2001 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

Chec Family of Codes 를 이용한 원전 2차측 배관재의 침식-부식 평가

Erosion-corrosion Analysis of Secondary Side Piping Components using Chec Family of Codes in Nuclear Power Plant

이은희*, 김경모, 허도행, 한정호, 김우철
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

침식-부식에 의한 배관재 손상은 개인의 안전과 발전소에 심각한 영향을 미친다. 따라서 침식-부식에 의한 배관재 파손을 방지하기 위한 효과적인 검사프로그램이 필요하다. 본 연구에서는 EPRI 에서 개발한 Chec Family of Codes 를 이용하여 각 배관재들의 침식-부식 속도를 예측하고 잔존 수명을 계산하였다. 수화학 조건 및 설계 인자들의 변화는 마모속도에 영향을 주었다. 전산코드에 의한 침식-부식 평가는 발전소현장에 많은 도움이 될 것이다.

Abstract

Pipe wall thinning due to erosion-corrosion raises severe plant and personnel safety. Effective inspection program is required to prevent piping failure caused by erosion-corrosion. Chec Family of Codes developed by EPRI was used to predict erosion-corrosion rates in piping components and to calculate the time remaining before reaching user defined acceptable wall thickness. The rate of wear rate depended on water chemistry and design factors. Erosion-corrosion evaluation by codes is to be useful to utilities.

1.서론

침식-부식(erosion-corrosion) 은 유체 흐름에 따른 금속 표면 산화막의 용해 또는 분리가 가속되어 일어나는 현상이다. 이 침식-부식은 수력학적(유속, 증기특성, 기하학적 구조), 환경(온도, pH, 산소), 그리고 재료(Cr, Cu, Mo 함량)등 많은 인자들의 복합적인 상호작용에

의해 일어난다[1]. 원자력 발전소의 저압, 고압 터빈부분과 급수가열기(feedwater heater) 부분등 광범위하게 사용되는 탄소강은 빠른 유속의 단상(water) 또는 2상(water-wet steam) 유체속에서 침식-부식 손상을 입게 된다. 주로 2상 조건에서 침식-부식 손상이 많이 일어나나 일부 단상 조건에서도 발생하는 것으로 보고 되었다[2]. 1986년 미국의 Surry 2 발전소에서 발생한 급수 배관의 대형 파손 사고도 침식-부식 현상에 의해 발생한 것으로 밝혀졌다[3]. 이후 미국의 EPRI 에서는 2차측 배관재들의 침식-부식 손상 평가와 이의 관리를 위해 Chec Family of Codes 를 개발하였으며[4] 미국내 많은 발전소들이 활용하고 있다. 본 연구에서는 이 코드를 사용하여 국내 원전 2차 계통에서도 나타나는 이러한 침식-부식 손상을 평가해 보고자 하였다. 2차측 배관재들의 침식-부식 손상이 많이 발견된 발전소의 자료를 입력하여 일차적으로 코드에 의해 나타난 결과 만을 가지고 입력 환경 조건에서 침식-부식 거동을 평가하였다.

2. 실험방법

Chec Family of Codes 를 EPRI 로부터 구매하여 우선 코드에 관한 검토 및 분석을 하였고 계산을 수행하기 위한 전산 시스템을 구성하였다. 코드의 입력 자료 체계는 동일 수화학 조건과 운전 시간 이력을 갖는 case data form, 같은 case에 해당하며 동일 설계 압력과 설계 온도로 구성되는 segment data form, 같은 segment 를 구성하는 배관 계통의 각 구성 부분(예, tee, elbow, …등)의 component data form 으로 이루어진다. 위와 같은 입력 자료들을 위해 국내 원전중에서 2차측 배관재의 침식-부식 손상이 많이 발견된 A 발전소의 자료를 선택하기로 하였다. 그리고 현장 작업종사자들의 도움을 받아 heat balance diagram, P&ID drawings, isometric drawings, 수화학 조건 자료, 운전시간 자료 그리고 재질 spec. 관련 자료들을 수집하였다. 이들 자료들을 분석하여 코드입력 체계에 맞게 자료들을 정리하였다. 발전소 전체 배치도는 코드에 있는 기본 배치도에서 실제 A 발전소의 배치도와 같게 수정하였다(그림 1 a). 그림 1(b) 는 코드 계산 수행을 위해 선택한 일부 단상 계통인데 가동 온도는 침식-부식에 민감하지 않으나 유속이 크고 가동중 pH 값이 낮아서 침식-부식 손상이 예상되는 계통이다. 이 계통들은 수화학 조건은 같으나 운전 시간이 다르므로 case A 와 case B 로 나누었다. case A 는 설계 압력과 온도에 따라 4개의 segment 로 case B 는 6개 segment 로 나누었다(그림 1c). 이들 계통들의 주요 운전 및 설계 자료는 표 1과 2에 제시하였다. 자료들의 입력 형태는 그림 2의 (a), (b), 그리고 (c) 에 보였다.

3. 연구결과 및 고찰

배관의 침식-부식 속도 예측 계산식은 많은 실험실 자료와 발전소 검사 자료들을 이용하여 만든 실험식이다. 따라서 가동온도, pH, 배관형상, 배관재질, 유속과 관련된 배관 직경, 증기분율 그리고 정기적인 배관두께 측정 자료들이 코드 계산에 중요한 인자들로 작용한다. 서로 다른 설계 조건을 가진 일부 배관들의 침식-부식 계산 결과를 표 3과 4에 제시하였다. 제시된 표에서 침식-부식 현재 값은 pH 가 9.3으로 운전되는 현재 상태의 값이며 평균값은 pH 9.0 과 9.3으로 운전된 상태의 평균값을 말한다. pH 변화에 따라 침식-부식 속도가 현저히 감소함을 알 수 있다. Tcrit 는 배관이 설계 압력에 견디는 최소 요구 두께로서 Tcrit

까지 남은 시간을 계산한 결과를 보면 일부 배관들은 벌써 Tcrit 에 도달하고 있다. 배관 형상에 따른 차이로는 파이프(p), 보다 엘보우(e), 밸브(v) 그리고 리듀셔(r) 가 높은 침식-부식 속도를 보였고 Tcrit 에 도달하는 시간이 빨랐다. 같은 엘보우(e) 라도 45° 보다 90° 형상의 엘보우(e) 가 높은 마모 속도를 보였다. 그림 3은 s3, s4 그리고 s5 segment 중 현재 예측한 배관두께와 Tcrit 비에 따른 component 수를 보인 것이다. 현재 9개의 component 가 Tcrit 에 도달했음을 보여 준다. 그림 4는 처음 운전시간부터 현재까지 10000 시간 단위로 Tcrit 에 도달하는 component 수를 보인 누적그래프이다. 70000 시간에 39개의 component 수중 30개가 Tcrit 에 도달할 것임을 예측하고 있다. 그림 3의 현재 Tpred/Tcrit 비를 보면 66600 시간 까지 9개만 Tcrit 에 도달했으나 그림 4에 의하면 곧 많은 component 들이 한꺼번에 Tcrit 에 도달할 것임을 예고하고 있다. 그림 5는 s6, s7 그리고 s8 segment 의 component 중 21개가 Tcrit 에 도달했음을 보여 준다. 처음 20000 시간까지 많은 component 들이 Tcrit 에 도달하고 그 후에는 별 차이를 보이지 않았다. 전산코드에 의한 계산은 우리가 입력한 자료에 의해서만 나타나는 결과이다. 따라서 불확실한 자료들은 마모 예측값이 실제 측정값과 벗어나는 결과를 초래한다. 그리고 배관두께 측정자료들은 실측값과 예측값 사이의 차이를 줄이는 중요한 보정인자로 작용하므로 특히 중요하다. 여러 위치에서 많은 수의 component 들에 대한 검사 보다는 몇 몇 위치에 정기적인 배관두께 자료를 확보해 놓는 것이 계산 오차를 줄일 수 있는 중요한 자료로 사용될 수 있다. 본 연구에서 발전소 배관재들의 실제 자료를 가지고 모의 실험한 것은 단순히 입력 자료에만 의거한 것이다. 자료들의 불충분함 그리고 관련 자료들의 불충분한 이해 등으로 인한 잘못된 입력 자료 등이 많은 계산의 불확실성을 가져왔을 수도 있다. 그러나 정확한 자료, 분석 그리고 입력에 의한 침식-부식 평가는 발전소 현장에 많은 도움이 될 것이라 생각한다.

4. 결론

1.수화학 조건중에서 pH가 9.0에서 9.3으로 증가함에 따라 마모속도가 상당히 감소하였다.
2.배관의 기하학적 형상에 따라서도 침식-부식 속도 차이가 났으며 엘보우, 밸브, 리듀셔가 파이프 형상일 때보다 높았다.
3.설계 인자들의 변화도 마모속도에 영향을 주었다.
4.정확한 입력 자료에 근거한 배관재들의 침식-부식평가는 산업체 현장에 많은 도움이 될 것이다.

참고문헌

1.G.Cragnolino, “A Review of Erosion-Corrosion of Steels in High Temperature Water”, proc. 3th International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power systems-Water Reactors, p397(1987)

2.Water chemistry and Corrosion in the Steam-Water Loops of Nuclear Power Stations, Conf, ADERP, Electricite de France, Seillac, France(1980)

3.C.J. Czajkowski, Metallurgical Evaluation of an 18-Inch Feedwater Line Failure at the Surry Unit 2 Power Station, NUREG/GR-4868, Brookhaven National Laboratory(1987)

4.Chec Family of Codes User's Manual (NSAC/145L)

Table 1. Chemistry history data

Case	Amine type	pH	Oxygen(ppb)	No. of hours
A	ammonia	9.00	5	60900
	ammonia	9.30	5	39100
B	ammonia	9.00	5	40600
	ammonia	9.30	5	26000

Table 2. Design condition for piping segment

Segment name	Pressure(psig)		Temperature(°F)		Enthalpy (Btu/lbm)
	design	operation	design	operation	
s1, s2 s3, s4, s5	400	315.3	390	363	336.14
s6, s7, s8, s9, s10	1550	1155.3	450	365	338.83

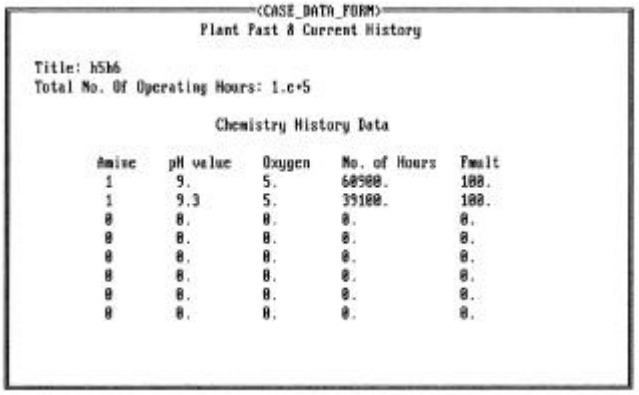
Table 3. Erosion-corrosion calculation data of segment s4 and s5

Component Name	Geometry Code	Thickness (in)			Erosion Rate (mils/year)		Component Predicted Time to Tcrit (hrs.)	
		Init.	Pred.	Tcrit	Avg.	Cur.	Tcrit	Inspetion
S4								
t1	11	0.375	0.254	0.264	16.0	10.3	-8805	
p2	61	0.375	0.302	0.264	9.6	6.2	54453	
e3	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	O
v4	22	0.375	0.254	0.264	16.0	10.3	-8805	
p5	58	0.375	0.324	0.264	6.7	4.3	122229	O
e6	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	
p7	52	0.375	0.314	0.264	8.0	5.1	86082	
e8	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	O
p9	52	0.375	0.314	0.264	8.0	5.1	86082	
e10	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	O
r11	17	0.312	0.215	0.211	12.7	8.2	4540	
e12	2	0.312	0.188	0.211	16.3	10.5	-19355	O
p13	52	0.312	0.231	0.211	10.6	6.8	26187	
S5								
p1	10	0.375	0.254	0.264	16.0	10.3	-8805	
t2	13	0.375	0.254	0.264	16.0	10.3	-8805	
e3	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	O
v4	22	0.375	0.254	0.264	16.0	10.3	-8805	
p5	58	0.375	0.324	0.264	6.7	4.3	122229	O
e6	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	O
p7	52	0.375	0.314	0.264	8.0	5.1	86082	
e8	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	O
p9	52	0.375	0.314	0.264	8.0	5.1	86082	
e10	2	0.375	0.281	0.264	12.3	7.9	19537	O
r11	17	0.312	0.215	0.211	12.7	8.2	4540	
e12	2	0.312	0.188	0.211	16.3	10.5	-19355	O
p13	52	0.312	0.231	0.211	10.6	6.8	26187	

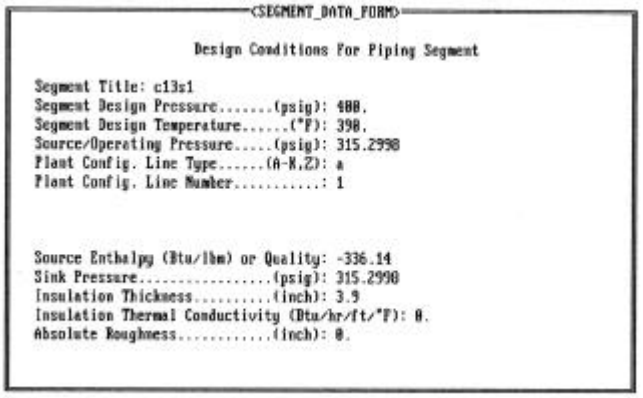
Table 4. Erosion-corrosion calculation data of segment s7 and s8

Component Name	Geometry Code	Thickness (in)			Erosion Rate (mils/year)		Component Predicted Time to Tcrit (hrs.)	
		Init.	Pred.	Tcrit	Avg.	Cur.	Tcrit	Inspetion
S7								
p1	57	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
v2	20	0.844	0.666	0.684	23.4	15.0	-10522	
p3	70	0.844	0.666	0.684	23.4	15.0	-10522	
e4	1	0.844	0.737	0.684	14.0	9.0	51848	
e5	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p6	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
e7	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p8	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
e9	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p10	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
e11	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
v12	8	0.844	0.666	0.684	23.4	15.0	-10522	
p13	58	0.844	0.769	0.684	9.8	6.3	118675	
e14	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p15	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
S8								
p1	57	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
v2	20	0.844	0.666	0.684	23.4	15.0	-10522	
p3	70	0.844	0.666	0.684	23.4	15.0	-10522	
e4	1	0.844	0.737	0.684	14.0	9.0	51848	
e5	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p6	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
e7	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p8	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
e9	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p10	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	
e11	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
v12	8	0.844	0.666	0.684	23.4	15.0	-10522	
p13	58	0.844	0.769	0.684	9.8	6.3	118675	
e14	2	0.844	0.707	0.684	18.0	11.5	17422	O
p15	52	0.844	0.755	0.684	11.7	7.5	83034	

(a)



(b)



(c)

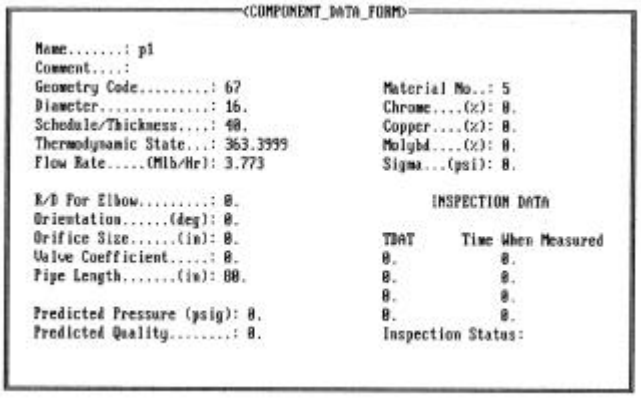


Fig. 1. Data entry forms (a) case data form (b) segment data form (c) component data form

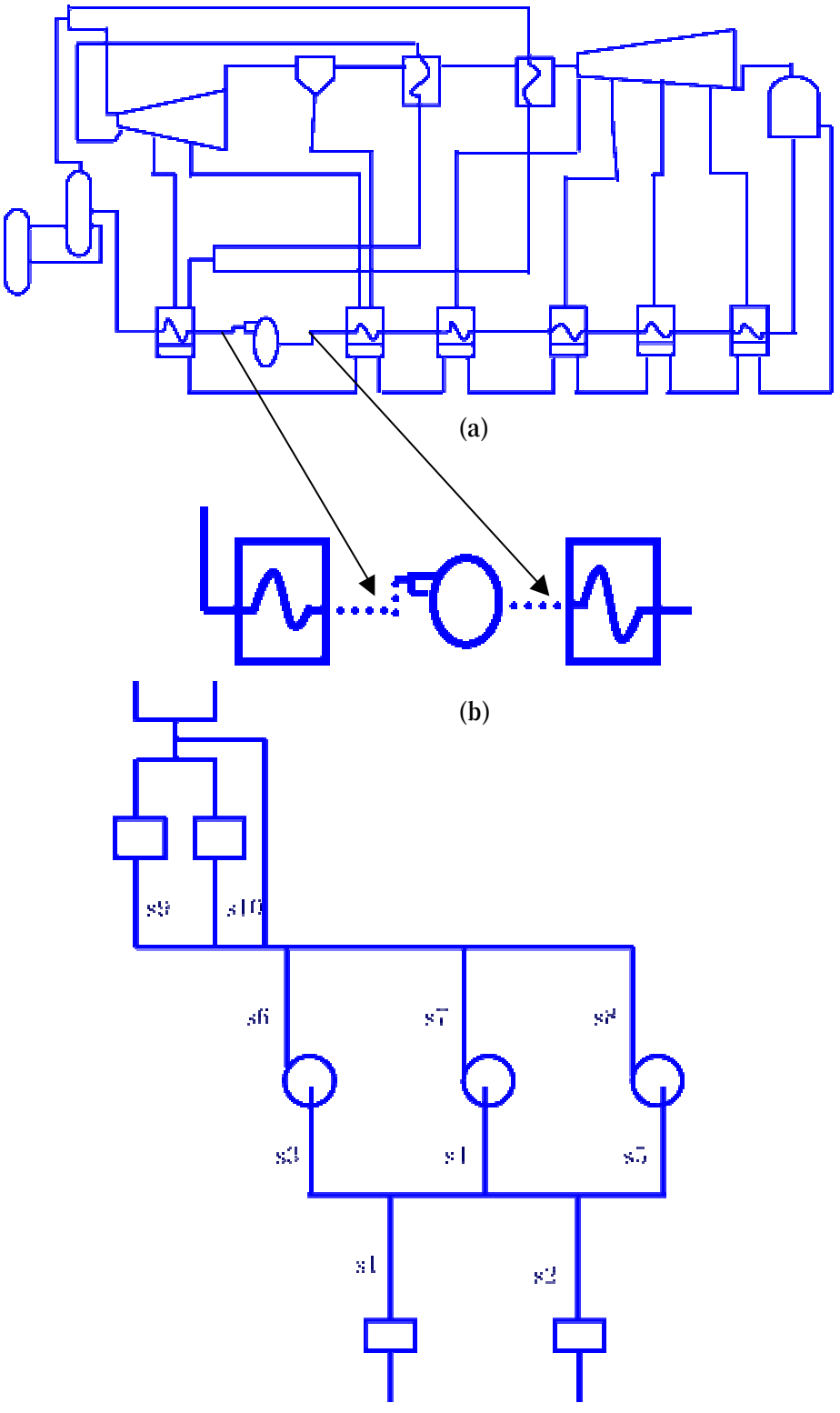


Fig. 2. Plant configuration of A nuclear power plant: (a) plant configuration (b) calculated line (c) segments(s3, s4, s5, s6, s7, s8) of the calculated line

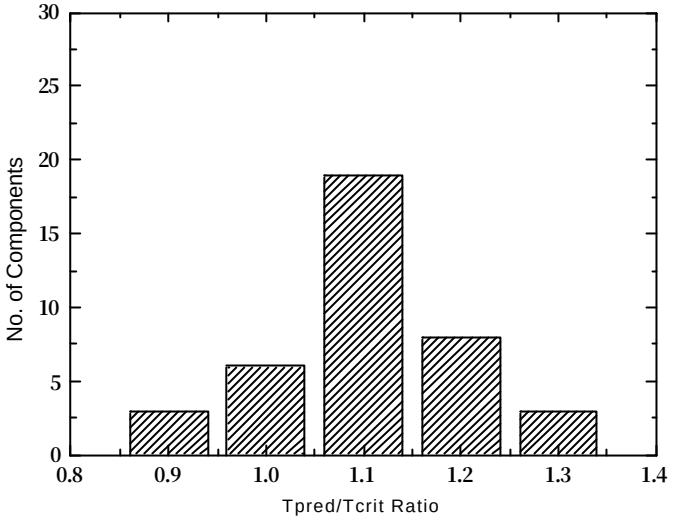


Fig. 3. Tpred/Tcrit ratio of components in segment s3, s4 and s5

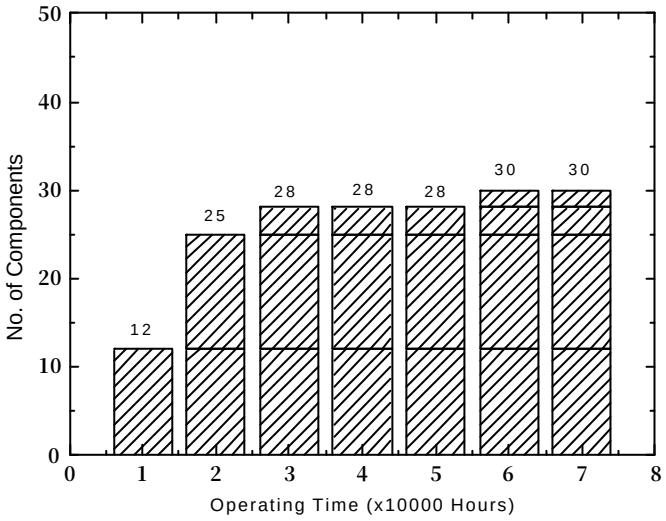


Fig. 4. Cumulative no. of components time to Tcrit of segment s3, s4 and s5

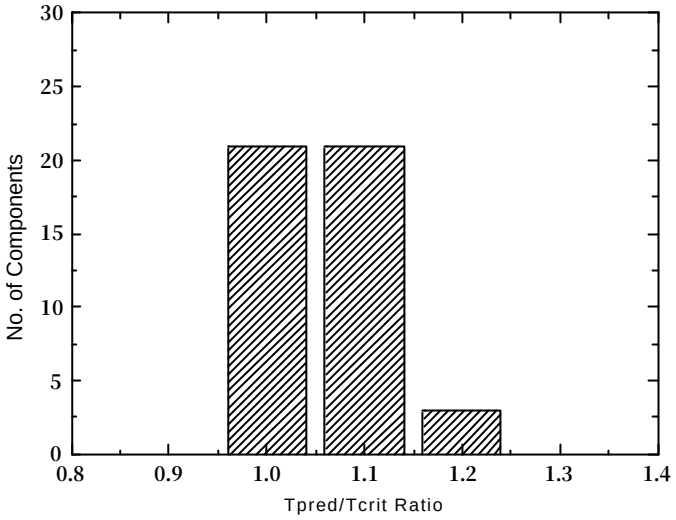


Fig. 5. Tpred/Tcrit ratio of components in segment s6, s7 and s8

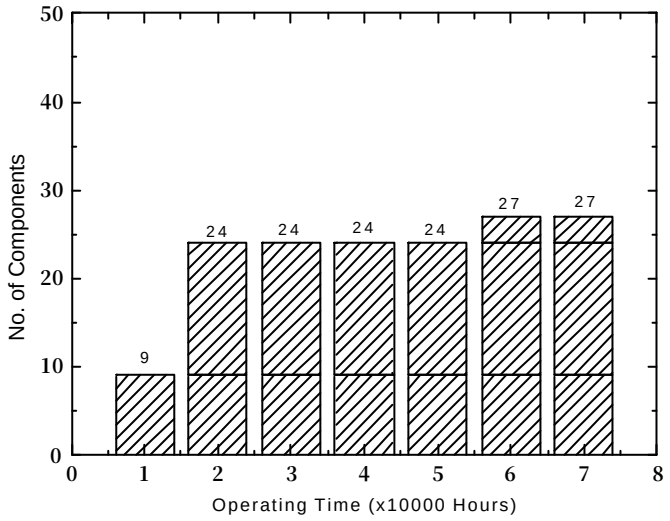


Fig. 6. Cumulative no. of components time to Tcrit of segment s6, s7, s8