

MIDAS

LBLOCA

Direct ECC Bypass Phenomena in the MIDAS Test Facility during LBLOCA Reflood Phase

150

	(DVI)		LBLOCA
	TRAC		MIDAS
		, 1/4.93	
(DVI-2&4)	가	(DVI-4),	(DVI-2),
가		(Direct Bypass)	
	가	(DVI-4)	
(DVI-2)	가	가	
		가	(DVI-2&4)
			가

Summary

This paper describes the experimental results of ECC Direct Bypass Phenomena in the downcomer during the late reflood phase of LBLOCA of the reactor that adopts Direct Vessel Injection as a ECC system. The experiments have been performed in MIDAS test facility using superheated steam and water. The test condition was determined, based on the preliminary analysis of TRAC code, from modified linear scaling method of 1/4.93 length scale. To measure the direct bypass fraction according to the nozzle location, separate effect tests have been performed in case of DVI-4(farthest from broken cold leg) injection, DVI-2(closest to broken cold leg) injection, and DVI-2&4 injection, respectively. Also the test was carried out varying the steam flow rate greatly to investigate the effect of steam flow rate on the direct bypass fraction of ECC water.

Test results show that the direct bypass fraction of ECC water depends significantly on the injected steam mass flow rate. DVI-4 tests show that the direct bypass fraction increases drastically as the steam flow rate increases. However, in DVI-2 test most of the injected ECC water penetrates into lower downcomer. The direct bypass characteristic in each of DVI-2 and DVI-4 tests is reflected into the direct bypass characteristic curve of DVI-2&4 tests. The steam condensation reaches to the theoretically allowable maximum value.

1.

(DVI) (Direct
 L BLOCA (ECC Bypass) LBLOCA 가
 DVI MIDAS MIDAS
 Sweep-Out 가 가
 (DVI-4) 가 (single failure) 가 가 가
 (DVI-2), (DVI-2) (DVI-2&4) 가 (DVI-4),
 가
 TRAC 200 가
 [1]

2.

[2]
 (MIDAS) (3), (1),
 Fig.1 Fig. 2

3

1
) 3 가 1 ([1, 2].
 2.5

1

TRAC

2.018m

가

DAS

600

3 .

3.1

4 ' 600

2 가

(1)

Separator

Water Accumulation

3%

$$\text{Mass Balance Error (\%)} = \frac{m_{Total,in}(t) - m_{Total,out}(t)}{m_{Total,in}(t)} * 100 \quad (1)$$

(2)

4%

$$\text{Energy Balance Error (\%)} = \frac{e_{Total,in}(t) - e_{Total,out}(t)}{e_{Total,in}(t)} * 100 \quad (2)$$

3.2 (Steam Condensation Fraction)

가

가

4

가

가

. 1/7

Air/Water
Jet Impingement

가

[3]. MIDAS

/

러한 증기 응축률은 air/water 실험의 결과에서와 같이 저온관에서 주입된 증기의 Jet Impingement에 의해 충분한 계면면적 밀도가 만들어짐을 보여준다.

3.3 안전 주입수 우회율 (ECC Bypass Fraction)

강수부에 주입된 비상노심냉각수 및 계산된 증기 응축량의 합산량(액상) 대비 비상노심 냉각수의 강수부의 하부에서 측정된 배출유량 값으로부터 다음과 같이 계산될 수 있다

$$\begin{aligned} & \text{Lower Plenum Bypass Fraction (\%)} \\ & = 1 - \text{DC Penetration Fraction} \quad (3) \\ & = \left(1 - \frac{m_{FT-LP-02}(t)}{m_{Total,ECC,In}(t) + m_{FT-CL-1/2/3}(t) - m_{FT-CL-401}(t)} \right) * 100 \end{aligned}$$

그림 5 에는 이러한 안전 주입수 우회율을 식(3)에 의해 계산하여 도시하였다. 그림에서와 같이 파단관에서 멀리 떨어진 DVI-4 노즐로부터 단독 주입된 안전 주입수는 증기 유량이 크게 증가해도 강수부 하단부로 침투하는 것을 보여준다. 반면, 파단 저온관에 근접한 DVI-2 노즐에서 단독 주입된 안전 주입수는 파단관에서 계측된 순 증기 질량에 민감하게 증가함을 보여준다. DVI-2 와 DVI-4 에서 동시 주입된 안전 주입수의 우회율은 이러한 DVI-2 및 DVI-4 의 안전주입수 우회 경향에 의해 그 우회비가 결정됨을 보여준다. 이러한 관측 결과는 APR-1400 의 후기 재관수 기간에서 발생하는 안전 주입수의 직접 우회현상은 파단부에서 가까운 안전주입수의 우회에 의해 발생됨을 보여준다.

3.4 강수부내의 온도분포

그림 6 은 강수관내에 설치된 열전대의 위치를 보여주며, 그림 7~9 는 열전대로부터 측정된 강수관내 온도분포를 그린 전형적인 그림이다. 그림 7 은 원자로용기의 내벽면에서의 온도분포를 보여준다. 그림 7 에서와 같이 강수부에 주입된 안전주입수는 원자로용기 내벽면에 물막을 형성하고 이는 강수부 상부에서 주입된 증기가 응축되어 급격히 포화 온도에 도달됨을 보여준다. 그림 8 은 강수부 중앙에 설치된 열전대에서 계측된 온도분포를 도시한 그림이다. 그림에서와 같이 파단 저온관에서 멀리 떨어진 DVI-2 에서 주입된 안전 주입수는 국소적으로 강수부 하단부로 침투하여 약간의 과포화도를 유지한다. 그러나 파단저온관에서 가까운 4 번 DVI로 주입된 안전주입수는 파단저온관으로 모두 빠져나가는 것을 보여준다.

그림 9 는 코아베일 외벽의 온도분포이다. 그림에서와 같이 저온 파단관에서 먼쪽 DVI-2 의 안전 주입수는 저온관 2 번과 hot-leg 사이를 통해서 강수부 하단부로 침투하는 것을 보여준다. 이는 Air/Water 실험에서와 같이 안전 주입수 우회 및 침투 현상은 강수부내 기하학적 형상등 다차원 현상에 의해 지배되는 현상임을 보여준다.

그림 7~9 에서와 같이, 증기가 주입되는 저온관 부근과 안전주입수가 주입되는 DVI Nozzle 부근을 제외하고는 강수관내 전 영역에서 측정된 증기 및 안전주입수의 온도가 포화온도에 근접한 것을 알 수 있다. 이것으로부터 앞서 기술한 바와 같이 증기 응축율이 이론적으로 가능한 최대 응축율에 도달한 것을 간접적으로 확인할 수 있다. 또한 주입되는 증기의 과열도는 저온관 부근에서 액막과 접촉하는 순간에 거의 상실됨을 알 수 있다.

4. 결 론

원자로용기 직접주입 방식을 채택하는 원자로의 강수부에서 발생하는 안전주입수 직접 우회율의 정량적 계측을 위한 실험이 수행되었다. 실험에 적용된 척도법은 수정형 선형 척도법으로서, 이는 기하학적으로 선형척도법의 특성을 갖으나, 속도 및 질량속도가 길이비

4% 3% ,
가
가 DVI-4
DVI-2 DVI-2&4 가 가
(DVI-4) 가 (DVI-2) 가
가
(DVI-2&4)

References

- [1] , “ ”, KAERI/TR-1878/2001, (2001)
- [2] Quick Look Report, “MIDAS-QLR-009-Draft”, (2001)
- [3] , “Air/Water Test on Direct ECC Bypass during LBLOCA Reflood Phase of KNGR” 2000, (2000)
- [4] , “ 가 ”, Private Communication (2001)
- [5] , “ DVI 가 ”, 53121-DVI-TP-001, Rev. 00, 2001. 4,

Table 1. Scaling Ratio of " Modified Linear Scaling Law"

Parameter	Modified Linear Scaling : Scaling Ratio	
	Ratio	MIDAS
Length Ratio, l_R	l_R	1/4.9295
Area Ratio, a_R	l_R^2	1/24.3
Volume Ratio, V_R	l_R^3	1/119.79
Time Ratio, t_R	$l_R^{1/2}$	1/2.22
Velocity Ratio, u_R	$l_R^{1/2}$	1/2.22
Flow Rate Ratio, \dot{m}_R	$l_R^{5/2}$	1/53.95
Temperature Ratio, T_R	-	1/1

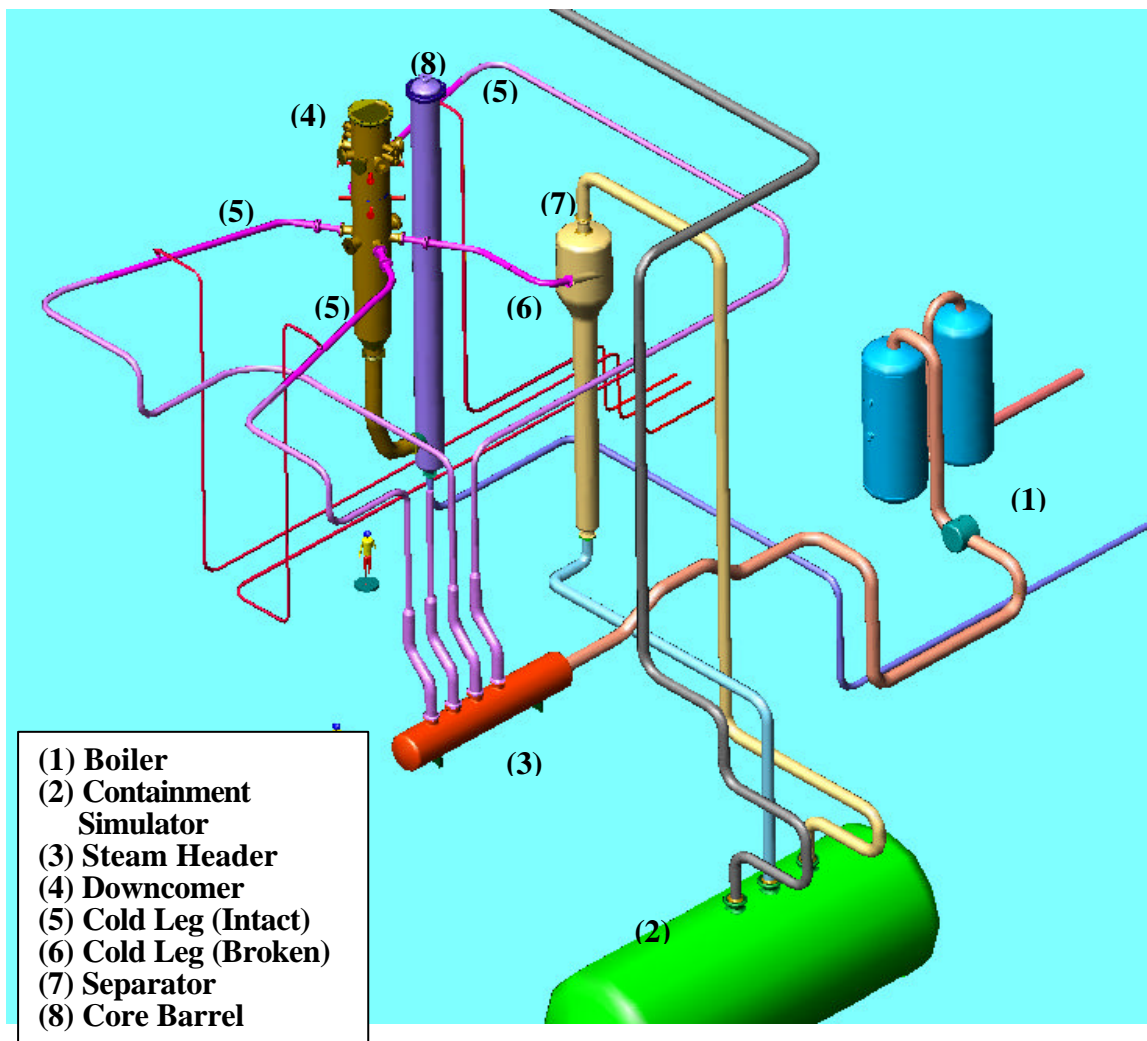


Fig. 1 Isometric View of the MIDAS Facility

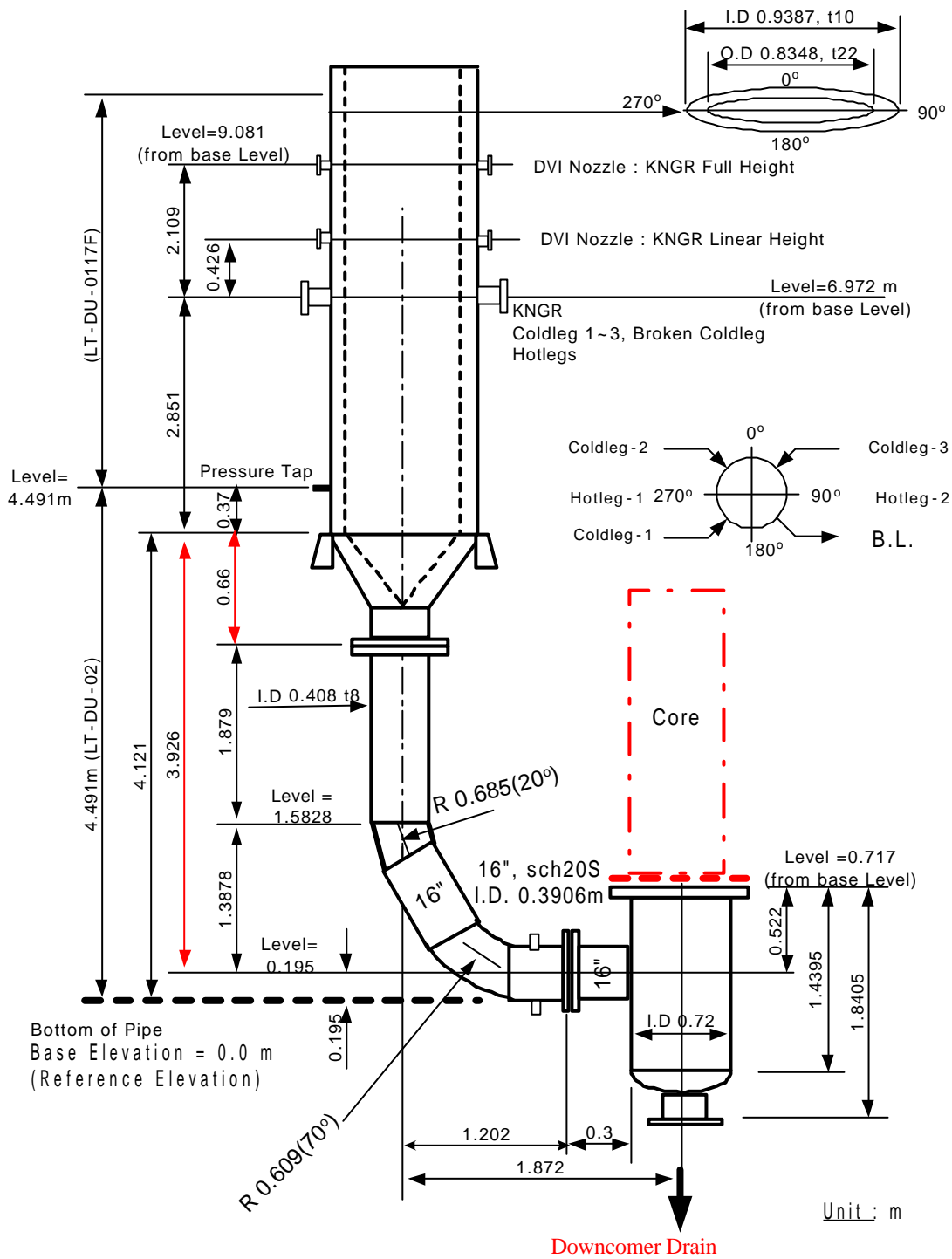


Fig. 2 Schematic Diagram of Downcomer

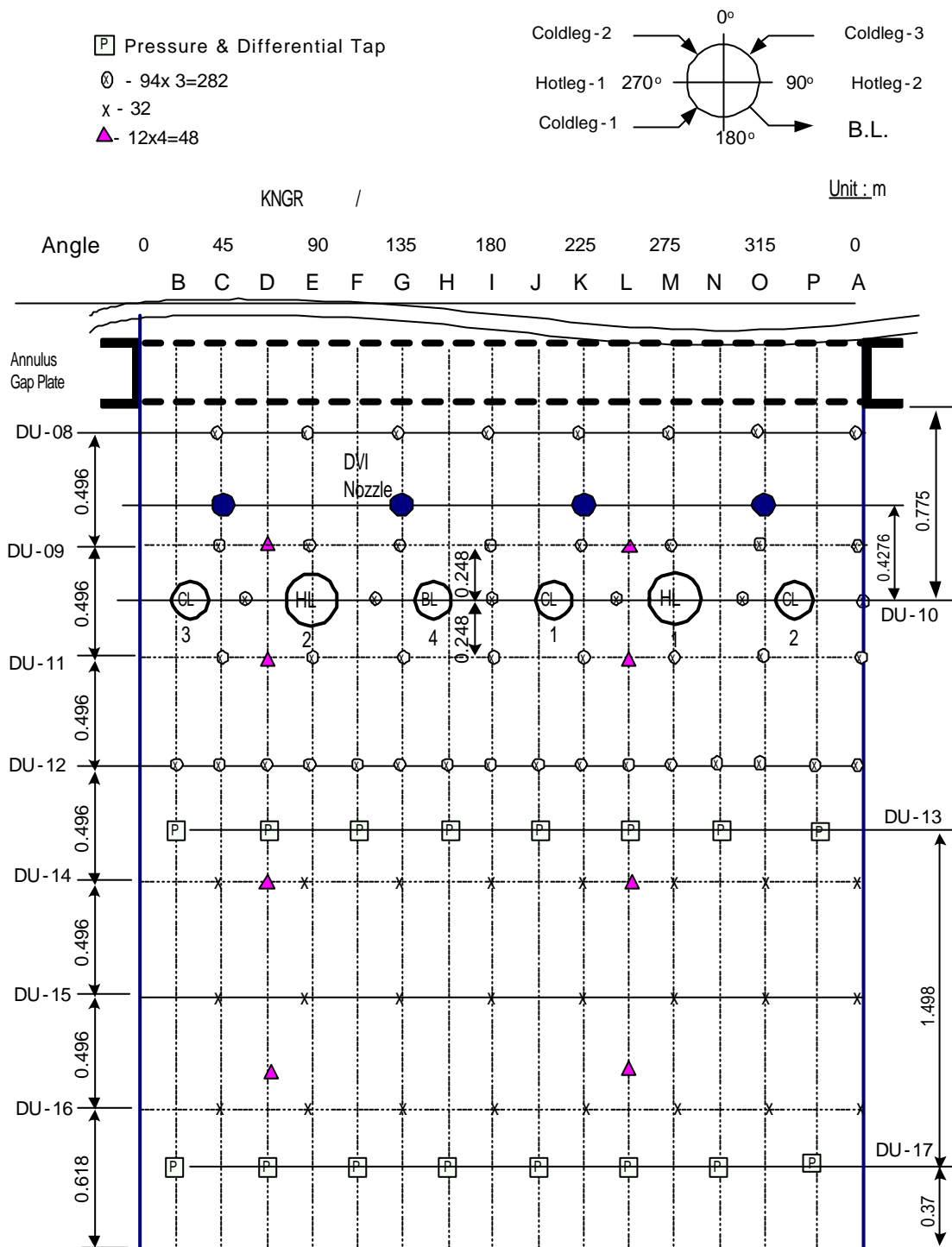


Fig. 3 Location of Thermocouples and Pressure Transmitters in the D/C

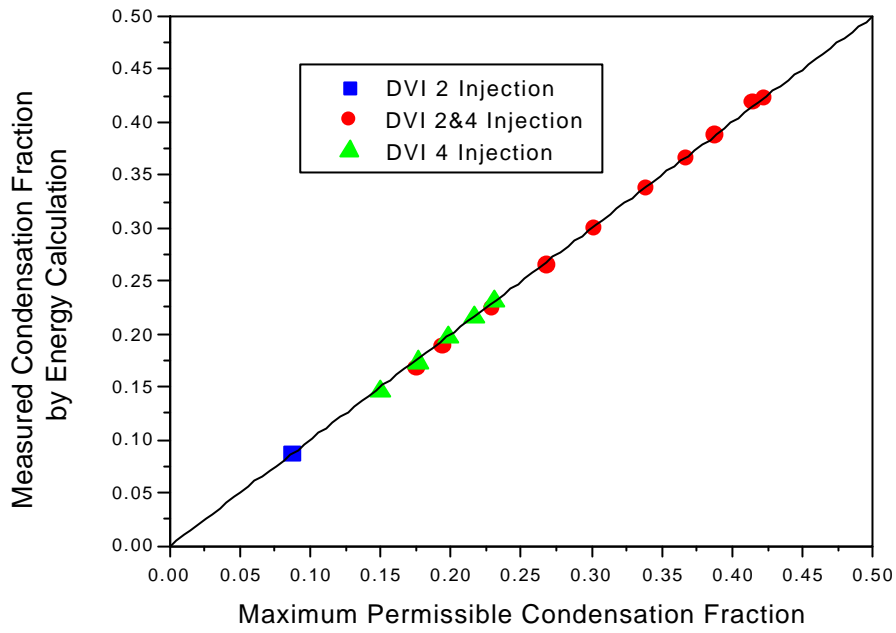


Fig. 4 Steam Condensation Fraction by Energy Balance

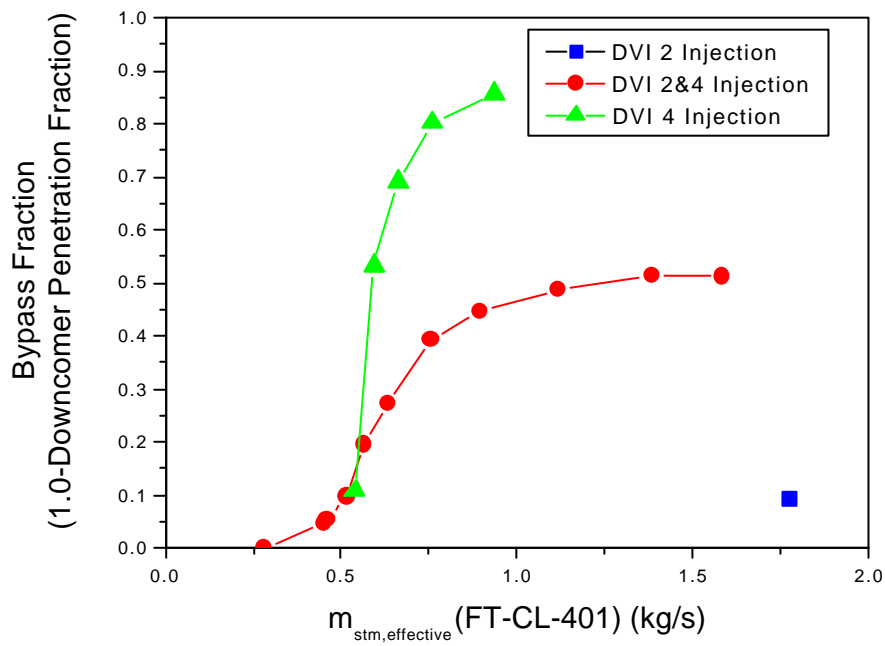


Fig. 5 Bypass Fraction to the Effective Mass Flow Rate

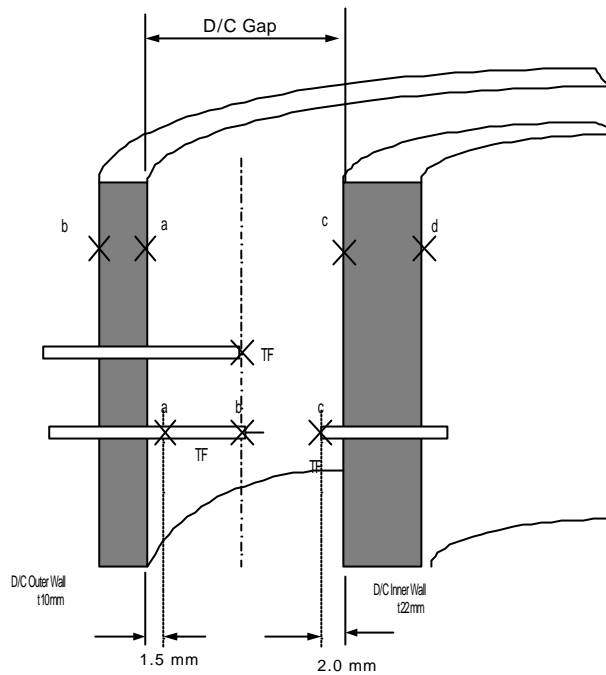
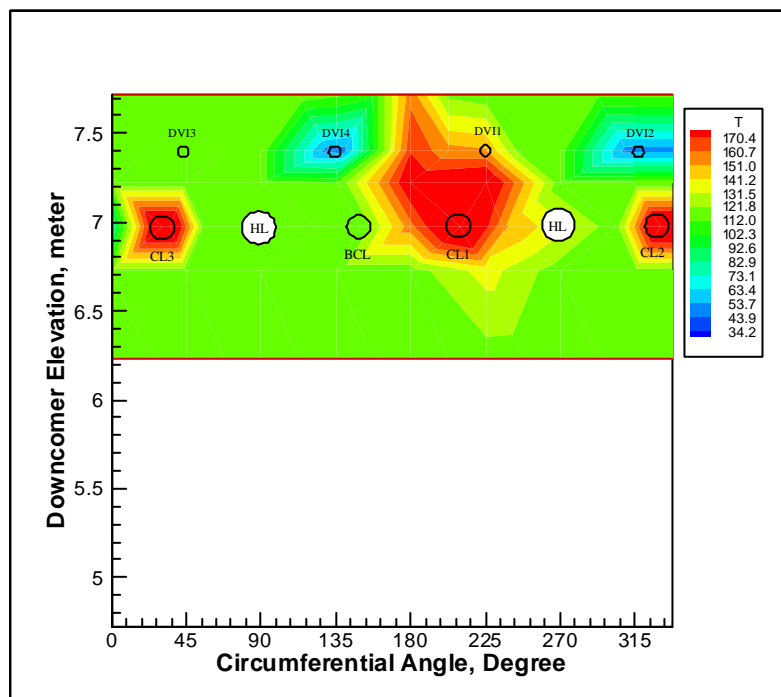
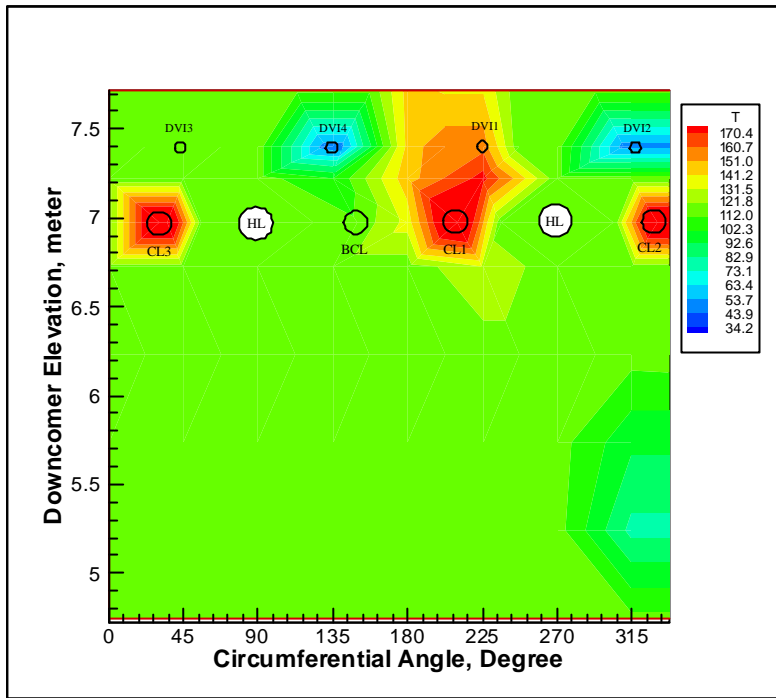


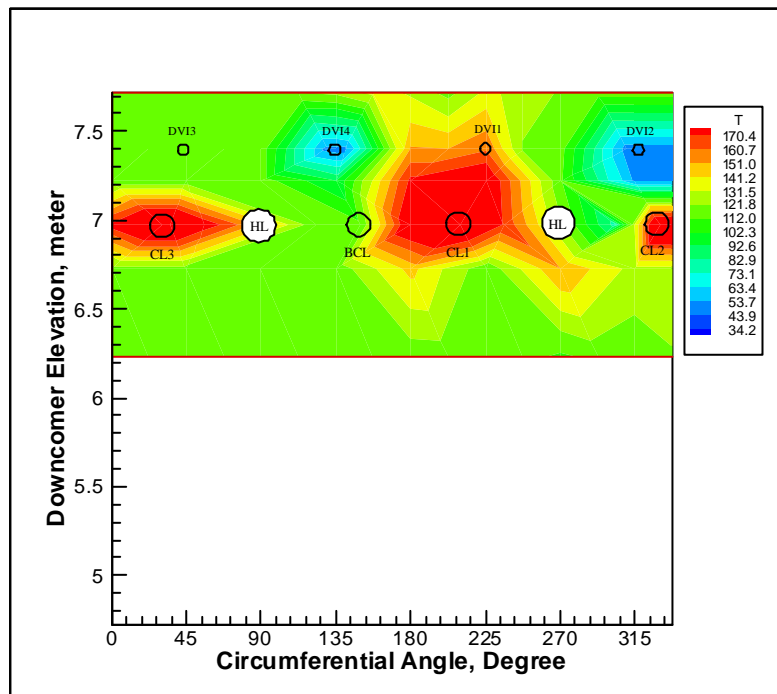
Fig. 6 Location of Thermocouple in the D/C Annulus





8

[Test MIDAS-KM-102]



9

Inner Wall

[Test MIDAS-KM-102]