



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월06일
 (11) 등록번호 10-1533868
 (24) 등록일자 2015년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/04 (2006.01) **G21C 3/30** (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0080766
 (22) 출원일자 2012년07월24일
 심사청구일자 2012년07월24일
 (65) 공개번호 10-2014-0014541
 (43) 공개일자 2014년02월06일
 (56) 선행기술조사문헌
 US04123328 A*
 JP2001500265 A
 KR1020010028016 A
 KR1020110064650 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국원자력연구원
 대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)
 (72) 발명자
박주환
 대전 유성구 배울2로 114, 1105동 602호 (용산동, 대덕테크노밸리11단지아파트)
류은현
 대전 유성구 구죽로52번길 35, 201호 (송강동)
 (74) 대리인
특허법인이름
 (뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 이용호

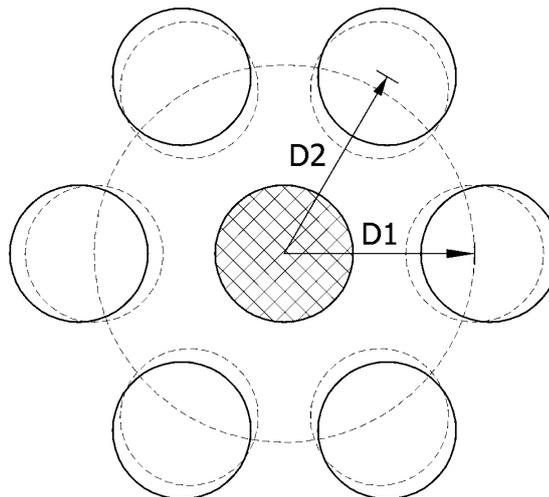
(54) 발명의 명칭 **중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 구조**

(57) 요약

본 발명에 따른 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조는 중심에 배치된 중심봉과, 중심봉을 중심으로 환형으로 층을 형성하며 배치되는 복수의 핵연료봉을 포함하는 핵연료 다발에 있어서, 기준거리와 핵연료봉 중 중심봉에 가까운 핵연료봉의 중심과 중심봉의 중심으로부터 이격된 거리의 비는 1 : 1.00672 ~ 1 : 1.067204인 것이 바람직하다.

따른 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조는 중수로 핵연료 다발의 중심봉을 중심으로 배치된 핵연료봉의 간격을 조절하여 발전용량을 감소시키거나 냉각수의 유량을 증가시키지 않고서도 드라이아웃이 발생되지 않도록 하고자 한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

송용만

대전 유성구 배울1로 13, 212동 403호 (관평동, 대우푸르지오)

정중엽

대전 유성구 전민로 71, 101동 602호 (전민동, 삼성푸른아파트)

명세서

청구범위

청구항 1

중심에 배치된 중심봉(100)과, 상기 중심봉(100)을 중심으로 환형으로 이웃하는 층을 형성하며 배치되는 복수의 핵연료봉(200)을 포함하는 중수로 핵연료 다발(1)에 있어서,

기준거리(D1)와 상기 핵연료봉(200) 중 상기 중심봉(100)에 이웃하는 핵연료봉(200)의 중심과 상기 중심봉(100)의 중심으로부터 이격된 거리(D2)의 비는 1 : 1.00672 ~ 1 : 1.067204이고,

상기 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유입온도는 256℃ ~ 268℃이며,

상기 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유속은 20 kg/s ~ 30 kg/s인 것을 특징으로 하는 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조.

청구항 2

중심에 배치된 중심봉(100)과, 상기 중심봉(100)을 중심으로 환형으로 이웃하여 층을 형성하며 배치되는 복수의 핵연료봉(200)을 포함하는 중수로 핵연료 다발(1)에 있어서,

기준거리(D1)와 상기 핵연료봉(200) 중 상기 중심봉(100)에 이웃하는 핵연료봉(200)의 중심과 상기 중심봉(100)의 중심으로부터 이격된 거리(D2)의 비는 1 : 1.013441 ~ 1 : 1.026882이고,

상기 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유입온도는 256℃ ~ 268℃이며,

상기 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유속은 20 kg/s ~ 30 kg/s인 것을 특징으로 하는 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 기준거리(D1)는 14.88 mm 인 것을 특징으로 하는 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명이 속하는 기술분야는 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 구조에 관한 것이다. 구체적으로 중수로 핵연료 다발 내 임계열유속을 증가시키는 핵연료봉의 배치구조에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 열전달 기기에서 가열면의 온도나 압력 또는 유량 등 냉각수의 유동조건이 갑자기 변하는 경우 가열면은 냉각수의 액막이 파괴되어 액체가 아닌 기체에 노출되면서 열전달 효율이 급격히 저하되어 가열면의 온도가 상승하는 드라이아웃(dryout) 현상을 발생시켜 가열면의 손상이 발생하는 문제가 있었다.

[0003] 이러한 문제는 중수로를 이용한 원자력발전시에도 발생할 수 있으므로, 가열면인 핵연료봉의 출력을 낮추거나 냉각수의 유량을 증가시키는 등의 방법으로 해결할 수 있다. 그러나 핵연료봉의 출력을 낮추는 경우, 핵연료봉의 온도를 낮춰 드라이 아웃현상을 발생시키지 않는다는 점에서는 효과적일 수 있으나, 원자력발전소의 발전량이 감소되는 문제가 있으며, 냉각수의 유량을 증가시키는 경우 별도의 추가적인 냉각수를 필요로 하며, 냉각수를 순환시키기 위한 별도의 장치, 에너지 등이 추가로 필요한 문제가 있다.

[0004] 따라서 핵연료봉의 온도를 유지 또는 상승시키며, 냉각수의 유량을 증가시키지 않도록 하는 기술적 요구가 있다.

선행기술문헌

(특허문헌 1) 대한민국 공개특허공보 10-2011-0064650

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명에 따른 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조는 앞에서 설명한 기술적 요구를 해결하기 위한 것으로, 구체적으로 가열면이 손상되는 임계열유속(critical heat flux) 현상의 원인인 드라이아웃이 높은 열유속 하에서도 나타나지 않도록 하며, 냉각수의 유량을 증가시키지 않고서도 발생하는 드라이아웃 출력을 증가시키도록 하고자 한다. 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명에 따른 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조는 중심에 배치된 중심봉과, 중심봉을 중심으로 환형으로 이웃하여 층을 형성하며 배치되는 복수의 핵연료봉을 포함하는 중수로 핵연료 다발에 있어서, 기준거리와 핵연료봉 중 중심봉에 이웃하는 핵연료봉의 중심과 중심봉의 중심으로부터 이격된 거리의 비는 1 : 1.00672 ~ 1 : 1.067204인 것이 바람직하다.

[0007] 본 발명에 따른 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조는 중심에 배치된 중심봉과, 중심봉을 중심으로 환형으로 이웃하여 층을 형성하며 배치되는 복수의 핵연료봉을 포함하는 중수로 핵연료 다발에 있어서, 기준거리와 핵연료봉 중 중심봉에 이웃하는 핵연료봉의 중심과 중심봉의 중심으로부터 이격된 거리의 비는 1 : 1.013441 ~ 1 : 1.026882이고, 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유입온도는 256℃ ~ 268℃이며, 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유속은 20 kg/s ~ 30 kg/s인 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0008] 본 발명에 따른 중수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조는 중수로 핵연료 다발의 중심봉을 중심으로 배치된 핵연료봉의 간격을 조절하여 발전용량을 감소시키거나 냉각수의 유량을 증가시키지 않고서도 드라이아웃의 발생출력을 증가시키도록 하고자 한다. 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0009]

도 1은 중래의 증수로 핵연료다발의 평면도이다.

도 2는 도 1에 도시된 증수로 핵연료다발의 일부 핵연료를 재배치한 본 발명에 따른 증수로 핵연료다발의 평면도이다.

도 3은 20 kg/s의 유속을 갖고, 256℃의 유입온도를 갖는 냉각수가 유입되는 경우 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료채널 출력의 그래프이다.

도 4는 20 kg/s의 유속을 갖고, 256℃의 유입온도를 갖는 냉각수가 유입되는 경우 도 1에 도시된 증수로 핵연료다발의 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료 채널 출력과, 도 3에 도시된 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료채널 출력을 비교한 그래프이다.

도 5는 20 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256℃, 262 ℃ 및 268℃로 냉각수가 유입되는 경우 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료채널 출력이 도시된 그래프이다.

도 6은 20 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256℃, 262 ℃ 및 268℃로 냉각수가 유입되는 도 1의 증수로 핵연료다발의 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료 채널 출력과, 도 5의 핵연료 채널 출력을 비교한 그래프이다.

도 7은 30 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256℃, 262 ℃ 및 268℃로 냉각수가 유입되는 경우 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료 채널이 도시된 그래프이다.

도 8은 30 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256℃, 262 ℃ 및 268℃로 냉각수가 유입되는 도 1의 증수로 핵연료다발의 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료 채널과, 도 7의 핵연료 채널 출력을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010]

이하에서는 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 증수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조에 관하여 구체적으로 설명하겠다.

[0011]

중래의 증수로 핵연료다발의 평면도인 도 1을 참조하면, 핵연료다발은 도 1에 도시된 바와 같이 중앙에 중심봉(100)이 배치되며, 중심봉(100)을 중심으로 환형으로 층을 형성하는 복수의 핵연료봉(200)으로 구성되며, 중심봉(100)과 중심봉(100)에 가장 가까운 핵연료봉(200)의 중심 사이의 거리는 기준거리(D1)을 형성한다.

[0012]

이러한 핵연료다발은 수평으로 놓여진 핵연료채널 내에 수평으로 설치되며, 냉각수는 핵연료 채널을 감싸는 관 오른쪽 또는 왼쪽 입구에서 유입되어 반대쪽 유출구로 유출된다. 이 과정에서 핵연료봉으로부터 열교환이 이루어지게 된다.

[0013]

앞에서 설명한 바와 같이 핵연료봉(200)의 온도가 일정한 온도를 넘게 되면 냉각수의 액막이 파괴되어 기포가 발생하게 되며 냉각수와 핵연료봉(200) 사이에 열전달이 원활하게 이루어지지 않아 핵연료봉(200)이 손상되는 드라이아웃(dryout)현상이 발생할 수 있다.

[0014]

따라서 본 발명의 실시예에 따른 증수로 핵연료 다발의 핵연료봉 배치구조는 앞에서 살펴본 기준거리(D1)와 핵연료봉(200) 중 중심봉(100)에 이웃한 핵연료봉(200)의 중심과 상기 중심봉(100)의 중심으로부터 이격된 거리(D2)의 비는 1 : 1.00672 ~ 1 : 1.067204 이내로 재배치하는 것이 바람직하다.

[0015]

도 1에 도시된 증수로 핵연료다발의 일부 핵연료를 재배치한 본 발명에 따른 증수로 핵연료다발의 평면도인 도 2를 참조하면 도 1에 도시된 중심봉(100)과 핵연료봉(200) 중 중심봉(100)에 가장 가까운, 즉, 중심봉(100)에 이웃한 핵연료봉(200)의 중심의 거리, 즉 기준거리(D1)을 14.88 mm라 하면(도 2에서 점선으로 표기), 중심봉(100)에 가장 가까운 핵연료봉(200)을 재배치한 뒤 중심봉(100)의 중심으로부터 중심봉(100)에 가장 가까운 핵연료봉(200)의 중심 사이의 거리를 D2라 하는 경우(도 2에서 실선으로 표기), D2는 14.98 mm ~ 15.88 mm의 범위 내에 있는 것이 바람직하다.

표 1

[0016]

Dia Ratio	Ring Radius(mm)	Dryout Power(kW)	Enhancement Ratio
1	14.88	8754.3	1

1.00672	14.98	8968.8	1.024502245
1.013441	15.08	9180.4	1.048673223
1.020161	15.18	9197.5	1.050626549
1.026882	15.28	9187	1.049427139
1.033602	15.38	9176.1	1.048182036
1.040323	15.48	9164.9	1.046902665
1.047043	15.58	9154.1	1.045668986
1.053763	15.68	9142.8	1.044378191
1.060484	15.78	9132.7	1.043224473
1.067204	15.88	9126.2	1.04248198

- [0017] 위의 표 1은 냉각수의 유속을 20 kg/s로 하고 유입온도를 256 °C 로 하여D2을 14.98 mm부터 15.88mm까지 변경하며 핵연료 다발의 출력을 증가시켜 드라이아웃이 발생하는 출력을 시뮬레이션한 결과이며, 이러한 결과를 그래프화하면 도 3과 같다. 이 때의 시뮬레이션은 공지의 중수로 핵연료 열수력 부수로 해석코드(Thermalhydraulic subchannel analysis code)를 사용하였다. 상기한 부수로 해석코드는 공지된 바와 같이 수평으로 이루어진 중수로 핵연료의 이상유동(two-phase flow) 해석을 위한 것으로, 드라이아웃(dryout) 또는 임계열유속(CHF : Critical Heat Flux)을 예측하기 위하여 중수로 핵연료의 부수로내 유동 및 상분포(phase distribution)를 계산하는 일반 코드이다.
- [0018] 도 3을 참조하면 D1을 14.98 mm 부터 15.18 mm 까지 증가시키는 경우 드라이아웃이 발생하는 출력은 점점 증가하는 것을 알 수 있으며, 15.18 mm부터 15.88 mm까지 증가시키는 경우 드라이아웃이 발생하는 출력이 점차 감소하는 것을 알 수 있다.
- [0019] 이러한 결과를 D2가 기준거리(D1)와 같은 14.88 mm 인 경우와 비교하면, 14.98 mm ~ 15.88 mm의 범위 내에서는 중심봉(100)에 가장 가까운 핵연료봉(200)이 D1 만큼 이격된 상태보다 드라이아웃이 발생하는 출력이 증가되는 것을 알 수 있다.
- [0020] 이러한 결과는 20 kg/s의 유속을 갖고, 256°C의 유입온도를 갖는 냉각수가 유입되는 경우, 기준거리(D1)인 이격거리를 갖는 핵연료봉(200)의 드라이아웃 현상이 발생하는 출력과, D2인 이격거리를 갖는 핵연료봉(200)의 드라이아웃 현상이 발생하는 출력을 비교한 그래프인 도 4를 참조하면 더욱 명확하게 알 수 있다.
- [0021] 즉, D2가 14.88 mm보다 큰 경우 드라이아웃 현상이 발생하는 핵연료 다발 출력은 D2가 14.88 mm인 경우보다 큰 것을 알 수 있으며, 가장 크게는 약 5%의 드라이아웃 출력을 증대시킬 수 있는 것을 알 수 있다. 따라서 기준거리(D1)과 D2의 비가 1 : 1.013441 ~ 1: 1.026882 사이에 있는 경우 보다 효과적인 것을 알 수 있다.
- [0022] 20 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256°C, 262 °C 및 268°C로 냉각수가 유입되는 경우 드라이아웃 현상이 발생하는 출력이 도시된 그래프인 도 5와, 20 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256°C, 262 °C 및 268°C로 냉각수가 유입되는 도 1의 중수로 핵연료다발의 드라이아웃 현상이 발생하는 출력과, 도 5의 출력을 비교한 그래프인 도 6을 참조하면, 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유입온도는 256°C ~ 268°C의 범위를 갖는 것이 바람직하다.
- [0023] 도 5와 같이 낮은 온도의 냉각수가 유입되는 경우 드라이아웃 현상이 발생하는 출력이 보다 증가될 수 있음은 자명하나, 핵연료봉(200)과 열교환한 냉각수는 2차 열교환 및 3차 열교환을 통하여 증기를 발생시켜야 하므로 가급적 높은 온도를 갖고 유출되는 것이 바람직하다. 따라서 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유입온도는 이러한 점을 고려하여야 하며, 현재 CANDU-6형 중수로의 조건에 따르면 256°C ~ 268°C의 범위를 갖는 것이 바람직하다.
- [0024] 30 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256°C, 262 °C 및 268°C로 냉각수가 유입되는 경우 드라이아웃 현상이 발생하는 출력이 도시된 그래프인 도 7과, 30 kg/s의 유속을 갖고, 초기 온도가 256°C, 262 °C 및 268°C로 냉각수가 유입되는 도 1의 중수로 핵연료다발의 드라이아웃 현상이 발생하는 출력과, 도 7의 출력을 비교한 그래프인 도 8을 참조하면 본 발명에 따른 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유속은 20 kg/s ~ 30 kg/s인 것이 바람직하다.
- [0025] 앞에서 설명한 바와 같이 냉각수의 유속을 증가시키는 경우 드라이아웃이 발생하는 출력이 증가되는 것은 자명하나, 냉각수의 유속을 증가시키는 경우 별도의 에너지 및 장치가 추가되어야 한다. 따라서 도 7 및 도 8에 도시된 바와 같이 핵연료봉 다발 내로 유입되는 냉각수의 유속은 20 kg/s ~ 30 kg/s인 것이 바람직하다.

[0026]

본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

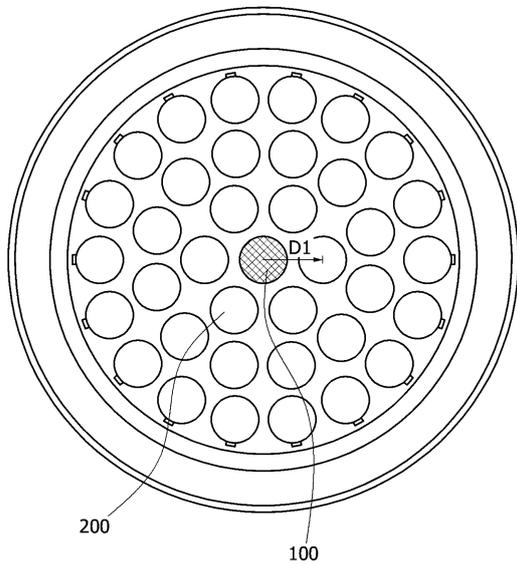
부호의 설명

[0027]

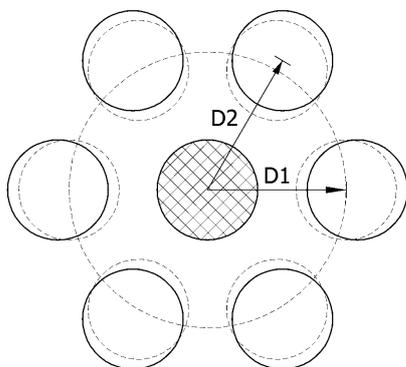
100 : 중심봉
200 : 핵연료봉

도면

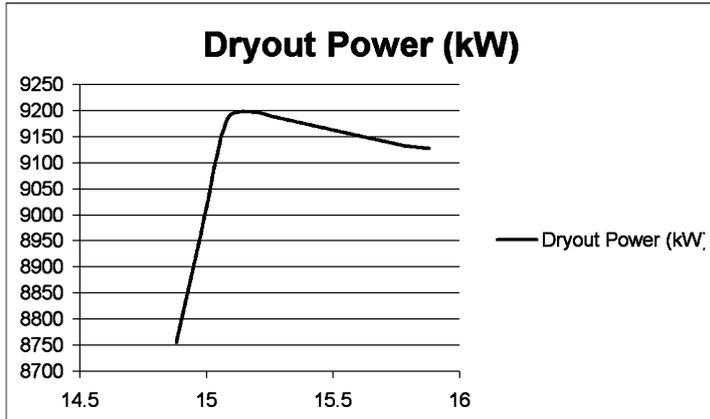
도면1



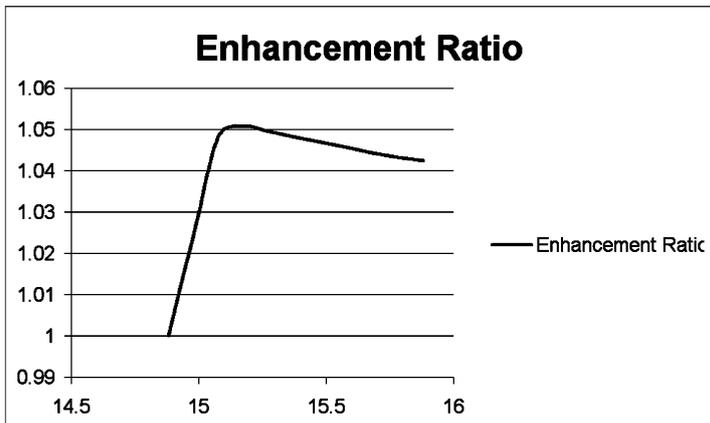
도면2



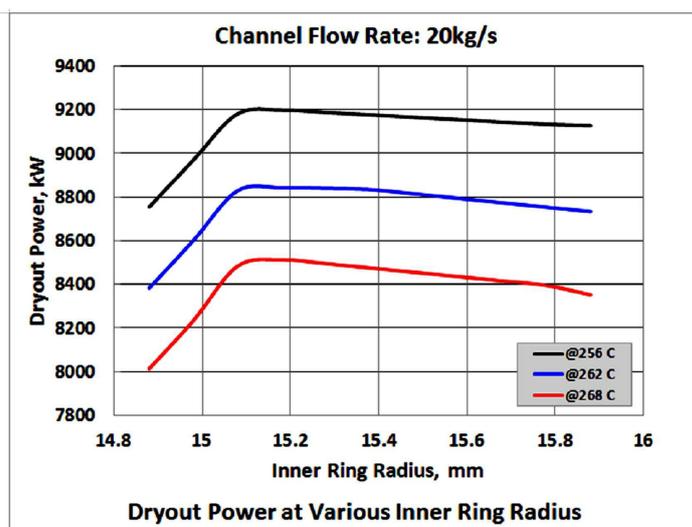
도면3



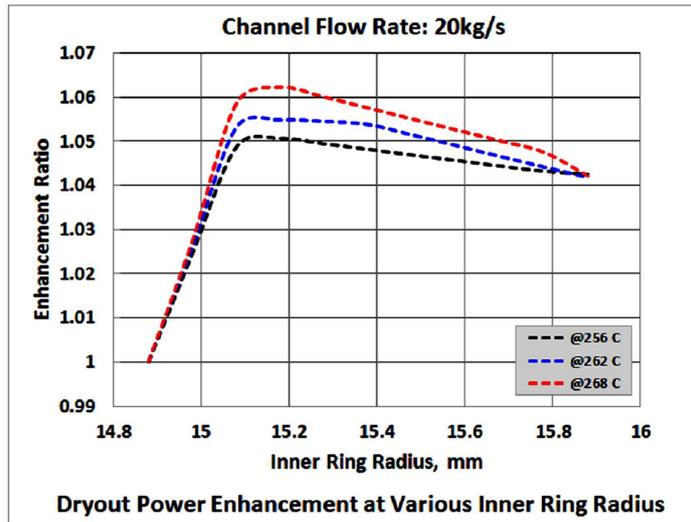
도면4



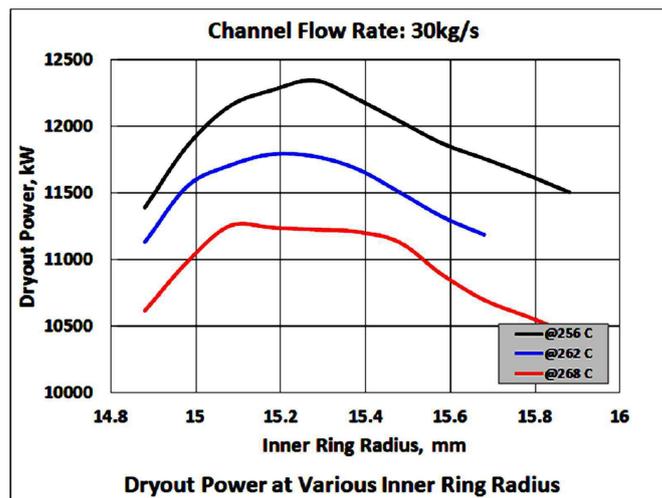
도면5



도면6



도면7



도면8

