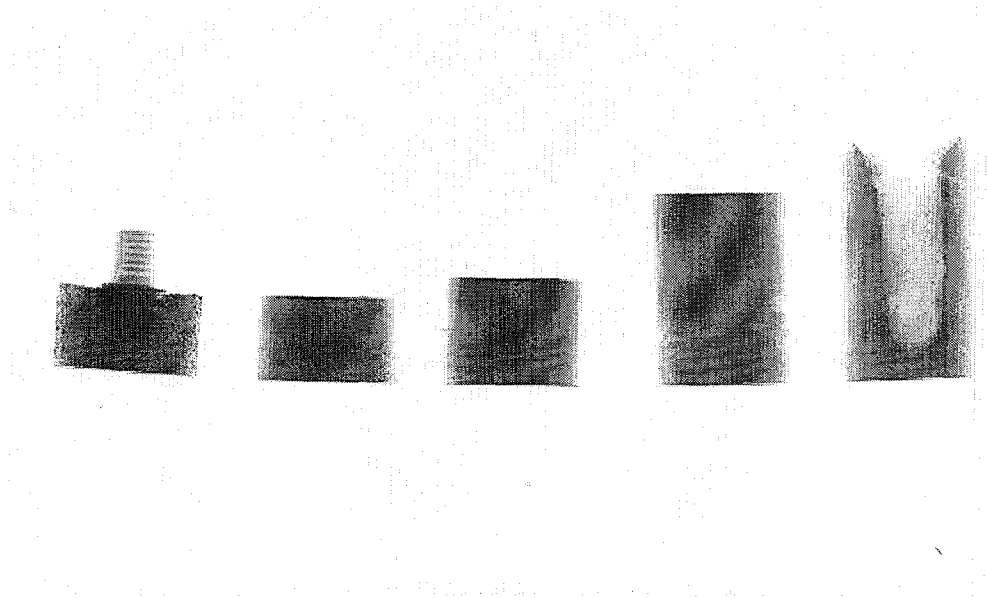


그림 12. 중성자 투과 시험 결과(수직방향관찰)

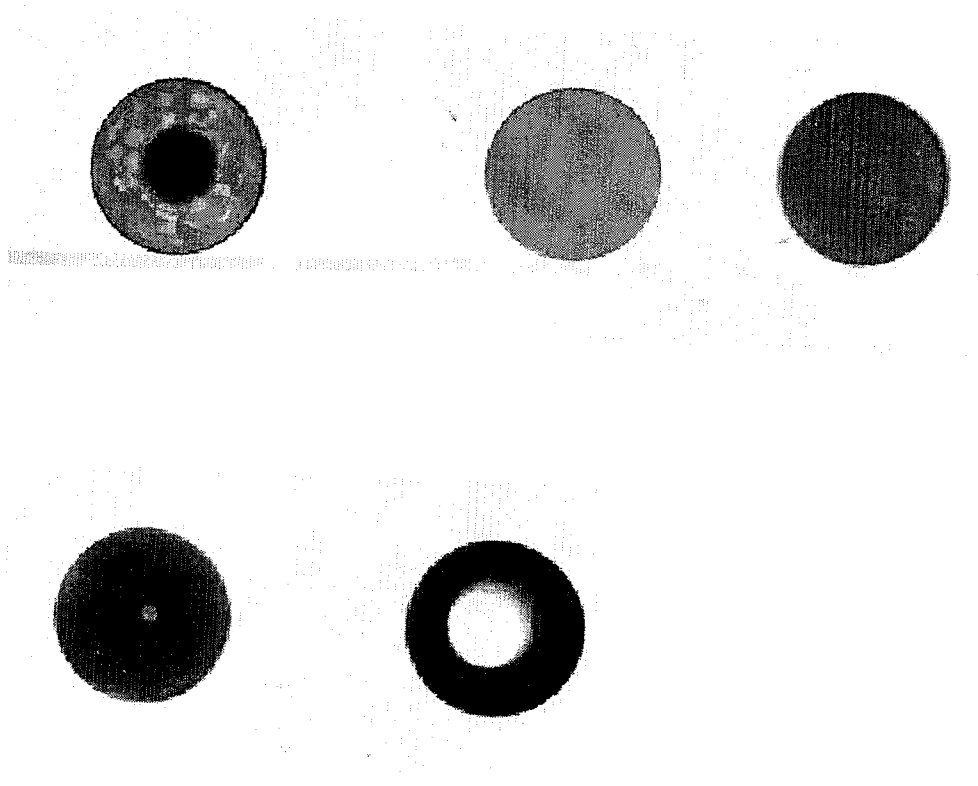


그림 13. 중성자 투과 시험 결과(수평방향관찰)

제 5 장 결 론

기존의 진공유도용해로를 개조하여 사용후핵연료의 모의 저장 금속봉을 주조하기 위한 우라늄 연속주조의 가능성 여부를 타진하기 위한 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

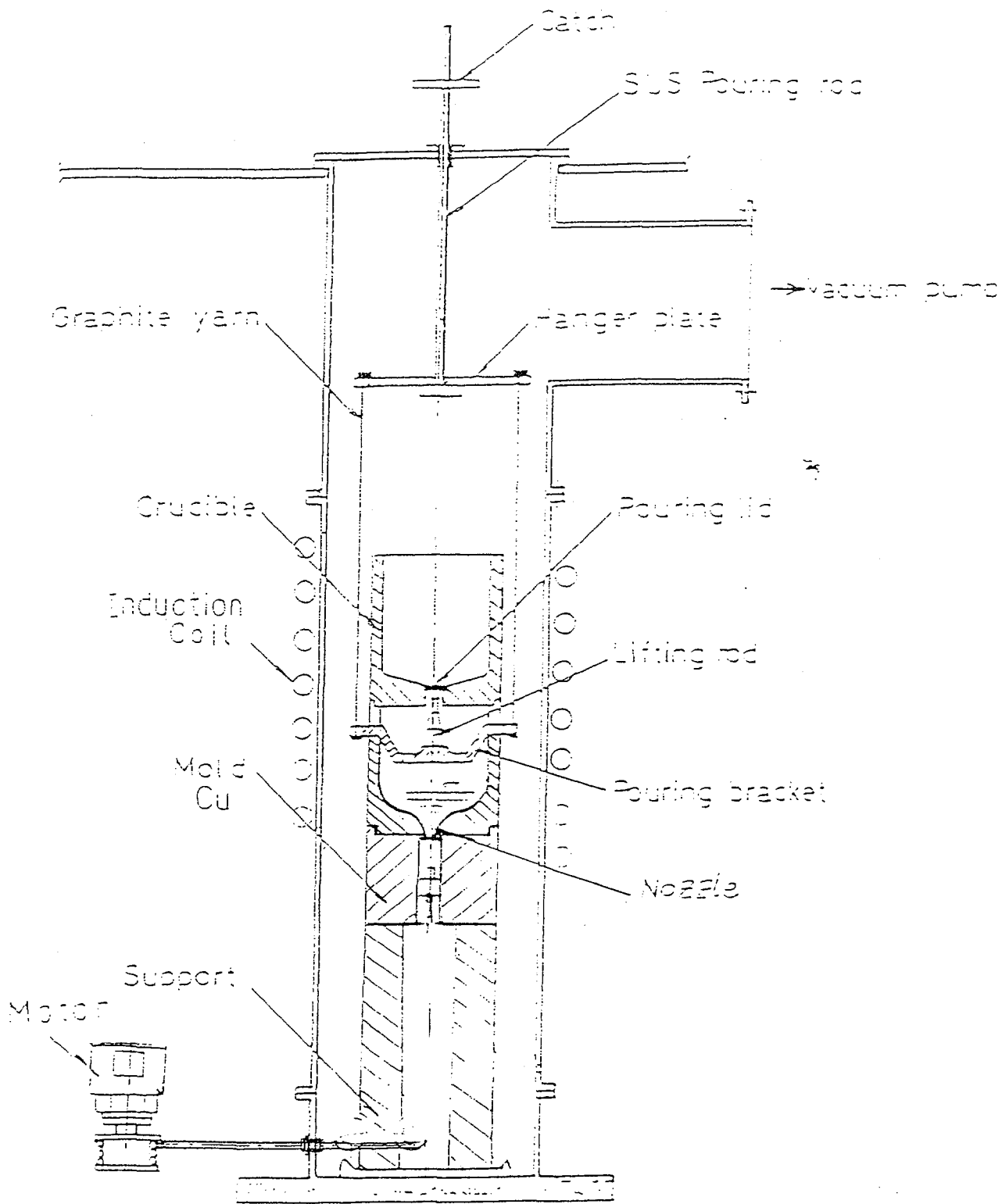
1. 노즐 크기 지름 3mm 인출속도 초당 3.5 mm로 하여 지름 30mm, 길이 160mm의 우라늄 연속주조봉을 인출할 수 있었다.
2. 이 결과를 활용하여 본격적인 연속주조 장치를 설계 및 제작하는데 활용할 수 있게 되었다.

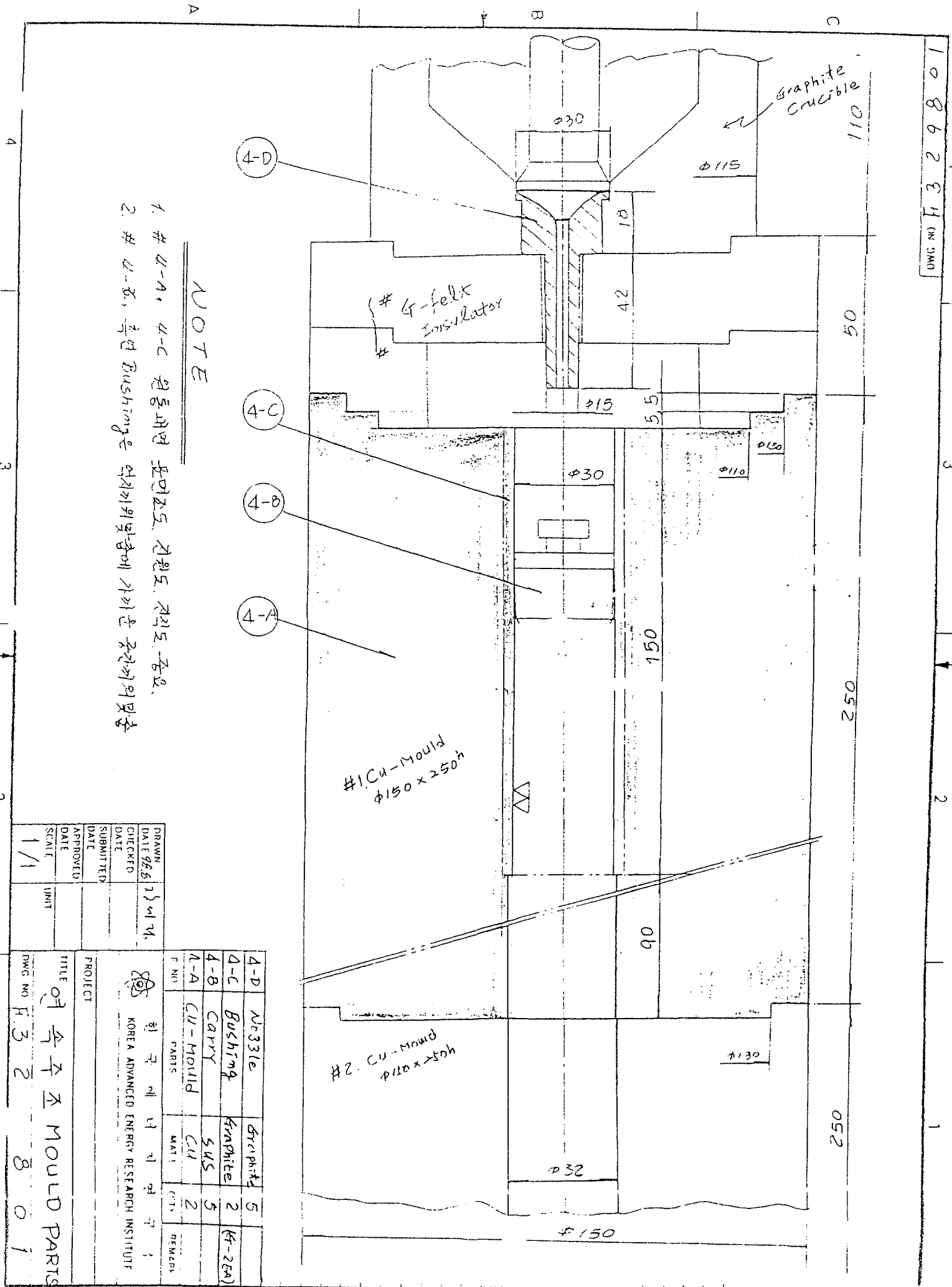
제 6 장 참고 문헌

1. 신영준 외 “사용후핵연료 차세대 관리공정 요소기술 검증시험(I)”, 1998, '98 춘계학술 발표회 논문집 pp497- 501, 한국원자력학회
2. 신영준 외 “사용후핵연료 관리 기술 현황 분석 보고서”, 1998, 한국원자력연구소, p31.
3. 이윤상 외, “사용후핵연료 금속저장봉의 주조 방안 연구” 98 추계학술발표회 논문집, 한국원자력학회
4. D.M. Lewis et al, "The Principles of Continuous Casting of Metals", 1956. Metallurgical Reviews, Vol. 1, Part 1.

부 록

1. 연속주조 몰드 및 인출기도면
2. Servo-motor 운전방법
3. 연속주조 관련 각종 상수값





- NOTE
- # A-A, C-C 원통과연 표면표도. 견원도. 견직도. 중요.
 - # A-B, 혹은 Bushing은 역키키워일-중에 가지는 공간키워일중

DATE	1/1
SCALE	
UNIT	
DATE	
APPROVED	
DATE	
SUBMITTED	
DATE	
CHECKED	
DATE	
DRAWN	

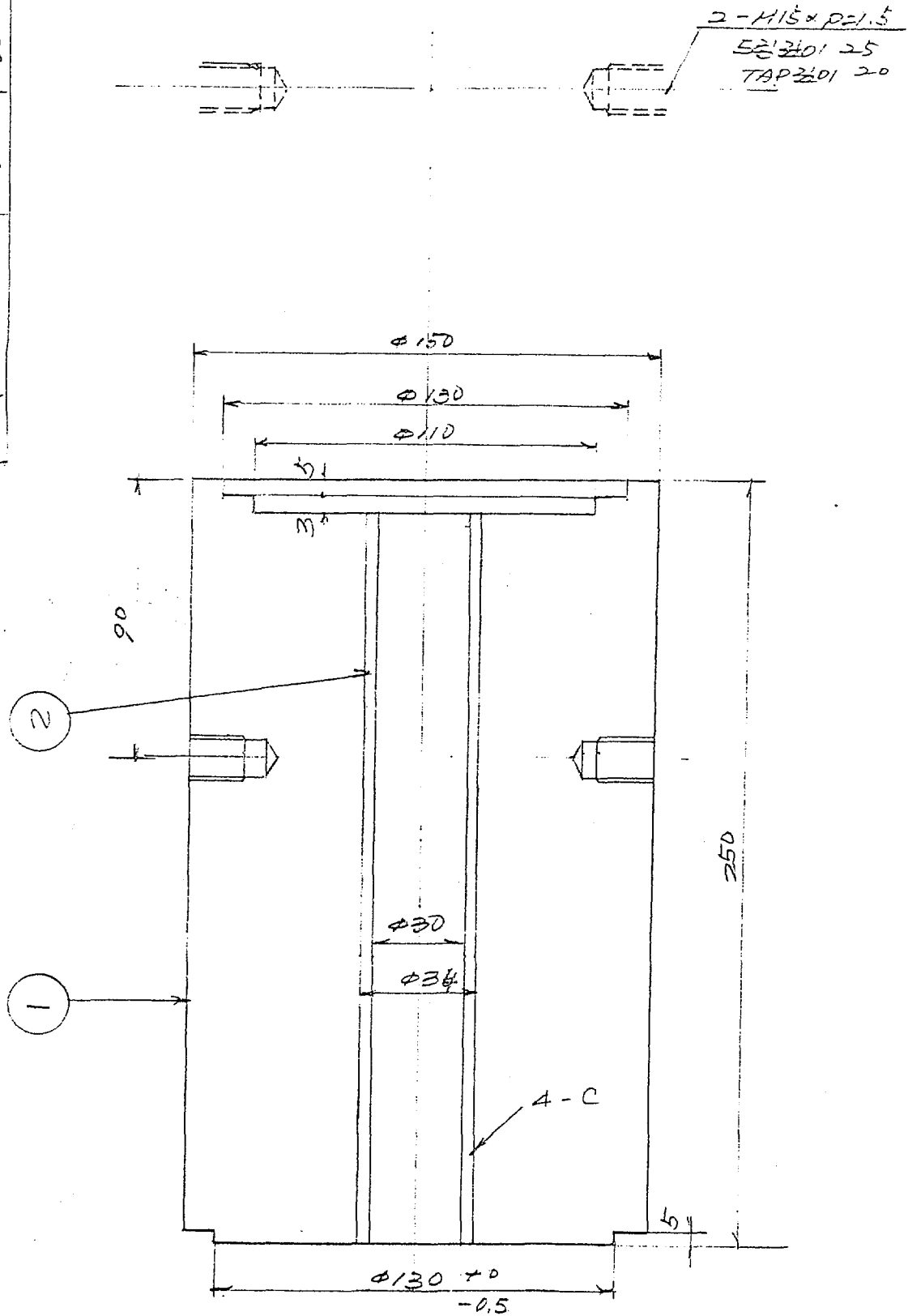
NO	PARTS	MATERIAL	QTY	REMARKS
A-D	Nr331e	Graphite	5	
A-C	Bushing	Graphite	2	(K-2EA)
A-B	CARRY	SUS	5	
A-A	CU-MOULD	CU	2	



한국에너지연구원
KOREA ADVANCED ENERGY RESEARCH INSTITUTE

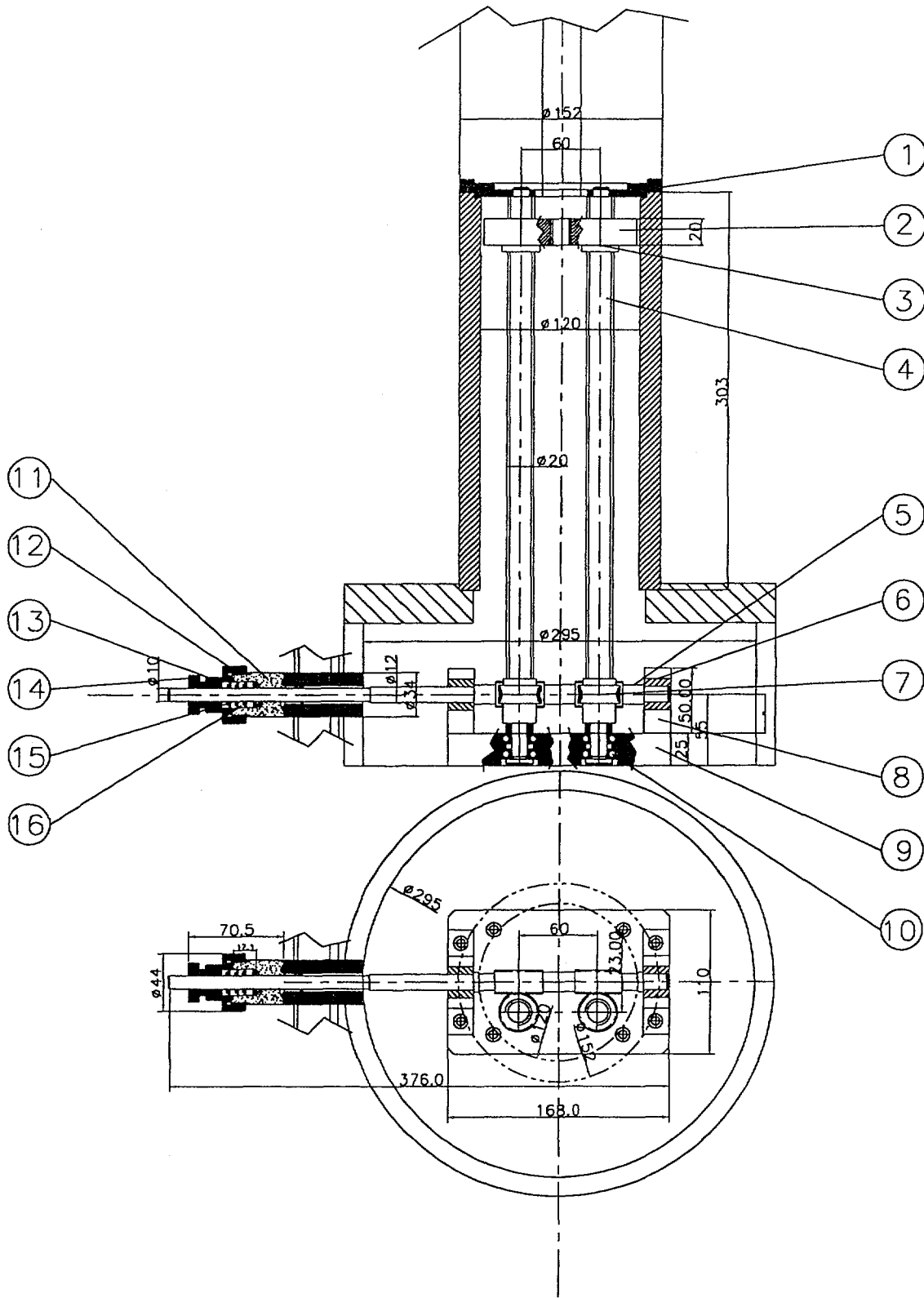
PROJECT
TITLE 연속주조 Mould PARTS
DWG NO H 3 2 9 8 0 1

순번	품명	재질	규격	수량	비고
1	4-A	CU	φ150×160	2	1개 대량 36
2	4-C	흑연	φ38×250		1개 수 20



4-A는 4-C 원통내 표면조도, 직경도, 길로도 중요
 4-C 흑연 Bushing은 면적 거의 맞출게 가까운 공간 끼워 맞춤
 * 1개는 Bushing 없이 φ30으로 가공할것음

PO	11Hk	Req	
----	------	-----	--



NO	P/NAME	P/NUMBER	MATERIAL	Q'ty	REMARK
00	rkf	981008			
00	이윤삼	g<	1:1		
	DO	nP	mm		
	Re	<4	A0		
				00	
TITLE: 연속주조 구동유닛					
한국원자력연구소 연구로용핵연료개발					

Servo-motor 운전방법

1. MOVPC
2. F7 --> Gear 비가 400 인가 확인 후 F2
3. mask
4. svon
5. inc
6. v=+000 아래로, v=-000이면 위로(모터 속도 조정)
7. p=+2000 이면 1회전 아래로, p=-2000이면 1회전 아래로
260mm 움직이려면 p=3,900,000
8. 일시정지 --> s 천천히 움직일 때 j+(아래로), j-(위로)
9. 끝 때 : svof

Servo-motor 사양

- Servo Motor의 출력은 0.4 kw, 토크는 1.3 N/m로 감속기를 사용하여 최종 출력이 2마력, 인출속도는 초당 0 - 10cm/sec이며 싸이클을 주기 위해 예를 들어 2초 인출에 0.3초 멈춤 등으로 컴퓨터를 사용하여 조정 가능함.
- 드라이브 출력부의 위치제어 분해능은 1/2G, 속도제어 분해능은 1/32K 이상이며 통신 방식은 RS-232,422을 사용한다.
- 감속기어는 30:1 이상, 유성치차 형태로 되어 있다.

연속주조 관련 각종 상수값

비열 (Specific Heat)

비열	s/w	metal handbook	bmi 보고서
우라늄(U)	0.12 J/gK	0.113 J/gK	0.18 J/gK(liquid) 0.155 J/gK(solid)
Copper	0.38 J/gK	0.38 J/gK	
BN	1.029 J/gK(500℃)		
Griphite	0.71 J/gK		

열전도도 (Thermal Conductivity)

열전도도	s/w	metal handbook	bmi 보고서
우라늄(U)	0.276 W/cmK	0.113 J/gK	
Copper	4.01 W/cmK	0.38 J/gK	
Griphite	1.29 W/cmK		

용해열(Heat of fusion)

용해열	s/w	metal handbook	bmi 보고서
우라늄(U)	8.520 kJ/mol		
Copper	13.050 kJ/mol		

우라늄 용해 온도 = 1138 °C (2802 °F)

구리 몰드 온도 = 400 °C

from Smithells Metals Reference Book, 6th edition, 1983, Editor Eric A Brandes: BSc, ARCS, CEng, FIM In association with Fulmer Research institute Ltd. Butterworths page 27-11

BN: Boron nitride(hexagonal)

Melting Point 2730°C(sublimes)

Bulk density 2.1 g/cm³

Thermal conductivity 15 at 20°C W/m.k

27 at 1000°C

perpendicular values are approx. half of these

Thermal expansion coefficient 10⁻⁶

parallel to pressing direction 2.0 at 1000°C

perpendicular 13.3 at 1000°C

Ultimate stress MN/m²

parallel to pressing direction 310 at 20 °C

compressive perpendicular 235 at 20 °C

Thermal shock resistance very good when dry.

No reaction with iron at 1600 °C for 30 min.

Oxidation in air severe at 1100-1400 °C

Stable to 1000 °C in O₂

Resists attack by molten metals and glasses

Low coeff. of friction.

Fabricated by hot pressing. Machines easily

page 27-10

Graphite, C

Melting Point 3650 °C

Bulk density 1.5 to 2.25

Thermal conductivity

63 to 210 at 20, parallel to grain

43 to 130 at 20, perpendicular to grain

47 at 1300 °C

34 at 2500 °C

Thermal expansion coefficient 10⁻⁶

parallel: 1 to 4 at 20

perpendicular: 2.5 to 4.5 at 20

4.0 to 9.8 at 1000

5.5 to 11 at 1500

Ultimate stress MN/m²

parallel 3.5 to 7.6 at 20

perpendicular 3.5 to 70 at 20

compression 36 at 2500 °C

Thermal shock resistance very good.

Not wetted by iron.

Resistant to acidic and basic slags.
Oxidized in air above 300 °C.
Resistant to nonoxidizing gases.
May be welded using molybdenum disilicide.
Excellent conductor of electricity

서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR -1755/2001					
제목 / 부제					
우라늄 진공연속주조 기술 개발					
주 저 자					
이 윤 상(연구로용개량핵연료개발)					
공 저 자 및 부 서 명					
김창규, 김기환, 이돈배, 김정도, 장세정, 안현석, 김응수 (연구로용개량핵연료개발)					
신영준(사용후핵연료차세대관리공정기술개발)					
출 판 지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2001. 2
페 이 지	29 p.	도 표	있음(○), 없음()	크 기	29 Cm.
참고사항					
비밀여부	공개(○), 대외비(), — 급비밀		보고서종류	기술보고서	
연구위탁기관			계약번호		
초록 (15-20줄내외)					
<p>사용후핵연료를 효과적으로 처리하기 위하여 사용후핵연료를 리튬금속을 이용하여 환원시켜 길이가 긴 봉 형태로 주조한 후 케니스터에 저장하는 새로운 개념의 건식 처리방법을 개발하고 있다. 이 공정 중 저장 금속봉을 주조하기 위하여, 우라늄을 가늘고 긴 봉 형태로 주조할 수 있는 방법 중 연속주조 방법의 가능성을 검토하는데 연구의 목적이 있다. 연구결과 노즐 크기 지름 3mm 인출속도 초당 3.5 mm로 하여 지름 30mm, 길이 160mm의 우라늄 연속주조봉을 인출할 수 있었으며, 이 결과를 활용하여 본격적인 연속주조 장치를 설계 및 제작하는데 활용할 수 있게 되었다.</p>					
주제명키워드 (10단어내외)					
사용후핵연료 저장금속봉 주조, 우라늄 연속주조					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-1755/2001					
Title / Subtitle		Development of Vacuum Continuous Casting Technology for Uranium			
Main Author		Y.S.Lee(Development of Advanced Research Reactor Fuels			
Researcher and Department		C.K.Kim, K.H.Kim, D.B.Lee, J.D.Kim, S.J.Jang, H.S.Ahn, E.S.Kim(Development of Advanced Research Reactor Fuels) Y.J Shin (Research Reactor Analysis)			
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication Date	2001. 2
Page	29 p.	Ill. & Tab.	Yes(O), No ()	Size	29 Cm.
Note					
Classified	Open(O), Restricted(), ___ Class Document		Report Type		
Sponsoring Org.			Contract No.		
Abstract (15-20 Lines)		<p>The spent fuel disposal process of new dry storage concept has been developed in KAERI, in which the uranium metal abstracted by Li-reduction of spent fuel will be formed to long rods and then the rods will be arranged uniformly in canister. The objective of this study is to review the feasibility of applying the continuous casting method to cast a long rod with modifying the vacuum high-frequency induction furnace to vacuum continuous casting system, which was normally used to cast the uranium. The results are as follows. With the nozzle size of 3mm and the withdrawal speed of 3.5 mm/sec, the length of 160mm, diameter of 30 mm continuous casting uranium bar was successfully cast. This result shows there might be a possibility of continuous casting of uranium and helps the design and fabrication of new continuous casting equipment.</p>			
Subject Keywords (About 10 words)		Uranium Storage Rods of Spent Fuel, Uranium Continuous Casting			