

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cdot \sin (nx) dx$$

$$n = 1, 2, \dots$$

FOURIER 프로그램과 수계산으로 구한 Fourier 계수는 표 3A.4-1에 수록되어 있다. FOURIER 프로그램과 수계산으로 구한 계수를 이용하여 각각 구한 함수는 원래 함수와 함께 그림 3A.4-1에 도시되어 있다. 표 3A.4-1과 그림 3A.4-1로부터 FOURIER 프로그램은 만족할 만한 결과를 제공하는 것을 알 수 있다. n 이 클수록 주어진 함수에 근접한 결과를 주므로 사용자는 실행중 함수를 충분히 정확하게 모의할 수 있는 n 의 범위를 결정해야 한다.

참고문헌

1. A. Ralston and H. Wilf, Mathematical Methods for Digital Computers, John Wiley & Sons, New York, 1960.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.4-1

FOURIER와 수계산에 의한 FOURIER 계수 비교

	<u>수계산</u>	<u>FOURIER</u>
a_0	0.1666	0.1694
a_1	0.3183	0.3231
a_2	0.2756	0.2784
a_3	0.2122	0.2122
a_4	0.1378	0.1350
a_5	0.0636	0.0588
a_6	0.0	-0.0056

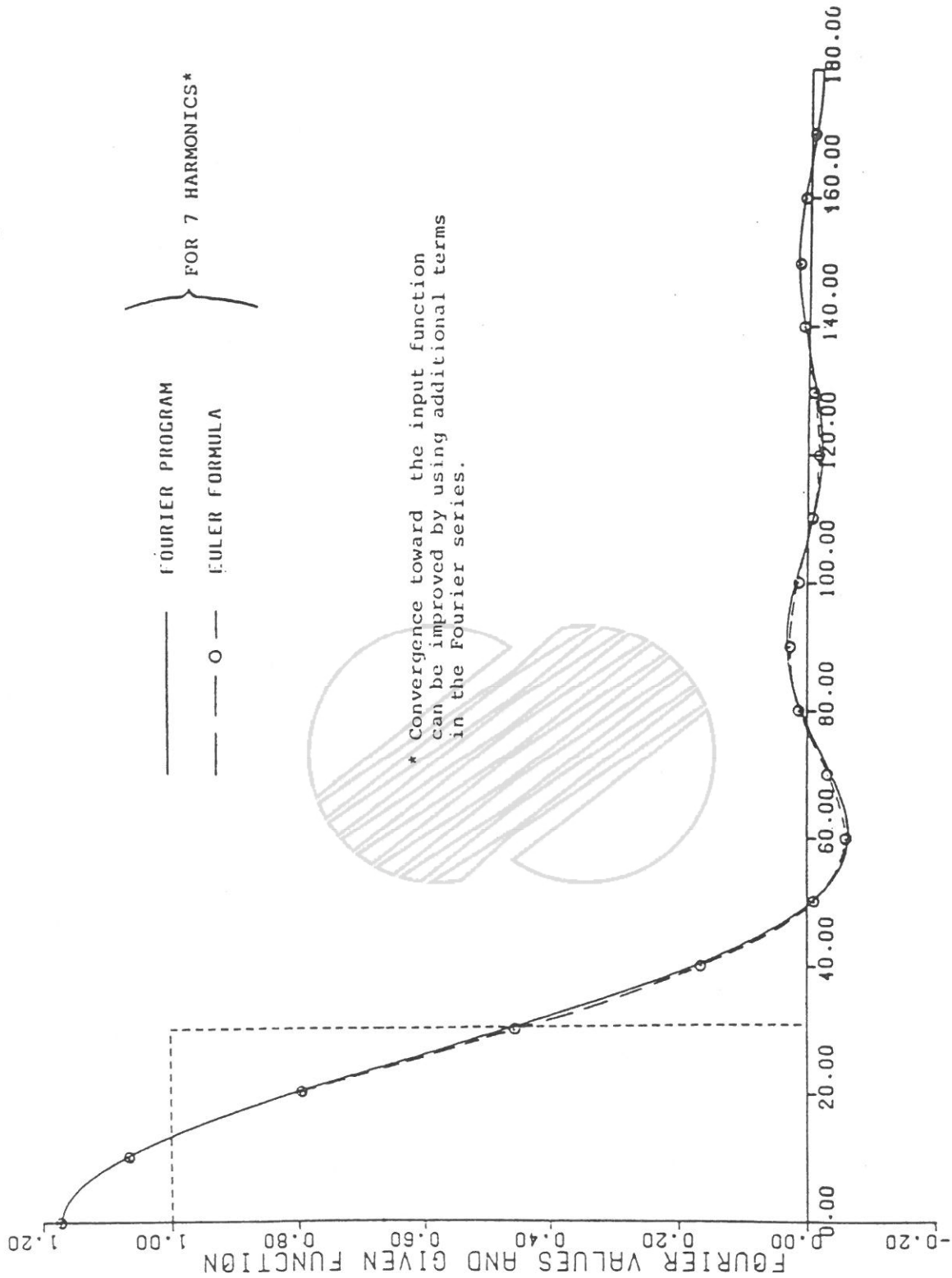
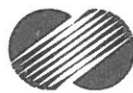


Figure 1 LOADING OVER 60 DEGREES - VALIDATION RUN 10-1-75
HARMONIC FOR 7. TERMS Computed by FOURIER
and by Hand Calculations



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

FOURIER와 수계산에 의한 60° 범위에 걸쳐
작용된 하중에서의 검증 해석 10-1-75

그림 3A.4-1

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.5 LAFD/PC

LAFD/PC (Liner Anchor Forces and Deformation/PC Version)는 라이너 플레이트와 앵커로 구성된 시스템에서 앵커 및 라이너 플레이트의 재료 비선형성을 고려한 비선형 정적 해석을 수행한다. 본 프로그램에는 1/2", 5/8", 3/4" 직경의 넬슨 스티드와 3"x3"x1/4" 구조용 앵글과 같은 4가지 표준 형식 앵커에 관한 하중-변형도 곡선이 프로그램에 내장되어 있으므로 격납 건물의 라이너 앵커 해석에 가장 적합하다.

해석적으로, 본 프로그램은 압력, 온도 그리고 포스트텐서닝 등과 같은 외부 하중 작용 시 라이너는 항복 한도까지 하중을 받는 것으로 가정한다. 이 응력 상태에서 라이너가 좌굴되지 않는 한 앵커의 변형은 없다. 반면, 이 응력 상태에서 두(2) 앵커 사이의 라이너가 좌굴한다면 초기 평형 상태가 깨지고 앵커의 변형을 유발시킨다. 이와 같이 LAFD/PC 프로그램에서는 단위 판넬이 좌굴한다고 가정하고 이때의 매설된 앵커위치 및 응력-변형도에 따른 앵커의 응력이 계산된다.

입력 자료는 다음과 같다.

가. 비좌굴 판넬의 두께,	t_u
나. 좌굴 판넬의 두께,	t_b
다. 비좌굴 판넬의 앵커 간격,	S_u
라. 좌굴 판넬의 앵커 간격,	S_b
마. 비좌굴 판넬의 폭,	W_u
바. 좌굴 판넬의 폭,	W_b
사. 비좌굴 판넬의 항복 응력,	σ_u
아. 좌굴 판넬의 항복 응력,	σ_b
자. 앵커 형태,	A_t
차. 앵커 갯수,	n

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

출력은 최대 앵커 반력, 최대 앵커 변위 및 좌굴된 판넬의 좌굴 후 최종 상태의 하중이다.

LAFD는 1970년 Sargent & Lundy사가 개발하여 UNISYS 1100 시리즈 하드 웨어에 장착하여 영광 3,4호기 및 울진 3,4호기에서 기 사용한 바 있으며, 현재 PC Version화하여 그 명칭은 LAFD/PC로 하였다.

LAFD/PC 프로그램 검증을 위해 5가지 예제를 채택 사용하였다. 예제 1, 2, 3, 4는 1/2", 5/8", 3/4" 직경의 넬슨 스타드 그리고 3" x 3" x 1/4" 앵글 앵커 각각에 대한 해석들이며, 예제 5에서는 예제 4에서의 좌굴 후 최종 상태의 하중을 0으로 가정하였다. 표 3A.5-1 ~ 3A.5-5는 LAFD/PC와 수계산 결과를 비교한 것이며, 표에서 볼 수 있듯이 결과들은 잘 일치한다.

예제 1

$$\begin{aligned}
 A_t &= 1/2" \phi \text{ 넬슨 스타드} \\
 t_u &= t_b = 0.25" \\
 S_u &= S_b = 15.0" \\
 W_u &= W_b = 7.0" \\
 \sigma_u &= \sigma_b = 36.0 \text{ ksi} \\
 n &= 12
 \end{aligned}$$

예제 2

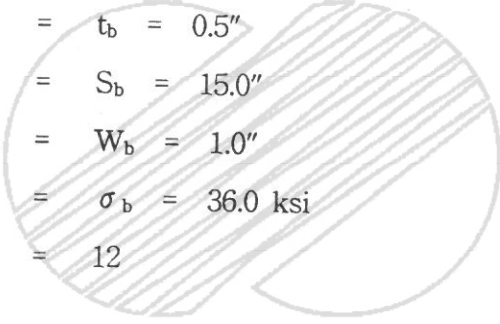
$$\begin{aligned}
 A_t &= 5/8" \phi \text{ 넬슨 스타드} \\
 t_u &= t_b = 0.3125" \\
 S_u &= S_b = 17.5" \\
 W_u &= W_b = 9.0" \\
 \sigma_u &= \sigma_b = 36.0 \text{ ksi} \\
 n &= 10
 \end{aligned}$$

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

예제 3

$$\begin{aligned}
 A_t &= 3/4" \phi \text{ 넬슨 스타드} \\
 t_u &= t_b = 0.375" \\
 S_u &= 21.0", S_b = 42.0" \\
 W_u &= W_b = 10.5" \\
 \sigma_u &= \sigma_b = 54.0 \text{ ksi} \\
 n &= 20
 \end{aligned}$$

예제 4

$$\begin{aligned}
 A_t &= 3" \times 3" \times 1/4" \text{ 구조용 앵글 앵커} \\
 t_u &= t_b = 0.5" \\
 S_u &= S_b = 15.0" \\
 W_u &= W_b = 1.0" \\
 \sigma_u &= \sigma_b = 36.0 \text{ ksi} \\
 n &= 12
 \end{aligned}$$


예제 5

$$\begin{aligned}
 A_t &= 3" \times 3" \times 1/4" \text{ 구조용 앵글 앵커} \\
 t_u &= 0.5, t_b = 0.0" \\
 S_u &= S_b = 15.0" \\
 W_u &= W_b = 1.0" \\
 \sigma_u &= \sigma_b = 36.0 \text{ ksi} \\
 n &= 12
 \end{aligned}$$

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.5-1

예제 1 해석결과 비교

<u>번호</u>	<u>비교 항목</u>	<u>LAFD/PC</u>	<u>수계산</u>
1	Deformation at Node 1 (inches)	0.045157	0.045689
2	Deformation at Node 2 (inches)	0.032862	0.033230
3	Force at Node 1 (lbs)	10648.0	10679.0
4	Force at Node 2 (lbs)	9737.0	9757.0
5	Post Buckling Force (lbs)	9508.0	9461.0

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.5-2

예제 2 해석결과 비교

<u>번호</u>	<u>비교 항목</u>	<u>LAFD/PC</u>	<u>수계산</u>
1	Deformation at Node 1 (inches)	0.052822	0.053252
2	Deformation at Node 2 (inches)	0.038447	0.038725
3	Force at Node 1 (lbs)	15909.0	15902.0
4	Force at Node 2 (lbs)	15075.0	15095.0
5	Post Buckling Force (lbs)	16314.0	16507.0

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.5-3

예제 3 해석결과 비교

<u>번호</u>	<u>비교 항목</u>	<u>LAFD/PC</u>	<u>수계산</u>
1	Deformation at Node 1 (inches)	0.149346	0.151204
2	Deformation at Node 2 (inches)	0.118288	0.119834
3	Force at Node 1 (lbs)	26647.0	26690.0
4	Force at Node 2 (lbs)	25622.0	25655.0
5	Post Buckling Force (lbs)	11302.0	11330.0

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.5-4

예제 4 해석결과 비교

<u>번호</u>	<u>비교 항목</u>	<u>LAFD/PC</u>	<u>수계산</u>
1	Deformation at Node 1 (inches)	0.005701	0.005711
2	Deformation at Node 2 (inches)	0.002676	0.002685
3	Force at Node 1 (lbs)	3038.0	3038.0
4	Force at Node 2 (lbs)	1605.0	1611.0
5	Post Buckling Force (lbs)	11836.0	11938.0

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.5-5

예제 5 해석결과 비교

<u>번호</u>	<u>비교 항목</u>	<u>LAFD/PC</u>	<u>수계산</u>
1	Deformation at Node 1 (inches)	0.039907	0.039296
2	Deformation at Node 2 (inches)	0.025730	0.025422
3	Force at Node 1 (lbs)	3722.0	3710.0
4	Force at Node 2 (lbs)	3439.0	3433.0
5	Post Buckling Force (lbs)	0.0	0.0

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.6 NOHEAT

NOHEAT는 임의 형상인 2차원 축대칭 물체의 온도를 검토하는 프로그램이다. 비선형적 영향 요소인 전도, 복사, 대류와 열전달 냉각 배관의 형태 등을 고려한다. 재료의 비선형성과 임의의 경계 조건은 유한 요소 해석 방법으로 처리한다. 이 프로그램의 특징으로는 재료 성질들이 내장되어 있으며, 시간 변화에 따른 단계적 선택 조건, 온도 선형성 및 내부적으로 체눈을 작성할 수 있는 기능이 있다.

계산 결과는 온도 종단면도, 온도 유발 응력, 체눈 작도, 온도 경사 작동 기능을 포함하고 있다.

NOHEAT는 1971년 Furhoomand와 Wilson에 의하여 발간된 "축대칭 요소의 비선형 열 전달에 대한 해석 연구"를 근거하고 있다. 상기 저자들은 이전에는 생략되어 왔던 여러 요소들을 좋은 근사값으로 표현하기 위하여 유한 요소법의 고유한 일반성을 선택 사용하였으며 전도, 복사, 대류와 냉각 등의 비선형적인 요소를 모델링할 수 있는 전산 프로그램도 작성하였다.

또한 해석 물체 안에 미리 정의된 절점에 관한 기본 열평형 방정식을 일련의 1계 비선형 미분 방정식들로 구성하고 수치적 알고리즘의 윤곽을 설정하였다. 이 방정식의 해법에 대한 안정성은 무조건적으로 보장되며, 삼각형 혹은 사각형 유한 요소들에 대한 전도 및 열-강도 행렬의 유도에 의하여 추가 보완된다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.7 PCAUC/PC

PCAUC/PC(Portland Cement Association Ultimate Design of Column, PC Version)는 철근 콘크리트 기둥을 극한 강도 설계법에 의하여 설계하거나 모멘트-축하중 상관 관계를 검토하는데 사용된다. 적용 기준은 ACI 318이며 축하중과 두(2) 방향 또는 한(1) 방향 휨 모멘트에 대한 철근 배근이나 모멘트-축하중 상관 관계도 작성을 위한 값들을 계산한다. 입력 자료는 단면 크기, 재료 성질, 요구 철근량 또는 하중을 입력하며, 이에 대한 설계 부분의 결과는 철근 배근, 각 하중에 대한 극한 강도와 상관 관계에 데이터를 출력한다. 조사 모드로부터는 일축인 경우 또는 이축인 경우에 대한 상관 관계에 대한 데이터를 구할 수 있다.

PCAUC/PC는 PCA(Portland Cement Association)에서 개발한 강도 설계법에 의한 기둥 설계 프로그램을 수정 변경한 것이며, 1972년 Sargent & Lundy에서 구입, 1977년 ACI 기준에 따라 추가적 설계 조건과 큰 강도까지 설계할 수 있도록 수정 변환되었으며, KOPEC에서 프로그램의 작업 환경을 PC로 바꾸어 사용하고 있다.

PCAUC/PC를 검증하기 위하여 다섯(5) 문제의 수행 결과와 수계산 결과를 비교 검토하였다.

문제 1에서의 설계 조건에 따른 계산 결과는 다음과 같다.

설계 조건 :

기둥 단면	: 38"x 38"	$f'_c = 9,000 \text{ psi}$
축방향력	: 7,211 kips	$f_y = 75,000 \text{ psi}$
일축휨 모멘트	: 2,274 ft-kips	

계산 결과 : 설계 철근량은 #11 철근으로 28개이며, 표 3A.7-1에서 극한강도를 비교하였다. UP, UMx, UMy는 극한 축력과 x축과 y축에 대한 극한 강도이며 적

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

용 하중에 대한 극한 강도비(UP/AP)는 1.003으로 만족할 만하다.

문제 2에서는 압축 강도(Q_c)와 휨 강도(Q_B)에 대한 감소 계수를 1.0으로 한 것을 제외하고는 문제1과 같은 설계 조건이다. 이 예제는 조사 모드로 수행하였으며 PCAUC/PC에 의한 일축상관점은 표와 같이 참고문헌 1과 같은 값으로 나타났다(표 3A.7-2).

문제 3에서는 아래와 같은 설계 조건에 대하여 비틀림 철근을 산정하였다.

설계 조건 : 기둥 단면 = 48" x 48", $f'_c = 3,500$ psi,
 $f_y = 60,000$ psi, 사용 철근의 순간격 = 4.5 in

적용 하중 : 축방향력 = 4,792 kips
 x 축 모멘트 = 0
 y 축 모멘트 = 1,905 ft-kips
 비틀림 모멘트 = 5,00 ft-kips

x 방향 전단력은 400 kips, y 방향 전단력은 400 kips으로 하여 비틀림 철근을 산정하였으며, 이 비틀림 철근을 표 3A.7-3에 수계산 결과와 비교하였다.

문제 4에서는 기둥 단면이 48" x 48"인 높이가 큰 보(deep beam)의 경우로 하여 전단 철근을 산정하였으며 설계 조건은 다음과 같다.

$f'_c = 3,500$ psi, $f_y = 60,000$ psi, 철근 순간격 = 4.5 in
 적용 축하중 = 4,762 kips
 x 축 모멘트 = 2,000 ft-kips
 y 축 모멘트 = 0
 x 방향 전단력 = 300 kips

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

y 방향 전단력 = 300 kips

전단 철근은 다음의 세(3)가지 경우에 대하여 산정하였다 :

1. 휨 철근에 평행한 강재가 최소값일 경우
2. 휨 철근에 평행한 강재가 최소값의 2배일 경우
3. 휨 철근에 평행한 강재가 최소값의 3배일 경우

PCAUC/PC의 수행결과는 표 3A.7-4에서 수계산 결과와 비교하였다.

문제 5에서는 1겹 배근으로 필요 강도를 얻지 못할 때에 3겹 배근까지 철근을 배근하여 소요 강도를 증가시킬 수 있는 방법을 보여 주었다.

설계 조건 : 기둥 단면 = 45" x 93", $f'_c = 3,500$ psi,
 $f_y = 60,000$ psi, 철근의 순간격 = 5"

적용 하중 : 축방향력 = 434 kips
 x 축 모멘트 = 11,514 ft/kips
 y 축 모멘트 = 6,558 ft/kips
 x 방향 전단력 = 0
 y 방향 전단력 = 0

설계 모드에서 계산 철근은 상단과 하단에서는 각각 2겹 배근으로 14번 철근 일곱개씩과 양측면에 각각 11번 철근이 열개씩 배근되어 48개를 얻었으며 이 배근 갯수를 입력자료로 이용하여 조사 모드를 또한 수행하였다. 표 3A.7-5에서 이 기둥의 극한 강도를 조사 모드에서 구한 극한강도와 상호 비교하였다. 두(2)가지 모드의 비교 결과, 완전히 일치하였다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

참고문헌

1. Portland Cement Association, Notes on ACI 318-77 Building Code Requirements with Design Applications, 1978, Example 10.7, pp 10-32 through 10-38.



()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.7-1

ACI 318과 PCAUC/PC 계산결과 비교

< 극한 강도 >

<u>ACI 318</u>				<u>PCAUC/PC</u>			
<u>UP</u>	<u>UMX</u>	<u>UMY</u>	<u>UP/AP</u>	<u>UP</u>	<u>UMX</u>	<u>UMY</u>	<u>UP/AP</u>
7232	2273	0	1.003	7233	2274	0	1.003



영광 5.6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.7-2

조사 모드 비교 - PCAUC/PC와 ACI 318

Uniaxial Interaction Requested

ACI 318		
Load No.	Up	UMX
1	0	4308
2	500	4822
3	1000	5253
4	1500	5637
5	2000	5958
6	2500	6206
7	3000	6403
8	3500	6530
9	4000	6488
10	4500	6366
11	5000	6237
12	5500	6096
13	6000	5938
14	6500	5757
15	7000	5548
16	7500	5307
17	8000	5028
18	8500	4706
19	9000	4343
20	9500	3936
21	10000	3522
22	10500	3108
23	11000	2692
24	11500	2274
25	12000	1874
26	12500	1415
27	13000	978
28	13500	517
29	14000	0

Uniaxial Interaction Requested

P C A U C / P C		
Load No.	Up	UMX
1	0	4309
2	500	4822
3	1000	5253
4	1500	5637
5	2000	5958
6	2500	6206
7	3000	6404
8	3500	6530
9	4000	6488
10	4500	6366
11	5000	6238
12	5500	6097
13	6000	5938
14	6500	5758
15	7000	5549
16	7500	5307
17	8000	5028
18	8500	4706
19	9000	4343
20	9500	3936
21	10000	3523
22	10500	3108
23	11000	2692
24	11500	0*
25	12000	0
26	12500	0
27	13000	0
28	13500	0
29	14000	0

* $0.8 \times UP_{max}$ (여기서는 $0.8 \times 14,000 = 11,200$) 보다 큰 UMX는 ACI 코드에서는 허용하지 않으므로 0으로 인쇄되었다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.7-3

전단력과 비틀림의 비교

<u>항 목</u>	<u>수계산 결과</u>	<u>PCAUC/PC</u>
폐합 스티럽 단면적	0.475 in ²	0.475 in ²
종방향 철근	7.046 in ²	7.047 in ²
콘크리트 전단 강도	0.105 ksi	0.105 ksi
비틀림 전단 철근	1.088 in ²	1.088 in ²



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.7-4

 A_v 와 A_{vh} 의 3가지 조합 방법에 따른 깊은 보에 대한 비교

<u>휨 철근과 평행한 철근량</u>	<u>수 계 산</u>		<u>PCAUC/PC</u>	
	A_v^*	A_{vh}^{**}	A_v^*	A_{vh}^{**}
최소	1.532	0.96	1.532	0.96
최소의 2배	0.576	1.92	0.576	1.92
최소의 3배	0.576	2.88	0.576	2.88



* A_v : 휨 철근과 수직 방향으로의 전단 철근의 단면적
 ** A_{vh} : 휨 철근과 평행한 방향으로의 전단 철근의 단면적

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.7-5

2겹 철근 배근의 비교 - PCAUC/PC(설계모드와 조사모드의 비교)

<u>2겹 철근 배근</u>	<u>설계 모드</u>				<u>조사 모드</u>			
	<u>UP</u>	<u>UMX</u>	<u>UMY</u>	<u>UP/AP</u>	<u>UP</u>	<u>UMX</u>	<u>UMY</u>	<u>UP/AP</u>
극한 강도	434	13067	744	1.135	434	13068	744	1.135



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.8 PWRRA/PC

PWRRA/PC는 배관 파단 구속 장치 설계에 사용되는 프로그램으로 배관과 구속장치로 구성되는 단순화된 모델의 시간 영역 하중 함수에 대한 최대응답을 계산하는데 사용된다.

이 PC 프로그램은 Sargent & Lundy사에서 개발하여 영광 3,4호기 및 울진 3,4호기에서 이미 사용하였던 PWRRA(09.5.125-3.0, UNISYS)를 PC Version화 한 것이다.

프로그램 검증을 위해 다음과 같은 3가지 예제를 해석하였다.

첫번째 예제는 그림 3A.8-1에 보인 참고문헌 1의 배관 외팔보 모델에 대한 해석이다. 그림 3A.8-1의 모델은 26절점으로 구성되어 있으며 배관과 구속 장치 재료 특성이 이 그림에 나타나 있다. 해석결과와 참고문헌 1의 결과 비교는 표 3A.8-1과 같다.

두번째 예제는 24인치 강관(참고문헌 2, Case 3L28)의 접속점에서의 파단에 관한 해석이다. 그림 3A.8-2에 배관 모델, 구속 장치의 재료 특성 및 하중 함수가 나타나 있다. 참고문헌 2에는 배관 재료 특성이 나타나 있지 않으므로 A106 Grade B 탄소강의 특성을 이용하였다. 표 3A.8-2에 해석결과와 참고문헌 2의 결과를 비교하였다.

세번째 예제에서는 주증기관(참고문헌 3, Line B)의 파단을 해석하였다. 해석 모델은 그림 3A.8-3에 나타나 있다. A106 Grade B 탄소강의 재료 특성이 이 예제 해석에서 사용되었다. 구속 장치의 특성은 참고문헌 4의 값을 인용하였다. 결과의 비교는 표 3A.8-3에 나타내었다.

이를 표에서 나타낸 바와 같이 PWRRA/PC 프로그램 해석결과와 참고문헌의 결과는 잘 일치한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

참고문헌

1. S. M. Ma and K. J. Bathe, "On Finite Element Analysis of Pipe Whip Problems", Proceedings Seminar of Extreme Load Conditions and Limit Analysis Procedures for Structural Reactor Safeguards and Containment Structures, Berlin, September 1975.
2. N. Bisconti, L. Lazzari and P. P. Strona, "Pipe Whip Analysis for Nuclear Reactor Applications," Nuclear Engineering and Design (37), pp. 347-360, North Holland Publishing Company, 1976.
3. "Efforts Exercés Sur Le Bonclier Lors D'une Rupture De Tuyauterie", by GAAA, 20 Avenue Edouard Hernoit, 92350 Piessis Robinson, France (dated 6/2/76).
4. Pipe Restraints (Option H) - G. E. Document dated 7/1/76.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.8-1

검증 예제 1의 PWRRA/PC 해석결과 비교

해석 방법

자유단의 최대 변위 (in)

Ma and Bathe

5.1

PWRRA

5.506

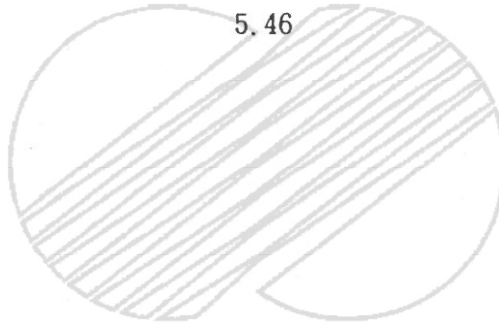


영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.8-2

검증 예제 2의 PWRRRA/PC 해석결과 비교

해석 방법	자유단의 최대 변위 (inch)	구속 장치의 최대 좌측구속 (in)	우측 구속 장치의 변 위 (in)
Bisconti, et al. (참고문헌 2)	27.40	5.59	4.60
PWRRRA/PC	27.47	5.46	5.32



영광 5.6호기 최종안전성분석보고서

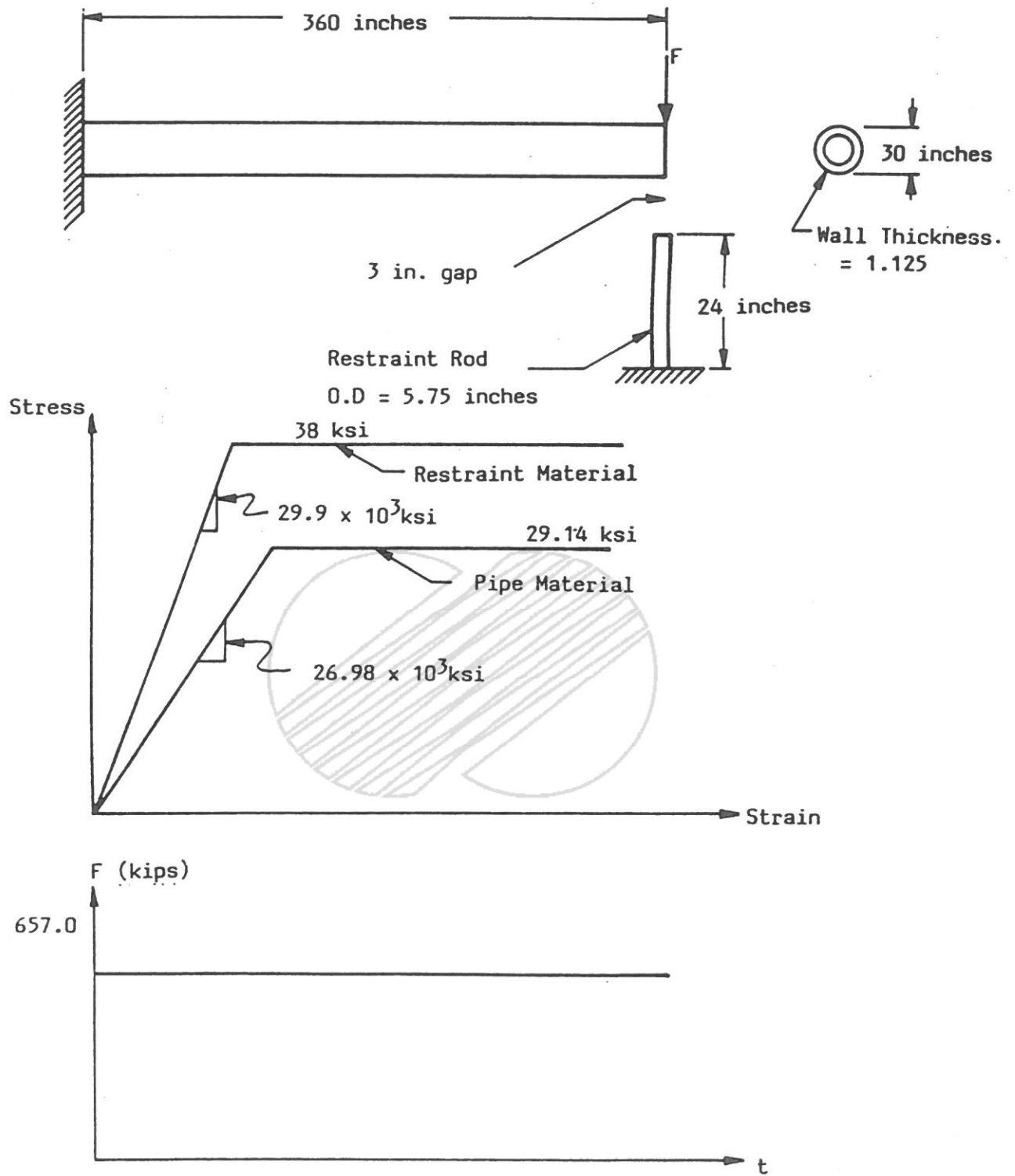
표 3A.8-3

검증 예제 3의 PWRRRA/PC해석결과 비교

<u>해석 방법</u>	<u>구속 장치 최대 처짐 (in)</u>	<u>구속 장치 최대 반력 (Kips)</u>
GAAA (참고문헌 3)	6.216	651.78
PWRRRA/PC	6.0758	648.48



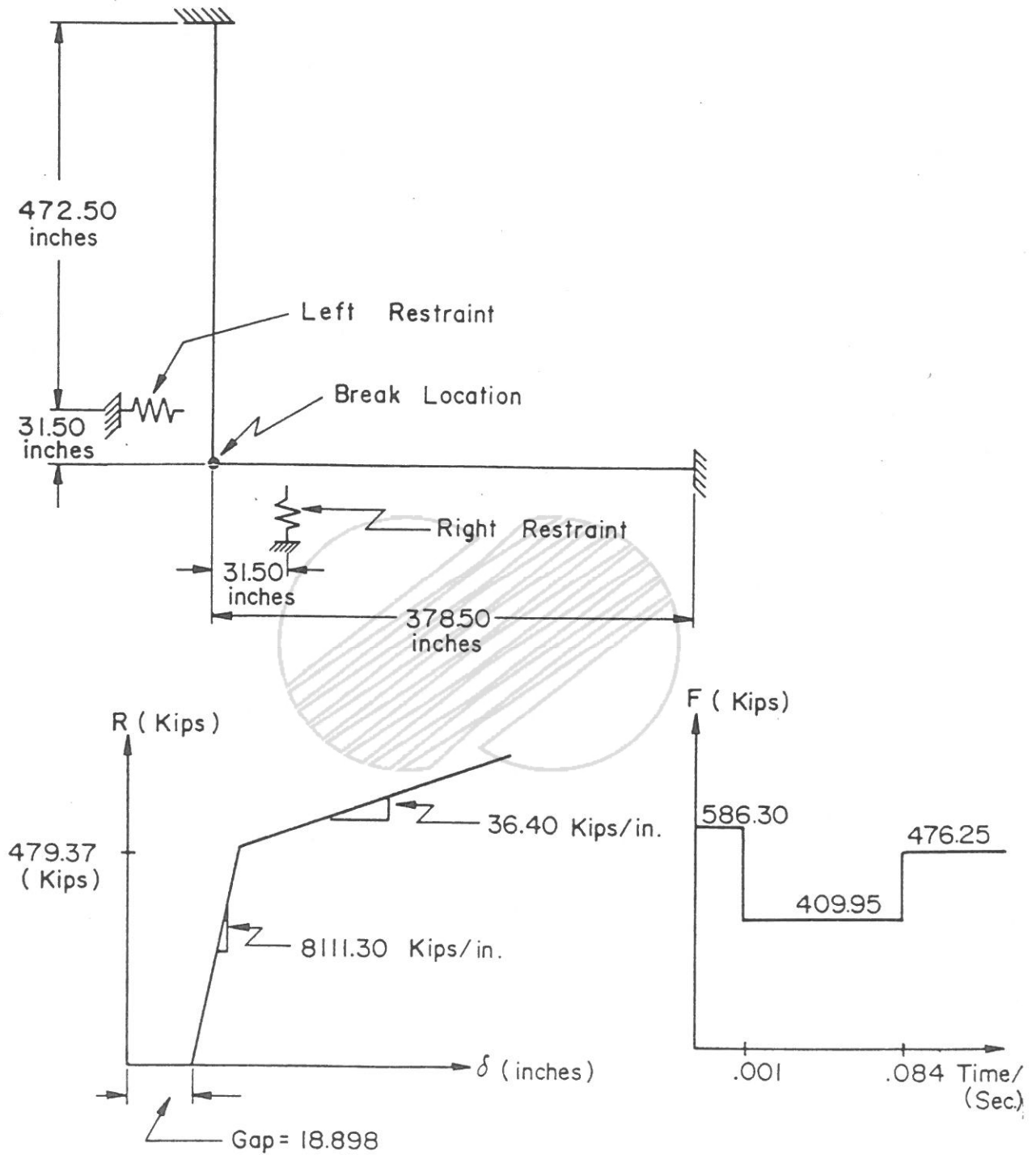
()



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

PWRRA 검증 예제 1에서의 배관 충격 모델

그림 3A.8-1

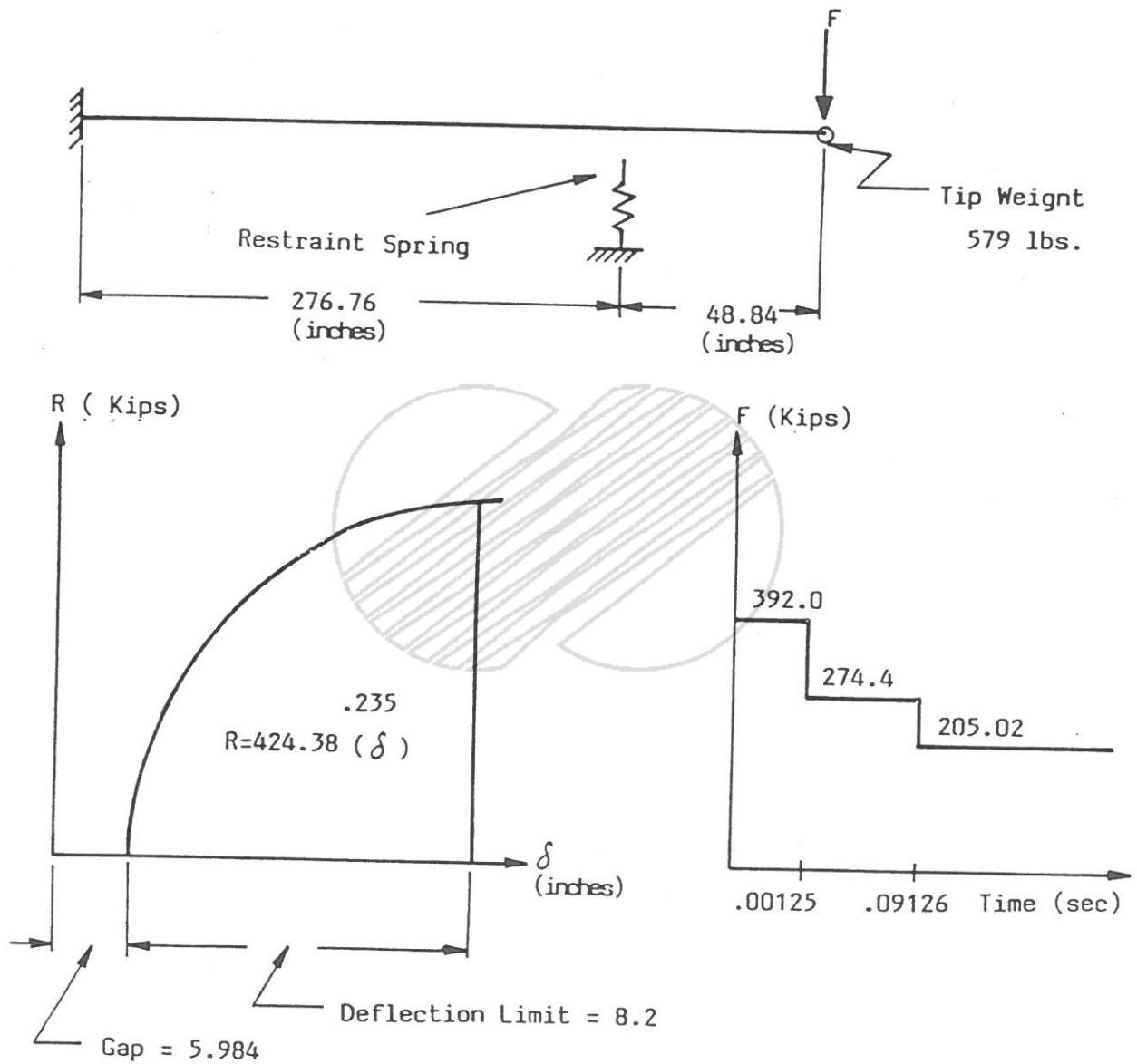


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

PWRRR 검증 예제 2에서의 배관 타격 모델

그림 3A.8-2

()



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

PWRRA 검증 예제 3에서의 배관 타격 모델

그림 3A.8-3

영광 5.6호기 최종안전성분석보고서

3A.9 RSG

RSG(Response Spectrum Generator)는 정의된 가속도 시간 이력의 여러 감쇠값에 대한 탄성 단자유도계의 동적 응답스펙트럼(변위, 속도, 가속도)을 작성한다 (참고문헌 1). 운동 방정식은 Newmark $-\beta$ 수치 적분법을 이용하여 해석한다. 이 프로그램은 또한 주어진 스펙트럼을 가깝게 포괄하는 응답스펙트럼에 대응하는 가속도 시간 이력을 구하는 데 사용된다. 또한 주어진 PSD 함수와 유사한 PSD 함수를 갖는 가속도 시간 이력을 만들 수도 있다. 또한 동적 해석결과로부터 주어진 기초 입력 운동에 대한 구조물에서의 층 응답스펙트럼을 작성하는 데도 사용할 수 있다.

이 프로그램은 지진가속도 시간 이력에 대해 기준선 정렬을 할 수 있으며 또한 주어진 가속도 시간 이력을 Fourier 변환하고 그것을 그래프로 그릴 수 있다. 주어진 가속도 시간 이력과 생성된 응답스펙트럼과 그들의 포괄을 선택적으로 그릴 수 있다. 또한 확률적인 방법이나 제곱합의 제곱근 방법, 절대이중 합산법 등과 같은 방법에 의해 응답스펙트럼을 조합할 수 있다. 보간 옵션은 가속도 시간 이력과 같은 간격이나 보다 더 작은 시간 간격에 대해 보간을 수행한다.

이 프로그램의 출력은 주어진 옵션에 따라 응답스펙트럼이나, 주어진 가속도 시간 이력에 대한 Fourier변환, PSD, 주어진 응답스펙트럼에 부합하는 가속도 시간 이력 및 PSD에 부합하는 시간 이력 등을 포함한다.

이 프로그램은 7개의 예제를 사용하여 검증하였다. 첫번째 검증 예제는 본 프로그램을 이용하여 El Centro 남북 방향의 지진 기록(53~76초 사이)에 대하여 0%, 2%, 5%, 10%, 20%의 감쇠값에 대한 응답스펙트럼을 작성하였다. 본 프로그램으로 그려진 시간 이력과 참고문헌 2에서 발췌한 시간이력의 그래프를 그림 3A.9-1에 나타내었다. 본 프로그램으로 작성된 응답스펙트럼의 값과 참고문헌 3의 응답스펙트럼의 값이 표 3A.9-1에 비교되었다. 참고문헌 3과 RSG에서의 여러 감쇠값에 대한 응답스펙트럼 비교는 그림 3A.9-2에

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표시되었다. 그 결과 두(2)값들이 충분히 정확히 일치함을 알 수 있다.

두번째 검증 예제는 5Hz의 시간 이력을 Fourier 변환하여 그 그래프를 그리는 것이다. 그 결과 그림 3A.9-3에서 보는 바와 같이 정확히 5Hz에서만 그래프의 첨두가 나타나고 있다.

세번째 검증 예제는 스펙트럼에 부합되는 시간 이력을 구하는 것이다. 필요 응답 스펙트럼과 이로부터 구한 시간 이력으로 작성한 응답스펙트럼을 그림 3A.9-4에 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 두(2) 값은 충분히 정확하게 일치한다.

네번째 검증 예제는 주어진 PSD 함수에 부합되는 시간 이력을 구하는 것이다. 1개의 PSD 함수를 이용해 20초의 지속시간을 가진 10개의 시간 이력의 평균값(양상블)을 구했다. PSD 함수의 계수는 $\beta_i=0.6$, $W_i=15.6$, $S_i=0.1$ 이다.

적분에 사용된 시간 간격은 0.02초이고 PSD 함수의 한계 진동수 WL은 25Hz이다. 그리고 진동수의 단계수 NW는 100이다. 그림 3A.9-5는 PSD 함수곡선 생성된 1번 시간이력을 나타낸 것이다. 그림 3A.9-6는 10개의 시간 이력의 양상블에 대한 PSD 함수를 나타낸 것이다.

이론적인 PSD 함수와 본 프로그램에 의해서 계산된 PSD 함수를 표 3A.9-2.에서 비교하였다. 두(2) 값들은 아주 잘 일치한다.

다섯번째 검증 예제는 응답스펙트럼 조합과 포괄 옵션을 검증하기 위한 것이다.

응답스펙트럼의 조합과 포괄 기능은 다음과 같은 다섯(5) 가지의 옵션이 있다 :

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

1. DYNAS의 출력 화일이나 RSG의 출력 화일(unformatted와 NTRAN)로부터 응답스펙트럼을 읽고 사용자가 정의한 주기에 따라 입력 스펙트럼을 재정의하고 입력 스펙트럼을 포괄한다. 입력스펙트럼을 저장하고, 각 입력 스펙트럼은 사용자가 정의한 방향 성분별이나 감쇠 및 하중별로 분류한다.
2. SRSS 방법이나 절대치 합산법을 이용해 사용자가 정의한 하중 조합에 따라 재정의된 포괄입력스펙트럼을 조합하고, 하중조합 스펙트럼을 저장한다.
3. 하중 조합 스펙트럼을 포괄하여 저장한다.
4. 하중 조합이나 포괄 옵션에 따라 지정된 방향 성분과 지정된 감쇠값에 대하여 그래프를 그린다. PIPSYS같은 후처리 프로그램에 사용될 화일을 생성한다.
5. 지정된 방향 성분이나 감쇠값에 대해서 3개의 하중 조합이나 포괄하는 함수의 그래프를 그린다.

이들 옵션의 검증은 2개의 방향 성분(272HO와 2727VW), 4개의 하중(OBE, PS, ALLV, CHUG), 2개의 감쇠값, 5개의 입력 화일(2개의 DYNAS 화일, 2개의 unformatted RSG 화일, NTRAN RSG 화일)에 대한 응답스펙트럼을 이용하여 수행되었다.

응답스펙트럼을 읽어들이고 다시 정의하는 기능의 검증은 표 3A.9-3과 같다. 재정의된 입력스펙트럼의 포괄 함수를 조합하는 기능의 검증은 표 3A.9-5에 나타내었다. 조합된 응답스펙트럼을 포괄하는 기능은 표 3A.9-4와 같이 검증하였다. 하중 조합과 하중 조합의 포괄 함수의 그래프는 직관적으로 비교하여 검증하였다.

여섯번째 검증 예제는 저장된 PIPSYS의 해석 결과로부터 구한 그래프의 정확도를 검증하기 위한 것이다. 그림 3A.9-7과 같은 예제 구조물에 3개의 하중 시간 이력을 가하여

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

PIPSYS로 해석을 수행하였다. 절점 70의 X, Y, Z방향에 사인파(진폭 = 10kips, 진동수 = 3.3Hz, 위상각 = 0°)를 가했다. 절점 70의 9개의 출력 가속도 시간 이력(3개의 입력, 3개의 응답 방향)을 저장하고 이를 본 프로그램을 이용하여 그래프로 그렸다. X방향의 입력에 의한 X방향의 가속도는 그림 3A.9-8에 나타내었다. 몇 개의 시점에서 PIPSYS 시간 이력의 가속도값을 표 3A.9-5에 나타내었다. 그림에서의 값과 표에서의 값이 일치하므로 본 프로그램이 옳게 작동하는 것을 알 수 있다.

일곱번째 검증 예제는 층 응답스펙트럼을 구하는 기능을 검증하는 것이다. 2가지 예가 사용되었다.

첫번째 예제는 다음과 같다.

- (1) 그림 3A.9-9와 같은 외팔보 구조물의 기초에 5초간의 수평 지반 가속도 시간 이력을 작용시켰다. 단계적 적분법을 이용하여 구한 가속도 시간 이력을 모든 점에서 저장하였다.
- (2) 저장된 가속도 시간 이력을 이용해 응답스펙트럼을 구하였다.
- (3) 이 구조물에 대하여 고유치 해석을 수행해 5개의 고유치를 구해 후사용을 위해 저장한다.
- (4) 위에서 저장된 고유치를 이용해 1단계에서 이용한 시간 이력을 포괄하는 응답스펙트럼으로부터 모든 점에 대한 응답스펙트럼을 직접 구해냈다. 광역 응답스펙트럼을 그림 3A.9-10에 나타내었다.

위의 두(2)가지 방법으로 구해진 응답스펙트럼은 그림 3A.9-11에 비교하였다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

두번째 예제는 다음과 같다.

- (1) 그림 3A.9-12에서 보는 바와 같이 LPCS 모터 기초를 절점 93개 자유도 468개의 3차원 모델과 경계요소로 모델링하였다. 이 모터 기초는 0.6초간 기초에 수평 방향의 가속도를 받는다. $\alpha=3.40$, $\beta=1.8 \times 10^{-4}$ 의 비균일(alpha-beta) 감쇠를 모든 요소에 적용하여 시간 간격 0.003초로 단계적 적분을 수행하였다. 이때 절점 32, 52, 62에서의 가속도 시간 이력을 출력하였다.
- (2) 저장된 가속도 시간 이력으로 응답스펙트럼을 작성하였다.
- (3) 고유치 해석을 수행하여 모터의 기초에 대한 21개의 구조물의 고유치를 구하였다.
- (4) 위에서 구한 고유치를 이용해 그림 3A.9-13에서 보이는 응답스펙트럼으로부터 3개 절점의 응답스펙트럼을 직접 구했다. 32-Z, 52-Z, 62-Z(응답 방향), 32-X(수평 직교 방향의 입력 운동에 대한 수평 방향의 응답)에 대한 응답스펙트럼을 그림 3A.9-14에서 그림 3A.9-17에 보였다.

표 3A.9-6는 두(2) 예에 관련된 고유 함수들의 상세를 나타낸다. 추계론적인 방법에 의한 응답스펙트럼은 그림 3A.9-11, 3A.9-14, 3A.9-15, 3A.9-16 및 3A.9-17에서와 같이 일반적인 방법에 의해 구한 응답스펙트럼과 잘 일치한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

참고문헌

1. N. M. Newmark and E. Rosenblueth, Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1971, p.15.
2. Strong Motion Earthquake Accelerograms, Digitized and Plotted Data, Vol. II-Corrected Accelerograms and Integrated Ground Velocity and Displacement Curves, Part A - Accelerograms IIA001 through IIA20, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory, EERL 71-50, Pasadena, California, September 1971.
3. A. G. Brady, et al, Analysis of Strong Motion Earthquake Accelerograms, Volume III, Response Spectra, Part A, Accelerograms IIA001 through IIA020, " Prepared for the National Science Foundation, August 1972.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.9-1

RSG와 참고문헌 3으로부터 계산된 응답스펙트럼값 비교

응답스펙트럼값 (G)

		0% 감 쇠		2% 감 쇠		5% 감 쇠		10% 감 쇠		20% 감 쇠	
주기											
번호	(초)	RSG	참고문헌	RSG	참고문헌	RSG	참고문헌	RSG	참고문헌	RSG	참고문헌
1	0.042	0.783	0.765	0.409	0.421	0.367	0.374	0.349	0.360	0.348	0.350
2	0.046	0.990	1.05	0.430	0.427	0.388	0.384	0.371	0.371	0.348	0.358
3	0.050	1.015	0.951	0.540	0.571	0.461	0.467	0.404	0.407	0.359	0.369
4	0.055	1.044	1.140	0.585	0.557	0.428	0.416	0.403	0.406	0.365	0.382
5	0.070	0.963	0.803	0.471	0.493	0.439	0.446	0.424	0.424	0.383	0.398
6	0.080	1.333	1.32	0.708	0.712	0.582	0.579	0.482	0.488	0.390	0.407
7	0.085	1.070	1.07	0.682	0.668	0.591	0.591	0.486	0.490	0.395	0.408
8	0.100	1.755	2.07	0.815	0.805	0.567	0.567	0.480	0.480	0.409	0.419
9	0.130	1.990	1.99	1.040	1.030	0.773	0.772	0.535	0.541	0.429	0.445
10	0.150	1.977	1.92	0.847	0.837	0.578	0.579	0.497	0.504	0.435	0.454
11	0.180	1.309	1.49	0.887	0.890	0.726	0.727	0.587	0.597	0.452	0.474
12	0.200	1.609	1.58	0.916	0.914	0.650	0.644	0.531	0.542	0.444	0.463
13	0.220	2.415	2.50	0.731	0.728	0.683	0.667	0.580	0.576	0.442	0.471
14	0.260	1.538	1.60	1.177	1.15	0.903	0.902	0.639	0.653	0.443	0.469
15	0.280	1.309	1.31	0.878	0.882	0.755	0.746	0.567	0.578	0.430	0.463
16	0.320	1.820	1.82	1.067	1.07	0.699	0.703	0.519	0.527	0.402	0.432
17	0.360	1.212	1.21	0.877	0.877	0.657	0.655	0.504	0.511	0.379	0.408
18	0.380	1.717	1.72	0.978	0.972	0.673	0.678	0.493	0.503	0.390	0.403
19	0.400	1.964	1.99	0.824	0.827	0.614	0.615	0.473	0.481	0.409	0.418
20	0.440	1.591	1.58	0.969	0.966	0.728	0.731	0.553	0.558	0.463	0.478
21	0.480	1.405	1.41	0.996	0.996	0.794	0.797	0.644	0.651	0.514	0.537
22	0.500	1.179	1.17	1.018	1.020	0.830	0.836	0.691	0.699	0.533	0.559
23	0.550	1.988	1.99	1.266	1.260	0.910	0.917	0.745	0.759	0.545	0.588
24	0.600	1.252	1.25	0.970	0.971	0.854	0.859	0.706	0.722	0.516	0.570
25	0.700	1.846	1.84	0.898	0.900	0.619	0.622	0.534	0.546	0.408	0.459
26	0.800	1.089	1.08	0.671	0.670	0.547	0.549	0.436	0.444	0.307	0.347
27	0.900	1.176	1.17	0.754	0.755	0.536	0.539	0.385	0.393	0.267	0.289
28	1.000	0.829	0.83	0.676	0.677	0.515	0.518	0.350	0.359	0.231	0.249
29	1.200	0.818	0.818	0.440	0.441	0.330	0.331	0.236	0.241	0.173	0.186
30	1.400	0.420	0.420	0.237	0.237	0.181	0.181	0.170	0.173	0.130	0.138
31	1.600	0.327	0.327	0.242	0.243	0.194	0.195	0.159	0.162	0.124	0.136
32	1.800	0.490	0.503	0.230	0.230	0.178	0.179	0.146	0.149	0.122	0.136
33	2.000	0.353	0.353	0.226	0.226	0.178	0.178	0.148	0.152	0.120	0.135

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.9-2

10개의 시간 이력에 대한 이론적인 PSD 함수값과RSG 프로그램에서 계산된 PSD 함수값의 비교

<u>진동수 (Hz)</u>	<u>이론적인 PSD 함수값</u>	<u>계산된 PSD 함수값</u>
0	0.121×10^{-2}	0.124×10^{-2}
1	0.16×10^{-2}	0.159×10^{-2}
2	0.221×10^{-2}	0.215×10^{-2}
3	0.162×10^{-2}	0.164×10^{-2}
4	0.917×10^{-3}	0.938×10^{-3}
5	0.553×10^{-3}	0.553×10^{-3}
6	0.359×10^{-3}	0.355×10^{-3}
7	0.253×10^{-3}	0.258×10^{-3}
8	0.188×10^{-3}	0.189×10^{-3}
9	0.136×10^{-3}	0.141×10^{-3}
10	0.117×10^{-3}	0.113×10^{-3}
20	0.276×10^{-4}	0.272×10^{-4}

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.9-3

입력 스펙트럼의 검증

하중	감쇠 (%)	방향 성분	화일 형태	입 력		출 력	
				주기 (sec)	가속도 (g)	주기 (sec)	보간된 가속도 (g)
OBE	2	2737HO	DYNAS	0.030	0.10928	0.030	0.1093
						0.032	0.1105
				0.040	0.11497	0.040	0.1150
OBE	3	2737HO	DYNAS	0.200	0.19797	0.200	0.1980
						0.217	0.2238
				0.220	0.22847	0.220	0.2285
CHUG	2	2737VW	RSG	0.200	0.01956	0.200	0.0196
						0.385	0.0033
				2.000	0.00009	2.000	0.0000

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.9-4

하중 조합의 검증

방향 성분	감쇠 (%)	하중 조합	주기 (sec)	하중	하중 조합 가속도(g)	수계산값 (g)	출력 가속도(g)
2737H0	2	$OBE + \{PS^2 + (1.5 \times CHUG)^2\}^{1/2}$	0.0200	OBE PS CHUG	0.1093 0.0664 0.1010	1.7621	1.7621
2737H0	3	$OBE + \{PS^2 + (1.5 \times CHUG)^2\}^{1/2}$	0.1000	OBE PS CHUG	0.2002 0.0209 0.1267	0.3914	0.3914
2737H0	2	$CHUG + 2 \times CHUG$	0.1250	CHUG	0.0618	0.1854	0.1854
2737H0	3	$CHUG + 2 \times CHUG$	0.0200	CHUG	11.032	3.0960	3.0960
2737H0	2	$(PS^2 + OBE^2)^{1/2}$	0.1000	PS OBE	0.0227 0.2118	0.2130	0.2130
2737H0	3	$(PS^2 + OBE^2)^{1/2}$	0.0200	OBE	0.1093		

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.9-5

조합된 포괄 함수의 검증

<u>방향 성분</u>	<u>감쇠 (%)</u>	<u>포괄된 하중 조합 번호</u>	<u>하중 조합 번호</u>	<u>주기 (sec)</u>	<u>하중 조합</u>	<u>포괄된 가속도(g)</u>
2737H0	2	1, 2, 3	1	0.0200	1.7621	3.303
		2	0.0200	3.3030		
		3	0.0200	0.1279		
2737H0	2	1, 3	1	0.1000	0.4281	0.4281
		3	0.1000	0.2130		
2737H0	3	1, 2, 3	1	0.1250	0.2779	0.2779
		2	0.1250	0.1754		
		3	0.1250	0.1896		

* 하중 조합 #1 = $OBE + [PS^2 + (1.5 \times CHUG)^2]^{1/2}$

하중 조합 #2 = $CHUG + (2 \times CHUG)$

하중 조합 #3 = $(PS^2 + OBE^2)^{1/2}$

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.9-6

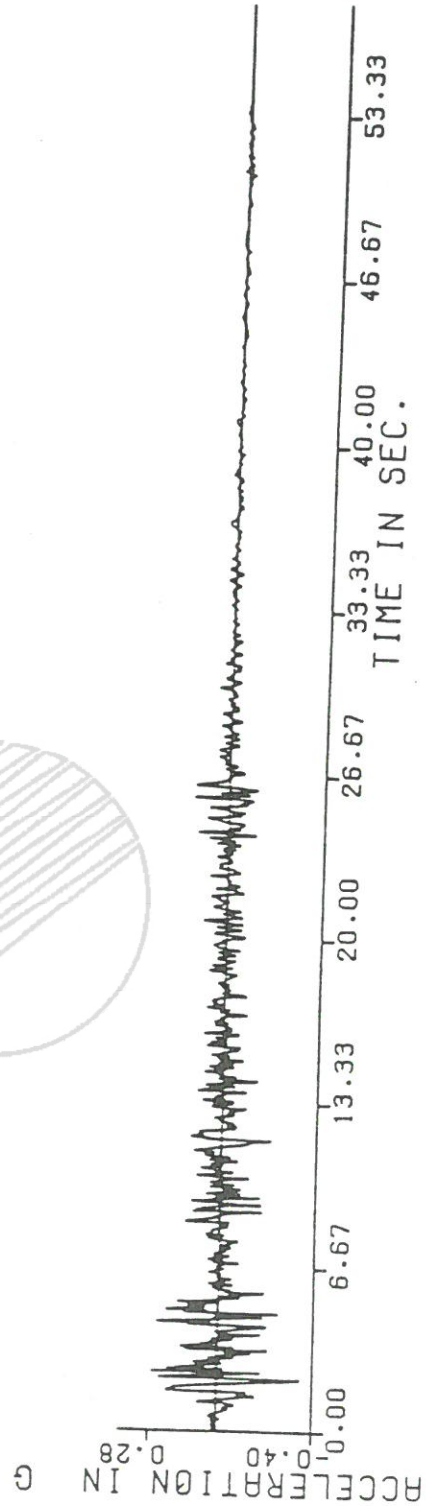
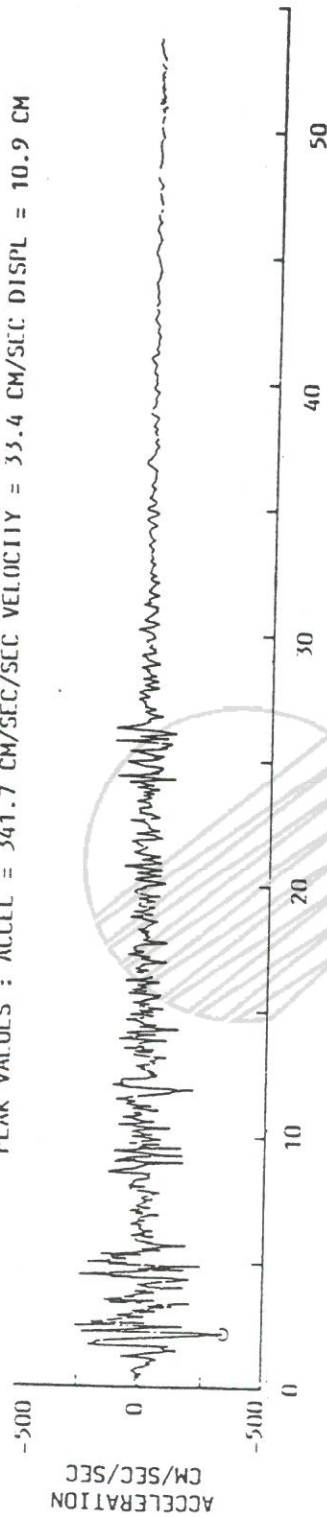
RSG 검증을 위한 예제 시스템의 고유 함수

<u>모드</u>	주 기 (secs)	진 동 수 (Hz)	<u>참여 계수</u>		
			<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
<u>외팔보</u>					
1	0.3718	2.690	0	7.2E-5	-1.56E2
2	0.2926	3.418	0	-1.79E2	-1.2E-5
3	0.0988	10.12	0	-5.83E1	7.5E-7
4	0.0608	16.44	0	-3.31E1	1.5E-4
5	0.0604	16.57	0	1.2E-5	8.69E1

모터 기초

1	0.0866	11.54	2.57	1.42E-1	2.53
2	0.0851	11.75	1.44E-2	-2.33	1.40E-2
3	0.0832	12.02	2.45	2.84E-4	-2.50
4	0.0565	17.71	-332E-1	1.31E-2	5.83
5	0.0549	18.20	5.88	-1.46E-3	2.98E-1
6	0.0269	37.19	-1.45E-1	7.50E-1	-1.28E-1
7	0.0242	41.24	-2.75E-1	-5.95E-3	2.63E-1

IMPERIAL VALLEY EARTHQUAKE MAY 18, 1940 - 2037 P51
 11A001 40.001.0 EL CENTRO IMPERIAL VALLEY IRRIGATION DISTRICT COMP 500E
 PEAK VALUES : ACCEL = 341.7 CM/SEC/SEC VELOCITY = 33.4 CM/SEC DISPL = 10.9 CM



PLOT OF VALID.EXMPL.ELCENTRO-40 T/H (N-S) COMPONENT. (RSG)

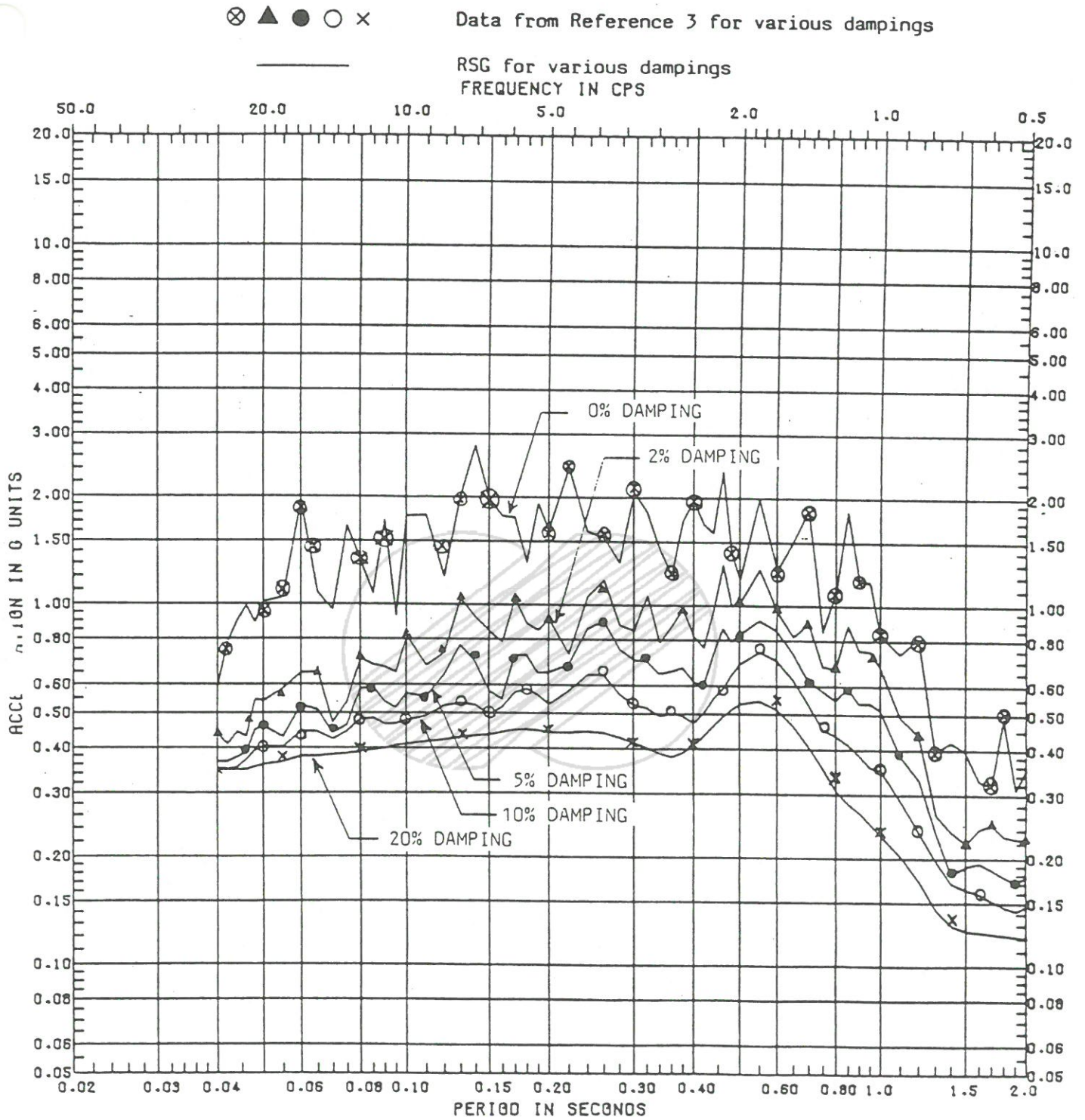


한국수력원자력주식회사
 영광 5, 6 호기
 최종안전성분석보고서

참고 문헌 2와 RSG의 El Centro 남북 방향 지진 기록에 대한 가속도 시간이력 비교

그림 3A.9-1

()



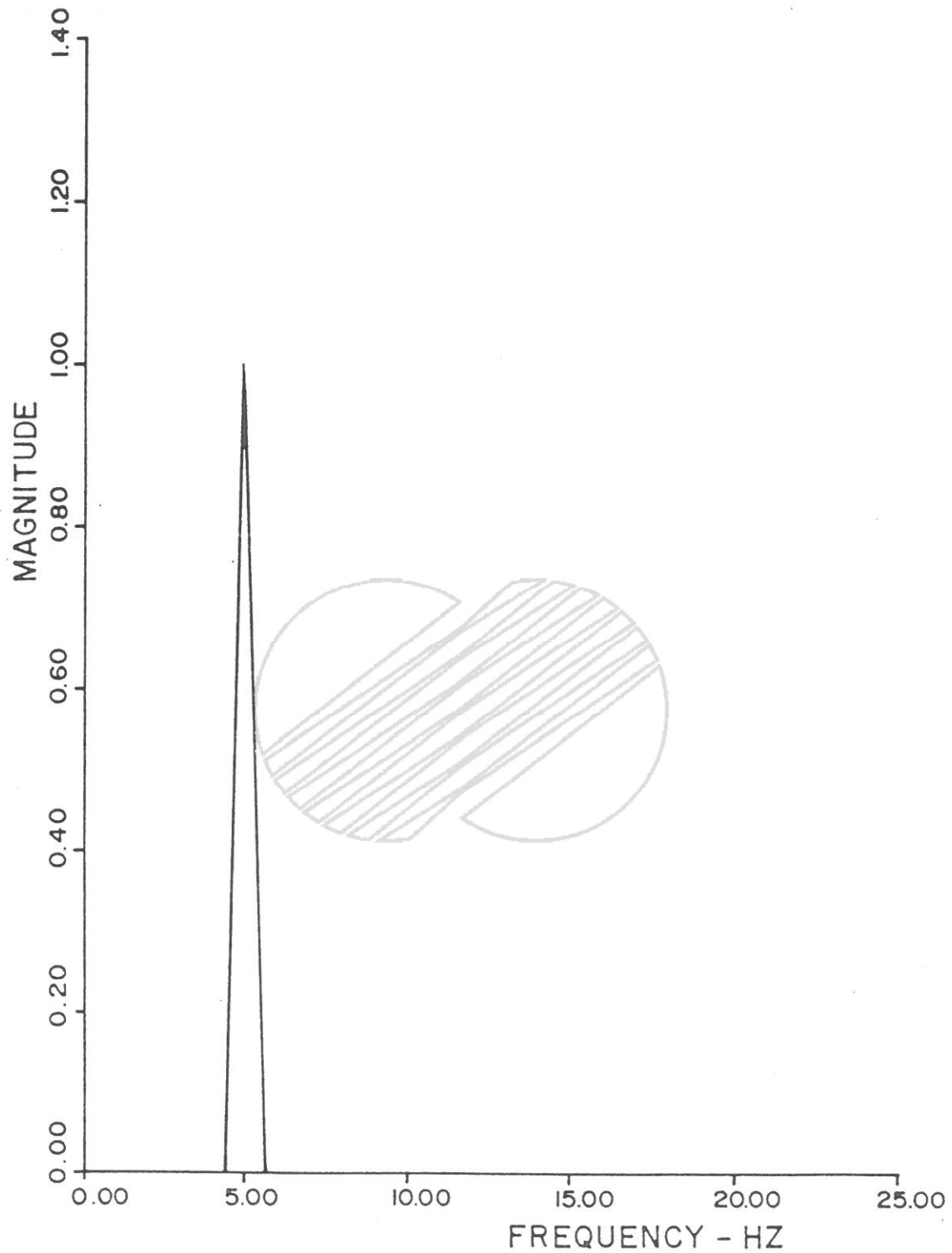
한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

참고 문헌 3과 RSG에서의 여러 감쇠값에 대한
응답스펙트럼 비교

그림 3A.9-2

()

SINE WAVE RESP. SPECT. FOURIER TRANSFORM

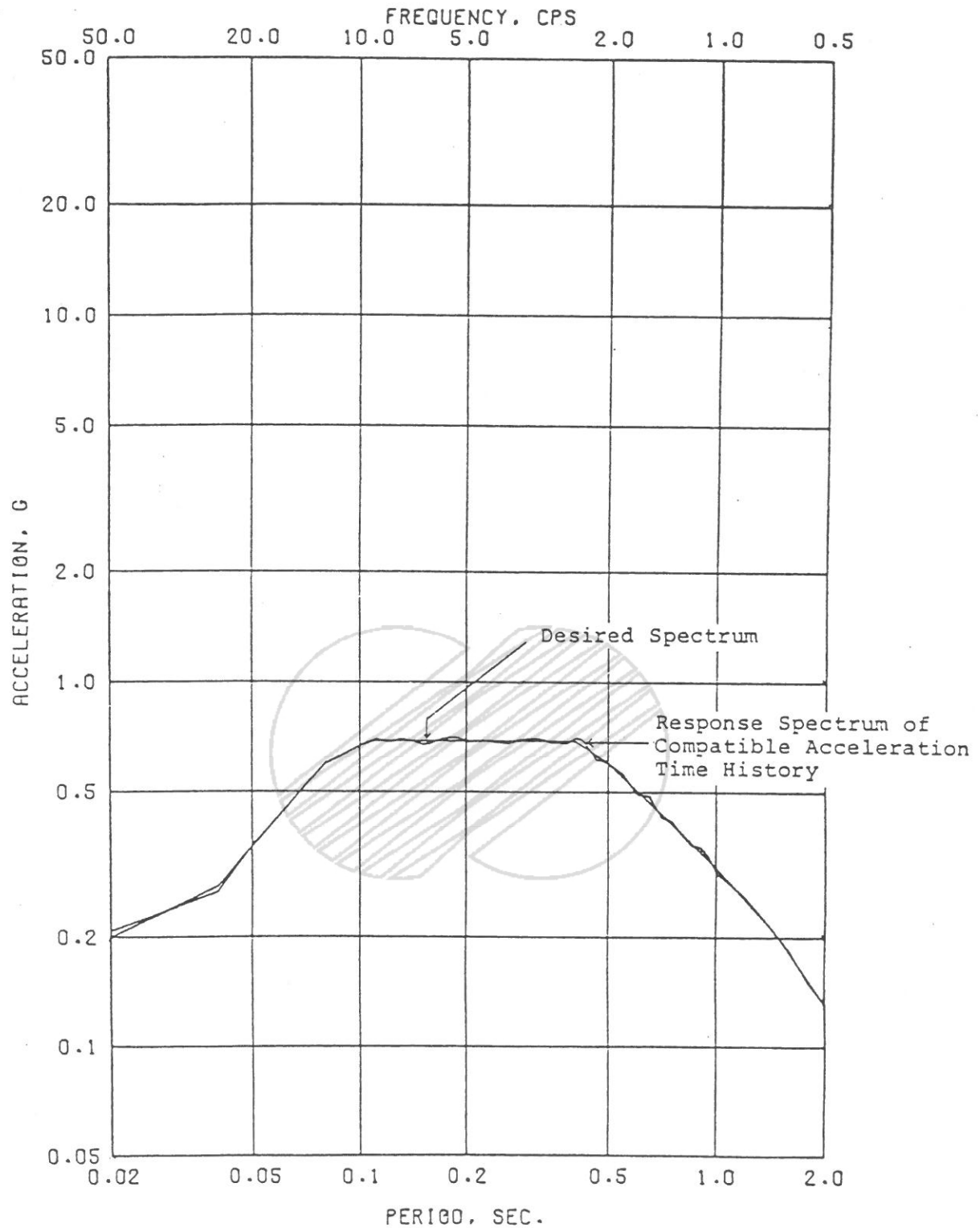


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

5 Hz Sine파 시간이력에 대한
RSG의 Fourier 변환

그림 3A.9-3

()



SPECTRUM CONSISTENT TIME HIST.GENERATION- NSIG=2

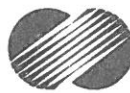
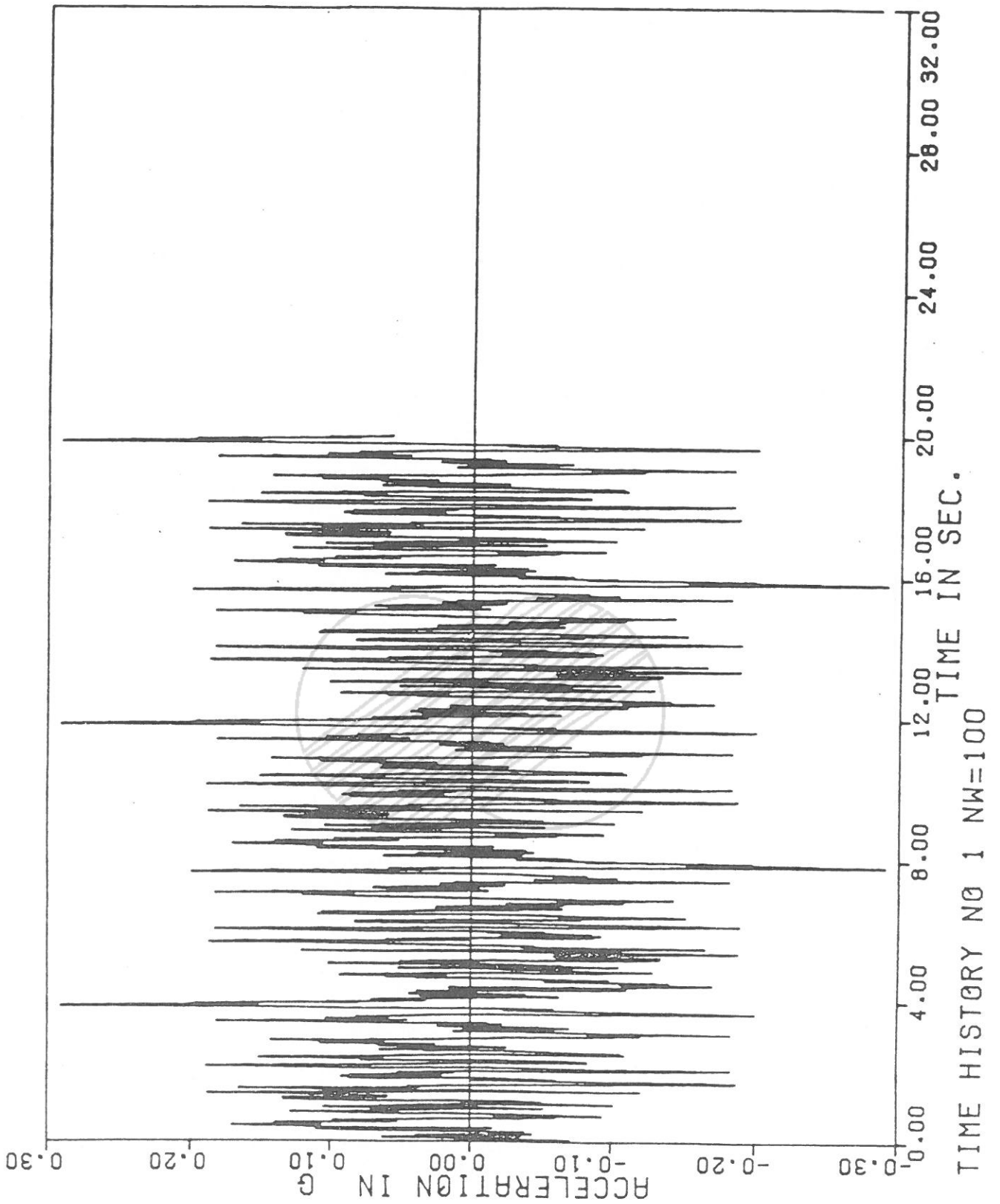


한국수력원자력주식회사
영 광 5, 6 호 기
최종안전성분석보고서

가속도 시간이력으로부터 RSG에 의하여 구한
응답스펙트럼과 주어진 스펙트럼의 비교

그림 3A.9-4

()



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

PSD 함수 곡선 생성을 위한 1번 시간이력

그림 3A.9-5

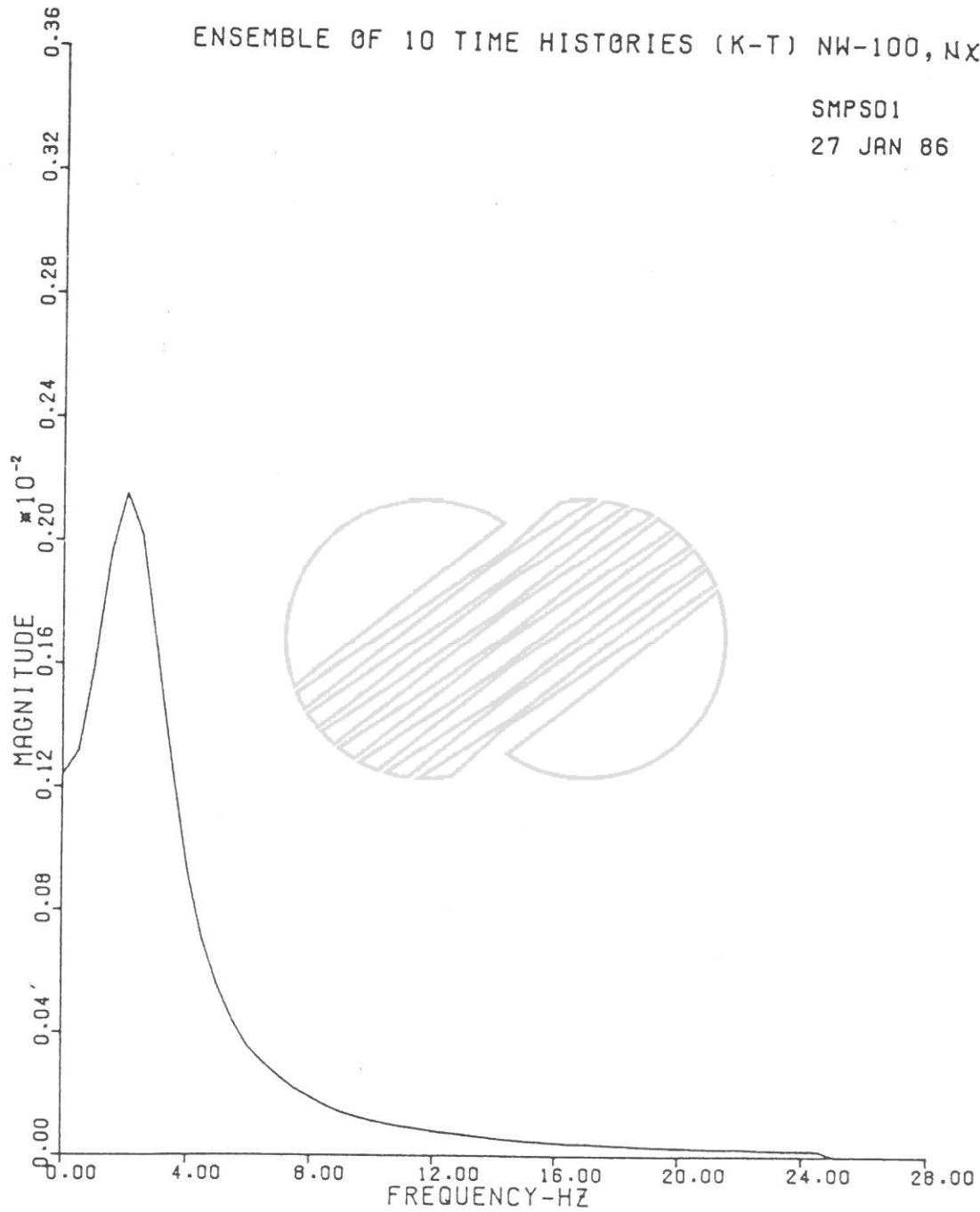
()

POWER SPEC DENSITY

ENSEMBLE OF 10 TIME HISTORIES (K-T) NW-100, NX=1cc

SMPS01

27 JAN 86

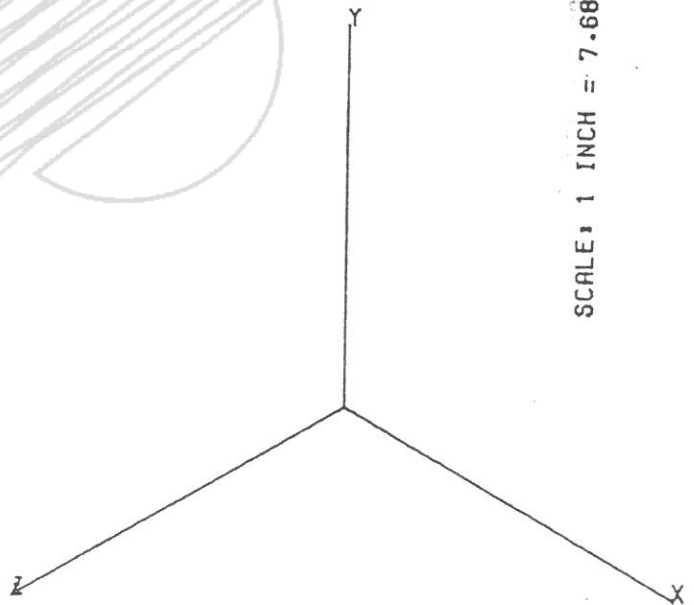
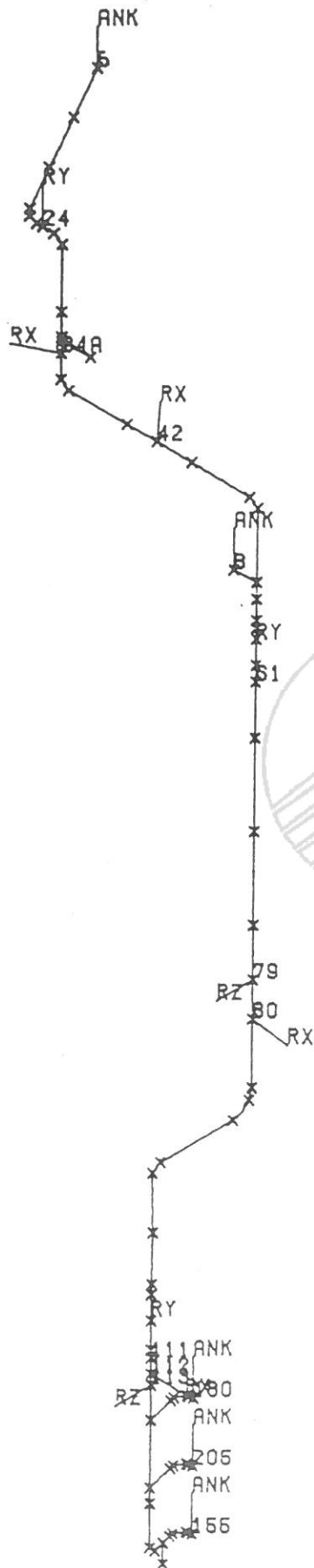


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

10개의 시간이력에 의하여 조합된 PSD 함수

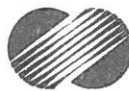
그림 3A.9-6

()



FEET

SCALE: 1 INCH = 7.68

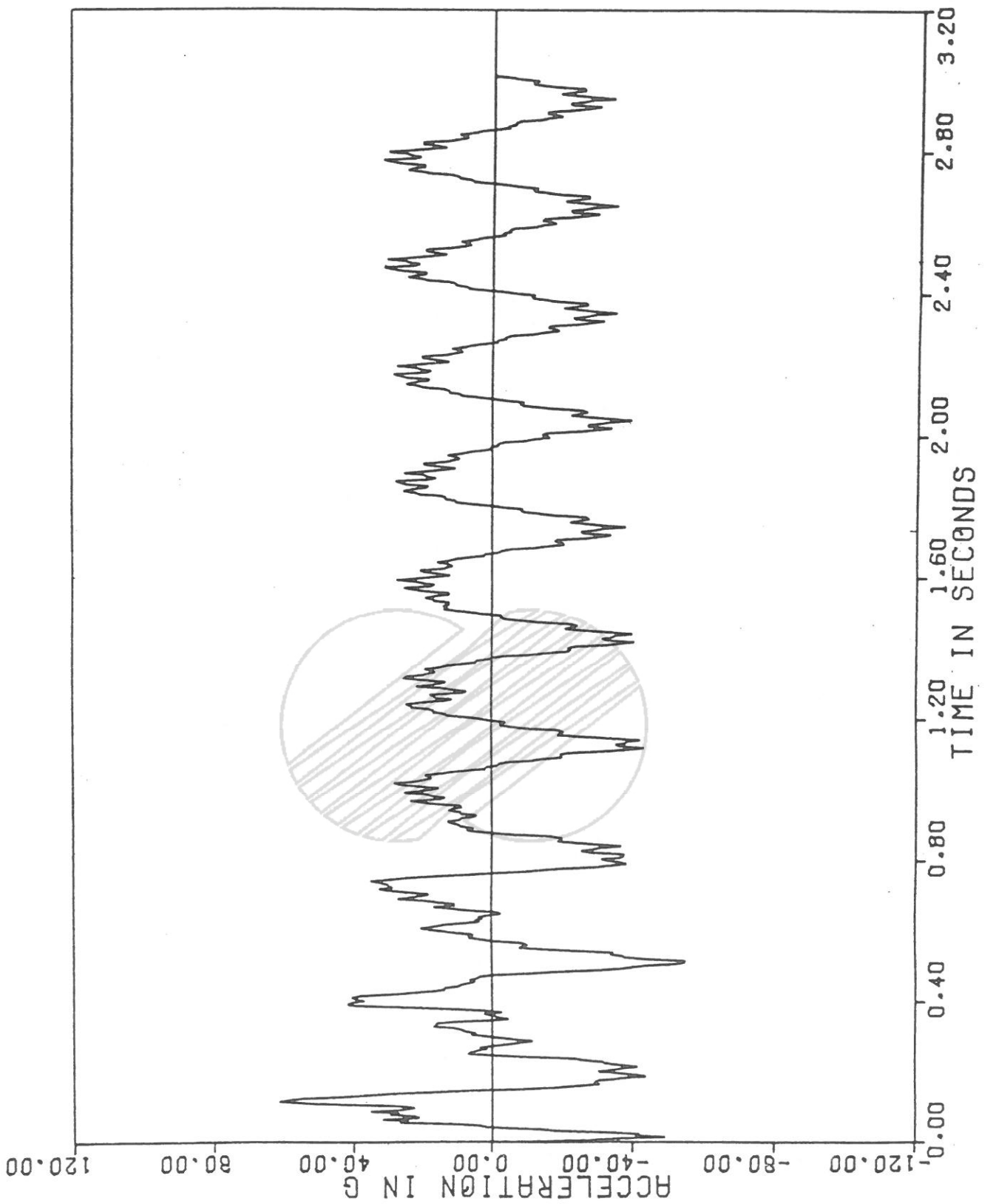


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

RSG 검증 예제를 위한
PIPSYS 파이프 체계의 모델

그림 3A.9-7

()

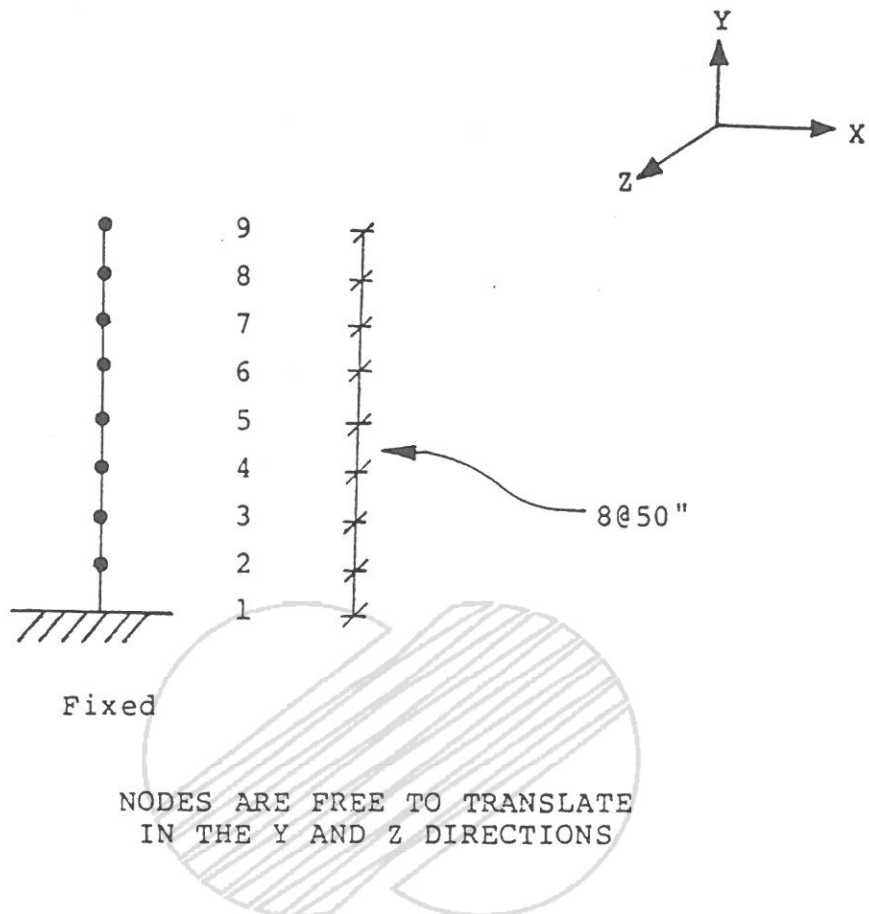


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

X 방향 지진에 의한 절점 70의 X 방향 응답의
가속도 시간이력

그림 3A.9-8

()



$$E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$I = 2 \times 10^7 \text{ in}^4$$

$$A = 100 \text{ in}^2$$

$$\text{Mass Density} = 1 \text{ lb/in}^3\text{-g}$$

Step-by-step integration: 5 seconds at 0.004 seconds/step

$$\alpha = 0.2908$$

$$\beta = 1.654 \text{E-}4$$

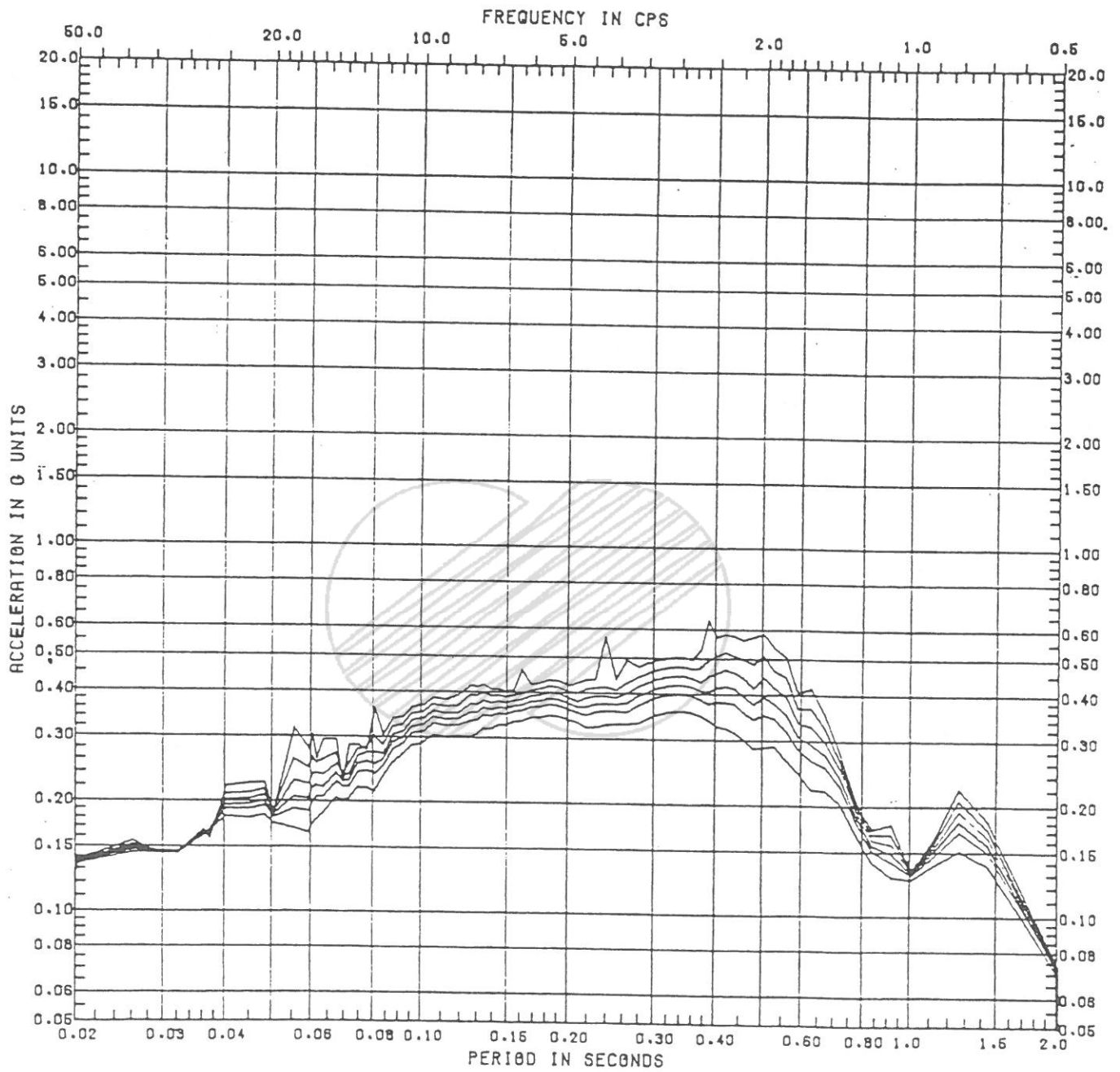


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

층 응답스펙트럼 생성 기능 :
RSG 검증 예제 1의 외팔보

그림 3A.9-9

()

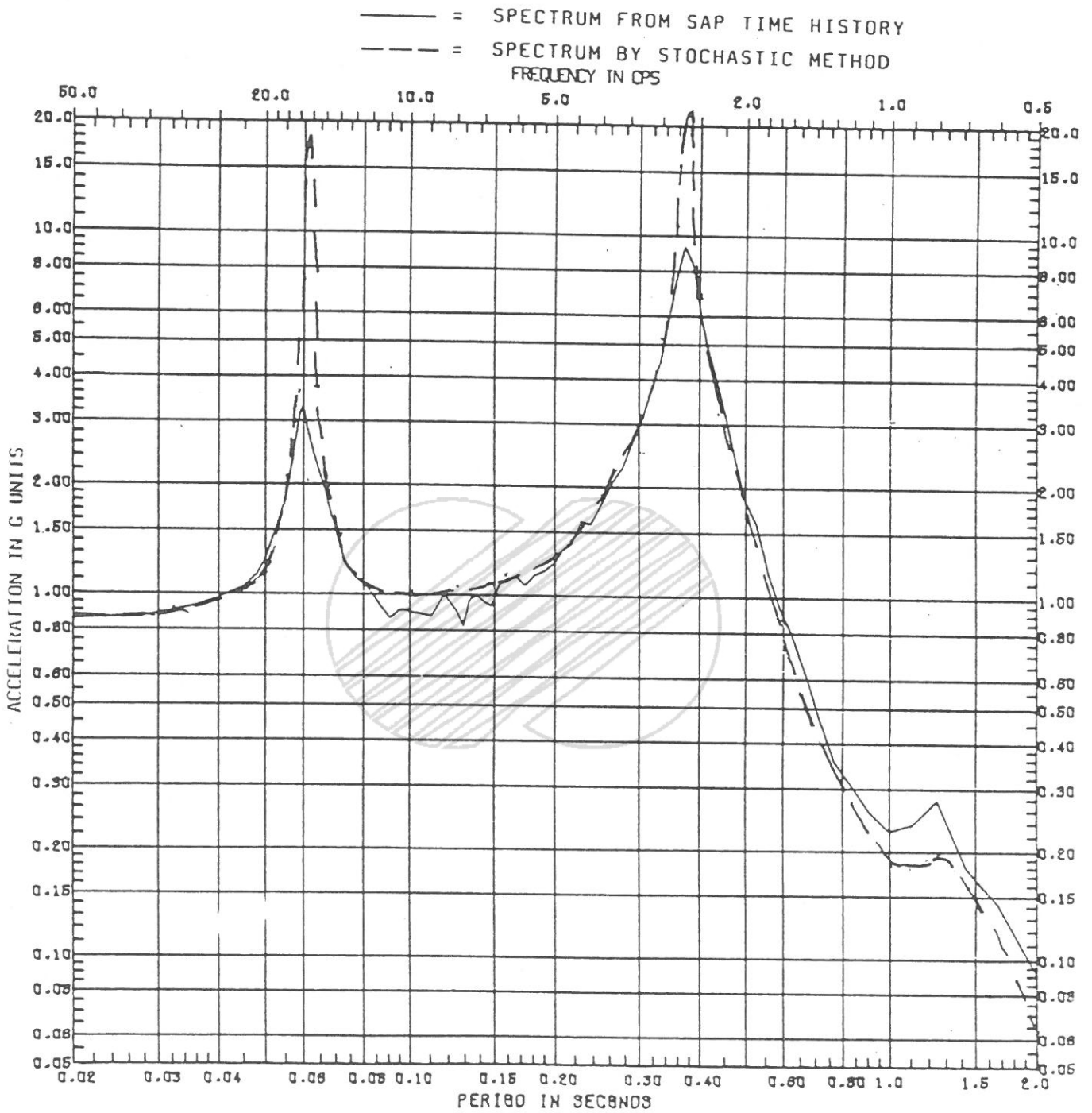


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

충 응답스펙트럼 생성 기능 :
RSG 검증 예제 1의 입력 스펙트럼

그림 3A.9-10

()

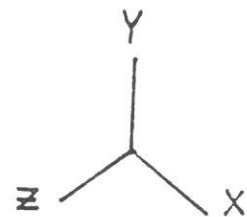
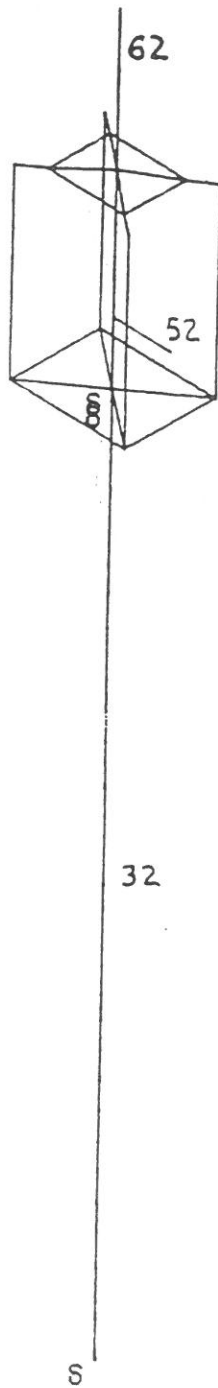


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

층 응답스펙트럼 기능 : RSG 검증 예제중 RSG와
SLSAP의 절점 9에서 Z 방향 응답스펙트럼 비교

그림 3A.9-11

()

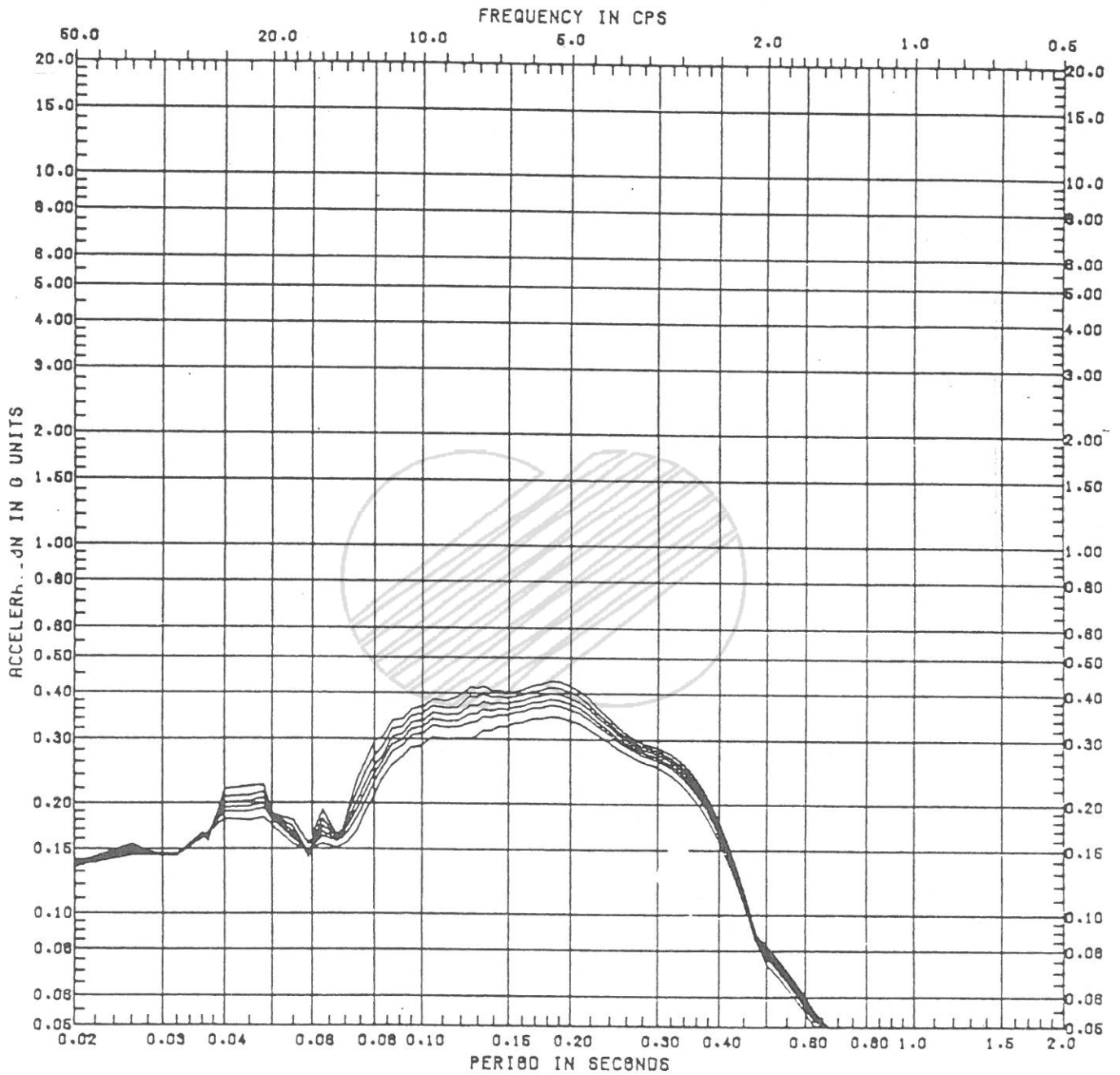


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

충 응답스펙트럼 기능 :
RSG 검증 예제 2의 LPCS 모터 받침대

그림 3A.9-12

()

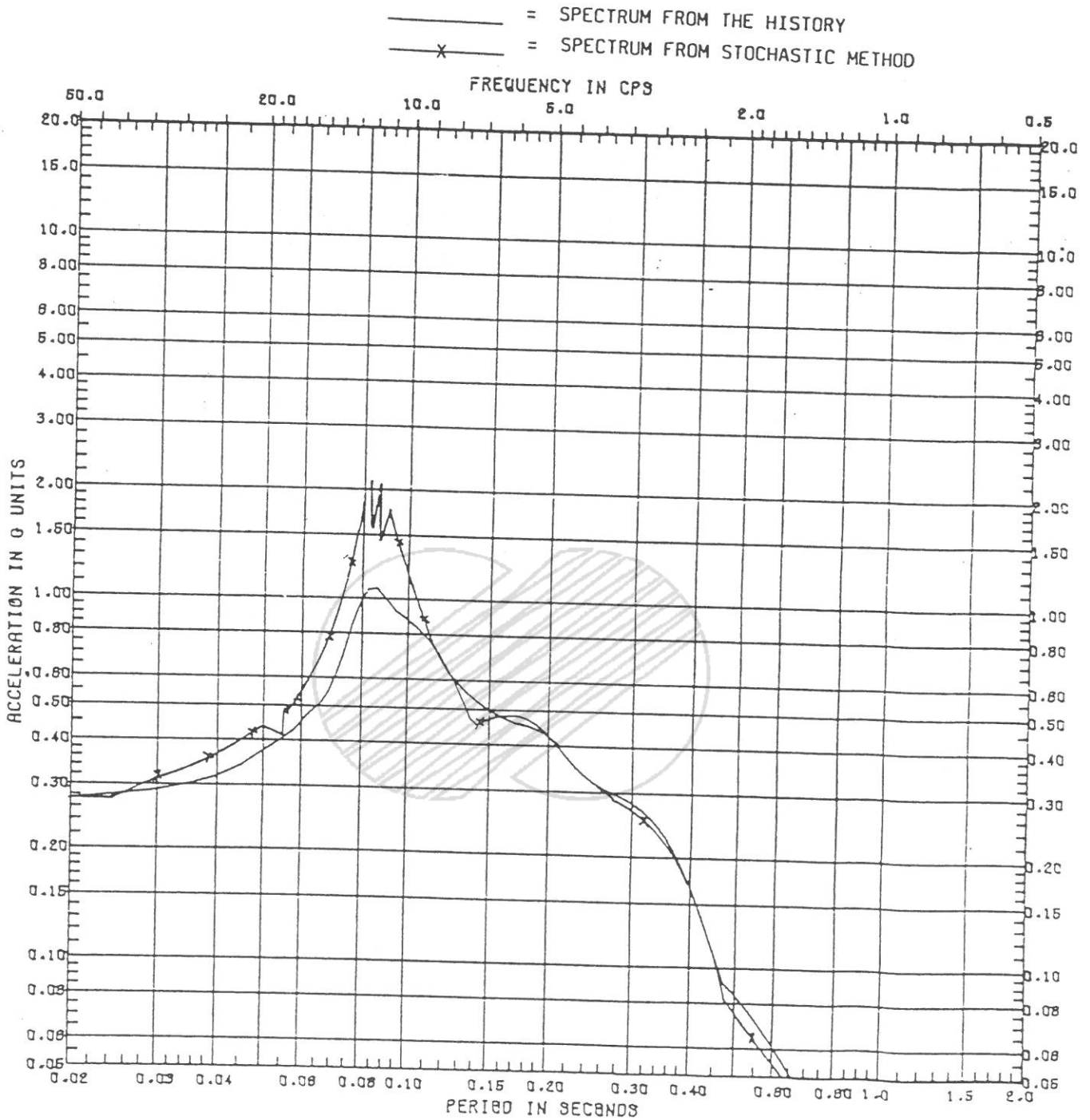


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

충 응답스펙트럼 생성 기능 :
RSG 검증 예제 2의 입력 스펙트럼

그림 3A.9-13

()

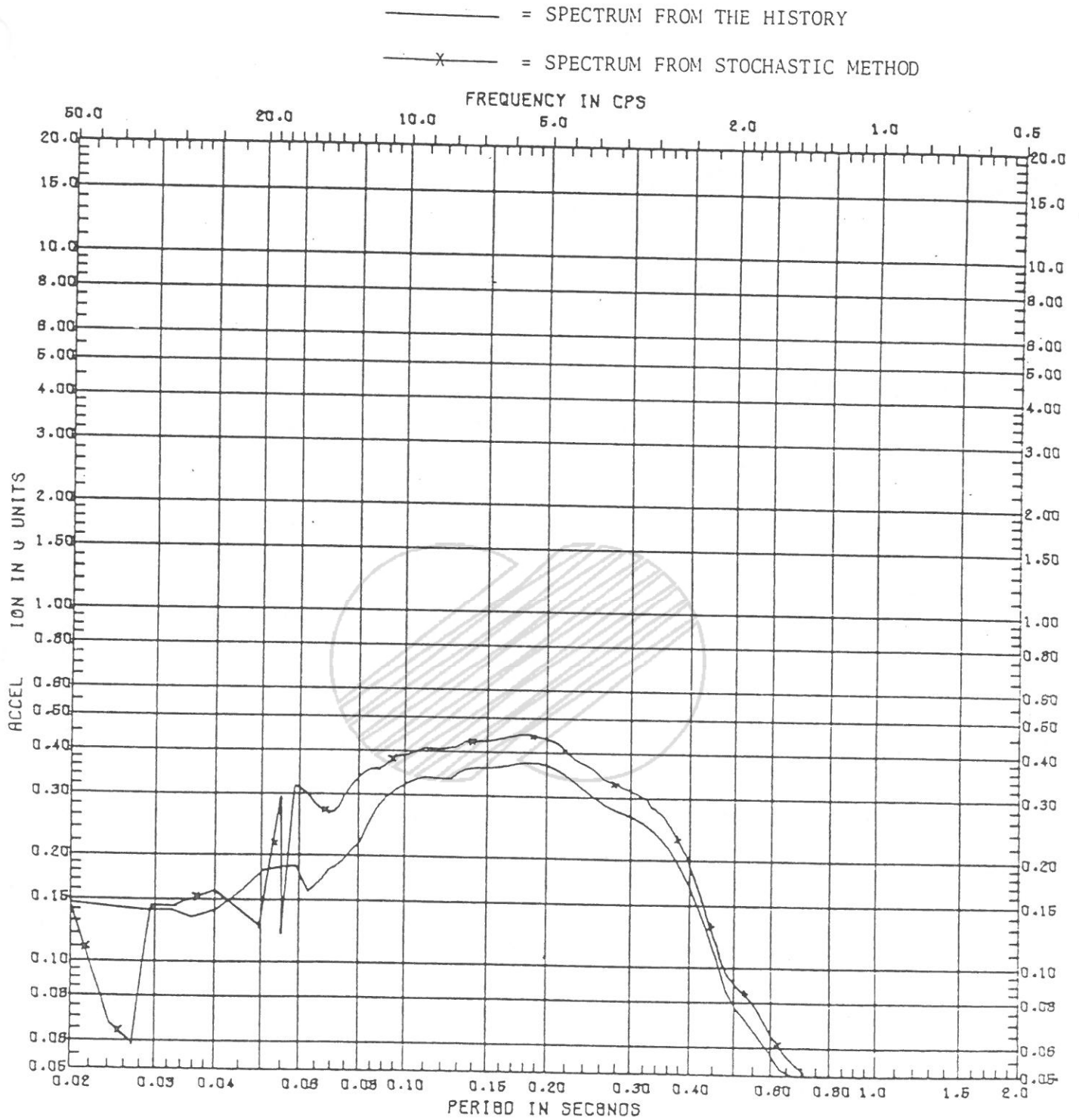


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

충 응답스펙트럼 생성 기능 :
RSG와 SLSAP 검증 예제 2로부터 절점 32의
Z 방향 응답스펙트럼 비교

그림 3A.9-14

()



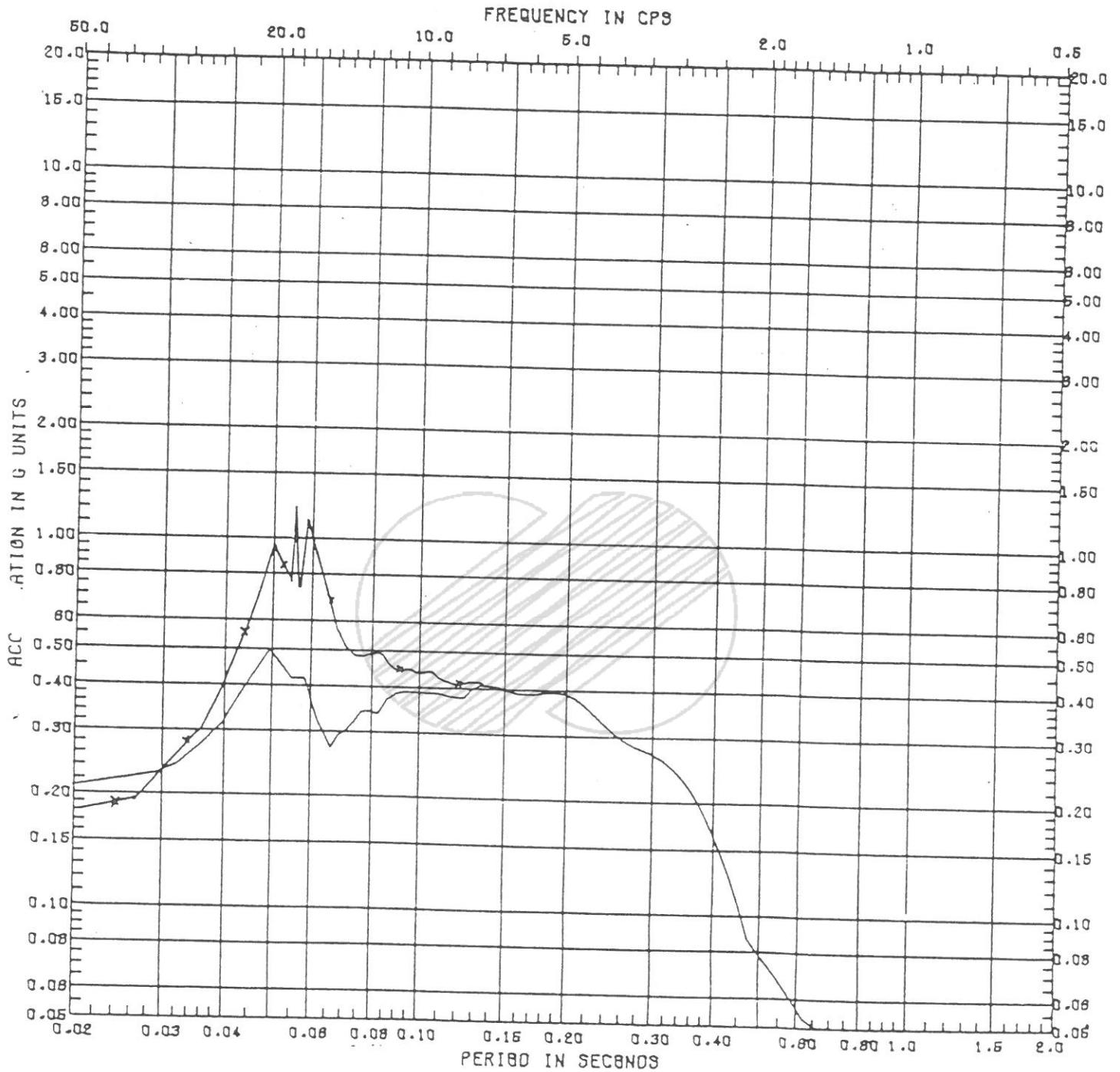
한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

충 응답스펙트럼 생성 기능 :
RSG와 SLSAP 검증 예제 2로부터 절점 52의
A 방향 응답스펙트럼 비교

그림 3A.9-15

()

———— = SPECTRUM FROM THE HISTORY
—X— = SPECTRUM FROM STOCHASTIC METHOD



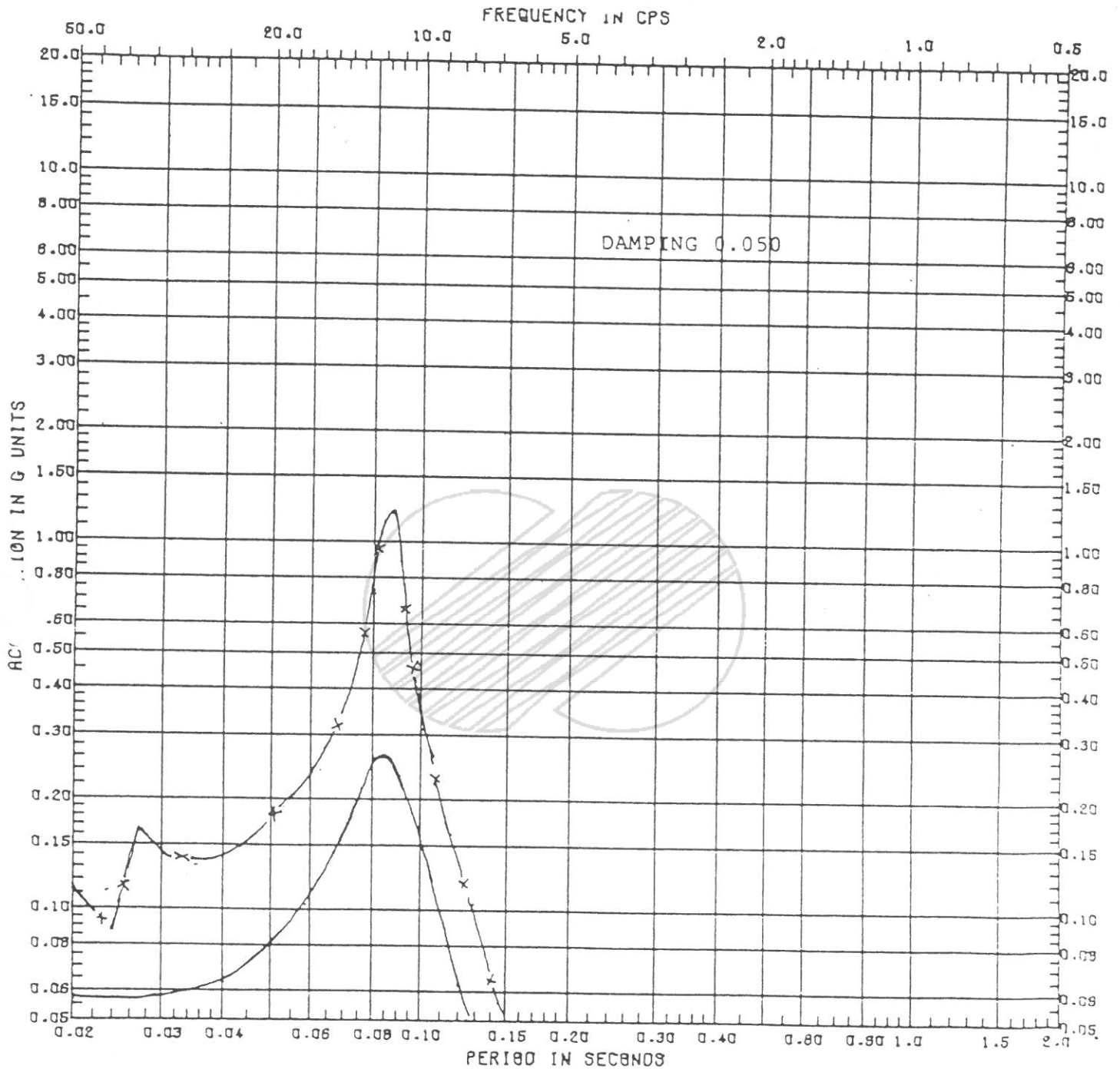
한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

충 응답스펙트럼 생성 기능 :
RSG와 SLSAP 검증 예제 2로부터 절점 62의
Z 방향 응답스펙트럼 비교

그림 3A.9-16

()

———— = SPECTRUM FROM THE HISTORY
—x— = SPECTRUM FROM STOCHASTIC METHOD



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

충 응답스펙트럼 생성 기능 :
RSG와 SLSAP 검증 예제 2로부터 절점 32의
X 방향 응답스펙트럼 비교

그림 3A.9-17

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.10 SLSAP/PC

SLSAP/PC은 정적 및 동적 구조 해석을 수행하는 전산 프로그램이다. 이 전산 프로그램은 3차원 트러스 요소, 3차원 보 요소, 평면 응력 및 평면 변형 요소, 2차원 축대칭 육면체 요소, 3차원 육면체 요소, 두꺼운 쉘 요소, 얇은 쉘 요소, 등방성 쉘 요소, 경계 요소 및 파이프 요소가 내장되어 있다. 요소의 강성은 선형 탄성 등방성 재료 또는 선형 탄성 직방성 재료로서 정의된다. 구조 강성은 각 요소 강성의 조합으로 정의된다. 정적 해석시 각각의 하중 조건에 대하여 온도 하중, 압력 하중, 중력 하중(자중), 집중 하중 등과 같은 요소 하중들을 입력하여 해석할 수 있다. 이 전산 프로그램은 여러개의 하중 조건에 대하여 요소의 절점 변위 및 힘(또는 응력)을 계산한다. 이 해석 프로그램에서는 다음과 같은 4개의 동적 해석이 가능하다.

- 고유치 해석(고유 진동수 해석)
- 고유치 해석 및 응답 시간 이력 해석
- 고유치 해석 및 응답스펙트럼 해석
- 직접 적분법에 의한 응답 시간 이력 해석

해석 프로그램은 문제의 크기에 따라 자동적으로 determinant search algorithm 또는 subspace iteration algorithm 중 하나를 선택하여 고유치/고유 벡타의 해를 구한다. 시간 이력 해석 및 응답스펙트럼 해석결과에는 절점 변위 및 요소 응력 등이 출력된다.

본 전산 프로그램에서 후처리 과정은 정적 해석 부분의 작업성을 향상시키기 위한 프로그램이며, 그 주된 목적은 여러가지 하중 조건을 갖는 해석 모델의 경우 하중 조합 해석을 쉽게 수행하기 위한 것이다. 후처리 과정은 별도 해석으로부터 출력 화일들을 하나의 화일로 결합하고 사용자의 요구에 따라 선택적인 출력을 하며 또한 조합된 요소 응력들의 절대상한값을 검사한다. 또한 이 후처리 과정은 평판 및 쉘 요소의 경우 최소 휨 강도를 초과하는 휨 모멘트를 2개의 직교 방향에 대해 출력시키거나 그 요소들의 주응력

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

을 계산하는 능력을 갖고 있으며, 평판 요소 모델의 어떤 주어진 평면에 대해 컴퓨터 그래픽으로 응력 등고선을 그릴 수 있다.

SAP/PC 프로그램은 1968년 미국 버클리에 있는 캘리포니아대학의 E. L. Wilson 교수에 의해 처음 개발되었다. SLSAP은 SAP의 기능을 보완한 것으로 Sargent & Lundy사가 개발하여 영광 3,4호기 및 울진 3,4호기에서 이미 사용하였던 것을 PC Version화 한 것이다.

SLSAP/PC의 검증을 위해서 13개의 검증 예제들을 제시하였다. 이들 예제들은 SAP IV 사용자 메뉴얼(참고문헌 1, 페이지 43~56) 및 기타 여러개의 정적 및 동적 해석 프로그램, 그리고 고전적 해로부터 발췌하였다.

첫번째 예제는 그림 3A.10-1의 관망(pipe network)을 SLSAP/PC 및 SAP IV를 사용하여 해석한 결과를 비교한 것이다. 구조 시스템의 정적 응답은 집중 하중, 수직중력(y-방향), 일정한 온도 상승, 지점에서의 초기 처짐 등과 같은 영향들을 조합하여 계산된다. 작용 하중은 표 3A.10-1에 나타나 있다.

2개의 프로그램으로부터 구한 결과가 표 3A.10-2에 비교되어 있다. 또한 SAP IV 사용자 메뉴얼에 언급되어 있는 ADLPIPE(참고문헌 2)로부터 구한 결과치도 함께 비교하였다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 각각의 결과치들은 거의 차이가 없다.

두번째 예제는 그림 3A.10-2에 보인 바와 같이 양단이 구속된 구형 셀 구조가 외부에서 작용하는 등분포 압력으로 인하여 생기는 응력을 계산하는 것이다. 그림은 39도 자오선 각도내에 18개의 얇은 셀 요소를 갖는 모델이다.

그림 3A.10-2에 보인 곡선들은 SAP IV 및 SLSAP/PC으로 구한 자오선 방향(ϕ) 및 원주 방향(θ)의 요소의 중심점의 응력을 표시한 것이며 두(2) 결과치들은 일치한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

세번째 예제는 평면 프레임 구조에 대하여 처음 3개의 가장 낮은 모드 진동수 및 그 모드 형상을 계산하는 해석이다. 프레임 구조는 그림 3A.10-3의 (a)에 나타나 있으며 프레임을 구성하는 보 요소의 정의는 (b)에 나타나 있다. SLSAP/PC 및 SAP IV로부터 구한 결과치는 표 3A.10-3에 비교하였다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 두(2) 결과치는 잘 일치한다.

네번째 예제는 배관 모델을 응답스펙트럼 해석 및 의사 정적 해석(pseudo-static analysis) 방법을 사용하여 해석한 것이다. 배관 모델은 그림 3A.10-4에 나타나 있다. 모델은 X 및 Y 방향의 가속도 스펙트럼 하중을 받는다. 스펙트럼의 고려 최대 진동수(cut-off frequency)는 12.5Hz이다.

응답스펙트럼 해석에서는 고려 최대 진동수 범위내의 진동수를 구한다. 초기 5개의 모드가 응답스펙트럼 해석으로부터 구해지며 고려 최대 진동수보다 큰 모드의 진동수에 대해서는 의사 정적 해석을 수행한다. 이들 두(2) 해석결과를 제곱합의 제곱근 방법으로 합하여 전체 응답을 계산한다. 5개의 초기 모드에 대하여 SLSAP/PC 응답스펙트럼 해석으로부터 구한 결과치는 기 검증된 전산 프로그램으로 구한 결과치와 일치한다.

SLSAP/PC 의사 정적 해석으로부터 구한 결과치 및 전체 응답은 수계산으로 구한 값들과 비교하였으며, 표 3A.10-4는 SLSAP/PC 및 수계산으로 구한 결과치가 잘 일치함을 보여 준다. 표 3A.10-5는 SLSAP/PC, SAP IV, PIPDYN를 사용하여 각각 응답스펙트럼 해석으로 구한 휨 모멘트(M_x)의 비교 결과이다.

다섯번째 예제는 외팔보에 대한 문제로서, 그림 3A.10-5(a)의 모델을 분포 하중과 집중 하중이 동시에 작용하는 경우에 대하여 해석한 것이다. 외팔보는 10개의 등간격 보 요소로서 구성된다. 단면은 1 in x 2 in 이며 요소 길이는 10 in, 탄성 계수 30,000ksi이다. 등분포 하중의 크기는 2 kips/in 이며 외팔보 자유단에 10 kips의 집중 하중이 작용한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

SLSAP/PC 해석으로부터의 결과치를 Timoshenko & Gere(참고문헌 4)로부터 구한 결과와 비교하였다. 그림 3A.10-5(b)는 두(2) 방법으로부터 구한 모멘트가 일치함을 보여준다.

여섯번째 예제는 단순 지지된 평판에 대한 해석으로, 평판은 1 ksi의 압력을 받고 있으며 단면 치수 10 in x 10 in, 두께 1 in이고 포아슨비는 0.3이며 탄성 계수는 30,000 ksi이다.

해석으로부터 구한 결과는 S. Timoshenko & S. Woinowsky-Krieger(참고문헌 5)로부터 구한 결과와 비교하였으며, 모멘트 M_{xx} , M_{yy} 의 비교 결과는 그림 3A.10-6과 같다. 표에서 알 수 있듯이 평판 중심에서의 최대 모멘트의 차이는 불과 1.05%에 지나지 않는다.

일곱번째 예제에서는 그림 3A.10-7(a)에 보인 지반 가속도를 받는 외팔보에 대하여 해석한다. 모드 중첩법을 사용하여 8개의 휨 모드에 대한 응답 이력을 계산하였다. 절점 1에 작용하는 지반 가속도는 그림 3A.10-7(b)에 나타나 있다.

표 3A.10-6에 SLSAP/PC 및 SAP IV로 구한 초기 8개의 휨 모드에 대한 고유 주기를 비교하였다. 절점 5 및 9의 시각별 횡방향 변위는 그림 3A.10-8에 표시하였다. 요소 번호 1의 시각별 고정단 모멘트 변화는 그림 3A.10-9와 같다. 비교 결과에서 나타난 바와 같이 두(2) 해석결과는 잘 일치한다.

여덟번째 예제는 중첩법 및 직접 적분법을 사용하여 순간 하중에 대한 원통형관의 시간 이력 응답을 계산한 것이다. 해석결과는 SAP IV 및 Timoshenko & Love(참고문헌 6)로부터 구한 결과치와 비교하였다.

그림 3A.10-10(a)와 같이 원통형관의 절반 부분만을 총 61개의 자유도를 갖는 축대칭 요소로 구성하였다. 작용 하중의 시간에 따른 변화는 그림 3A.10-10(b)에 나타나 있다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

모드 중첩법에 의하여 SLSAP/PC 및 SAP IV로 계산한 20개의 초기 모드는 표 3A.10-7과 같다. 그림 3A.10-11은 SLSAP/PC 및 Timoshenko & Love로부터 구한 시간에 따른 반경 방향의 변위를 보여준다. 그림 3A.10-12는 직접 적분법을 이용하여 SLSAP/PC 및 Timoshenko & Love로부터 구한 값들을 보여준다. 이들 그림에 나타난 바와 같이 SLSAP/PC으로 구한 결과치와 SAP IV 및 Timoshenko & Love로 구한 결과치는 잘 일치한다.

아홉번째 예제로서 그림 3A.10-13의 견고한 지반상의 원형 판(circular plate)을 해석하였다. 판이 들리는 현상을 고려하기 위하여 압축력에만 유효한 경계 요소를 사용하였다.

그림 3A.10-14에서 SLSAP/PC로부터 구한 결과치와 NOBEC 프로그램(참고문헌 7)으로부터 구한 결과치를 비교하였으며, 두(2) 결과들은 서로 잘 일치한다.

열번째 예제로서 탄성 지반상의 확대기초(그림 3A.10-15)를 해석하였다. 확대 기초는 23개의 등매개 변수 쉘 요소를 사용하여 모델링하였다. 10개 절점들에서의 접촉 압력들을 J. E. Bowles(참고문헌 8)로부터 구한 값들과 표 3A.10-8에 비교하였으며, 두(2) 결과는 잘 일치한다.

열한번째 예제에서는 그림 3A.10-16과 같이 시간에 따라 변하는 하중을 받는 외팔보를 해석하였다. 해석시 가변적 구조 감쇠를 적용하였으며 Newmark- β 방법을 사용하여 단계별 적분법(step by step integration)을 사용하였다. SLSAP/PC로 계산한 시간 이력 응답을 PIPSYS로부터 구한 값과 비교하였다. 표 3A.10-9는 SLSAP/PC 및 PIPSYS로부터 구한 최대 절점 가속도를 보여주며 두(2) 결과치들은 잘 일치한다.

열두번째 예제에서는 그림 3A.10-17(a)에 보인 바와 같이 직접 적분법을 사용하여 지반 가속도를 받는 외팔보를 해석하였다. 작용 지반 가속도의 시간 이력이 그림 3A.10-17(b)에 나타나 있다. SLSAP/PC로 구한 시간 이력 응답을 DYNAS로부터 구한 값과 비교하였다. 표 3A.10-10은 외팔보의 자유단에서의 응답 이력을 보여주고 있으며 두(2) 결과치들은 잘

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

일치한다.

열세번째 예제에서는 2개의 지지점에서 동시에 x , y 및 z 방향의 진동을 받는 단순보에 대해 응답스펙트럼 해석을 수행하였다. 진동은 지진 변위 스펙트럼으로 정의하였다. 그림 3A.10-18은 구조물의 유한 요소 모델이다.

기본 진동수, 최대변위 δ_{\max} 및 최대 휨 응력 σ_{\max} 를 산정하여 Biggs(참고문헌 11)로부터 구한 값들과 비교하였다. 두(2) 방법으로 구한 값들의 비교가 표 3A.10-11에 나타나 있으며 결과치들은 잘 일치하고 있다.

참고문헌

1. K. J. Bathe, E. L. Wilson and F. E. Peterson, "SAP IV, A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems", Earthquake Engineering Research Center, Report No. EERC 73-11, June 1973.
2. ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971.
3. "Construction Industry Programs, PIPDYN: Dynamic Analysis of Piping Systems, "Computer Sciences Corporation, Los Angeles, California.
4. S. Timoshenko and J. Gere, Mechanics of Materials, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1972, pp. 99-100
5. S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill, New York, 1959, p.118

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

6. H. Reismann and J. Padlog, "Forced, Axisymmetric Motions of Cylindrical Shells", Journal of the Franklin Institute, Vol. 284, No. 5, November 1967.
7. "NOBEC, Nonlinear Bending of Circular Plates", Sargent & Lundy Program No. 09.7.096
8. J. E. Bowles, Analytical and Computer Methods in Foundation Engineering, McGraw-Hill, New York, 1974, pp. 239-245
9. "PIPSYS, Piping Analysis Program", Sargent & Lundy Program No. 09.5.065.
10. "DYNAS, Dynamic Analysis of Structures", Sargent & Lundy Program No. 09.7.090.
11. J. M. Biggs, Introduction to Structural Dynamics, McGraw-Hill, New York, 1964, pp. 262.

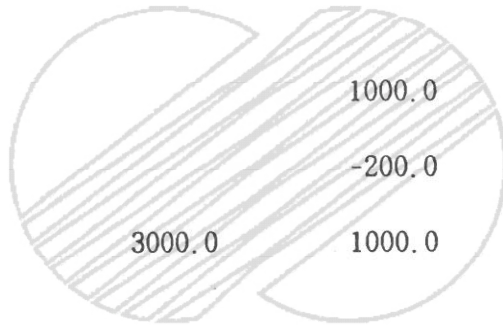
영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-1

관망에 대한 SLSAP/PC 및 SAP IV의 작용 하중

(SLSAP/PC 검증 예제 1)

<u>하중 형태</u>	<u>방 향</u>		
	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
집중 하중 :			
절 점 3		1000.0	
절 점 4		-200.0	
절 점 8	3000.0	1000.0	2000.0
분포 하중		-6284.0	
합 계	3000.0	-4484.0	2000.0



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-2

SLSAP/PC, SAP IV, ADLPIPE 전산 프로그램으로 해석한 관망의 반력 비교 (SLSAP/PC 검증 예제 1)

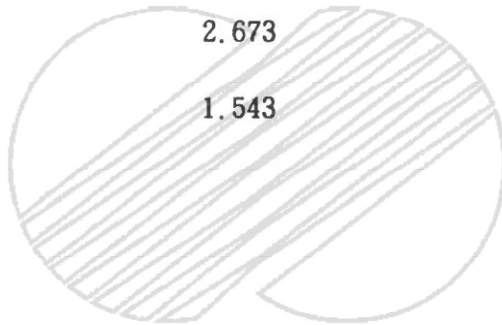
절점	SLSAP			SAP IV			ADLPIPE		
	F _x	F _y	F _x	F _x	F _y	F _z	F _x	F _y	F _z
9	5643.5	-	-	5643.51	-	-	5659.	-	-
11	-	-4044.7	-	-	-4044.59	-	-	-4052.	-
12	2350.1	4023.1	-4960.9	2350.08	4023.01	-4960.70	2361.	4026.	-4966.
13	-10993.5	4505.6	2960.6	-10993.59	4505.61	2960.70	-11021.	4509.	2966.
Total	-2999.9	4484.0	-2000.3	-3000.00	4484.03	-2000.00	-3001.	4483.	-2000.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-3

SLSAP/PC 및 SAP IV로 해석한 평면 프레임 주기 비교(SLSAP/PC 검증 예제 3)

<u>모드 번호</u>	<u>주기(초)</u>	
	<u>SLSAP/PC</u>	<u>SAP IV</u>
1	8.182	8.183
2	2.673	2.673
3	1.543	1.543



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-4

배관 모델 절점 2에서의 응답스펙트럼 해석 및 의사 정적 해석결과 비교

(SLSAP/PC 검증 예제 4)

	<u>SLSAP/PC 응답</u>			<u>수계산 응답</u>	
	<u>동적 해석</u>	<u>의사 정적 해석</u>	<u>합계</u>	<u>의사 정적 해석</u>	<u>합계</u>
X-방향 변위	0.000188	0.0001484	0.000239	0.0001485	0.000239
Y-방향 변위	0.010651	0.0009062	0.01069	0.000906	0.0106895
Z-방향 변위	0.006514	0.0001626	0.006516	0.0001626	0.006516
X-방향 가속도	0.79069	46.09	46.328	46.09	46.328
Y-방향 가속도	44.929	26.698	52.263	26.6984	52.263
Z-방향 가속도	21.075	1.9874	21.168	1.9873	21.168

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-5

SLSAP/PC, SAP IV, PIPDYN을 사용한 배관 모델의 응답스펙트럼 해석결과 비교
(SLSAP/PC 검증 예제 4)

요소단 I에서 구한 요소 좌표계 Z축에 대한 모멘트 M_z (Kip/in)

<u>요소 번호</u>	<u>SLSAP/PC</u>	<u>SAP IV</u>	<u>PIPDYN</u>
1	376.9	376.9	377.0
2	30.66	30.67	30.68
3	152.9	152.9	152.9
4	100.6	100.6	100.6
5	83.27	83.2	83.27
6	46.17	46.17	46.19
7	1.081	1.081	1.082
8	21.59	21.59	21.81
9	7.537	7.052	7.571
10	7.537	7.537	7.571
11	160.3	160.3	160.4
12	78.07	78.07	78.09
13	26.08	26.08	25.80

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-6

SLSAP/PC 및 SAP IV로부터 계산된 외팔보의 고유 주기 비교(SLSAP/PC 검증 예제 7)

<u>모드 번호</u>	<u>주기 (초)</u>	
	<u>SLSAP/PC</u>	<u>SAP IV</u>
1	525.8	525.79
2	85.37	85.368
3	30.96	30.965
4	16.06	16.059
5	9.901	9.9006
6	6.828	6.8276
7	5.186	5.1865
8	4.378	4.3777

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-7

원통형 관의 선별 모드 번호수에 대하여 SLSAP/PC 및 SAP IV의 고유주기 비교(SLSAP/PC 검증 예제 8)

<u>모드 번호</u>	<u>주기 (10⁻³초)</u>	
	<u>SLSAP/PC</u>	<u>SAP IV</u>
1	1.279	1.2788
5	0.6214	0.62140
10	0.3298	0.32983
15	0.1746	0.17463
20	0.1150	0.11497

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-8

SLSAP/PC 및 참고문헌 8로부터 해석하여 얻은
탄성 지반상의 확대 기초에 대한 접지 압력 비교
(SLSAP/PC 검증 예제 10)

접지 압력 (kips/ft²)

<u>절점</u>	<u>SLSAP/PC</u>	<u>J. E. Bowles (참고문헌 8)</u>
1	3.204	3.430
2	5.380	5.411
3	5.513	5.520
4	5.959	5.927
5	6.107	6.060
6	6.567	6.478
7	7.091	6.979
8	7.896	7.703
9	6.096	6.065
10	7.624	7.456

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-9

SLSAP/PC 및 PIPSYS로부터 구한 최대 가속도 비교(SLSAP/PC 검증 예제 11)최대 가속도 (g)

<u>절점 번호</u>	<u>SLSAP/PC</u>	<u>PIPSYS</u>
2	0.213	0.195
3	0.533	0.489
4	0.882	0.814
5	1.057	0.982
6	1.102	1.033
7	0.975	0.924
8	0.744	0.720
9	0.480	0.459
10	0.476	0.451
11	0.599	0.579
12	0.657	0.636
13	0.545	0.526
14	0.389	0.367
15	0.616	0.581
16	0.916	0.886

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.10-10

SLSAP/PC 및 DYNAS 해석으로부터 구한 절점 9에서의 Z 방향 응답 비교(SLSAP/PC 검증 예제 12)

시간 (초)	상 대 변 위 (in)		전 체 가 속 도 (in/sec ²)	
	<u>SLSAP</u>	<u>DYNAS</u>	<u>SLSAP</u>	<u>DYNAS</u>
0.5	-1.870	-1.872	197.1	196.87
1.0	-3.740	-3.744	390.0	390.65
1.5	-1.868	-1.8709	186.3	187.19
2.0	0.0026	0.0018	-9.960	-10.48

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

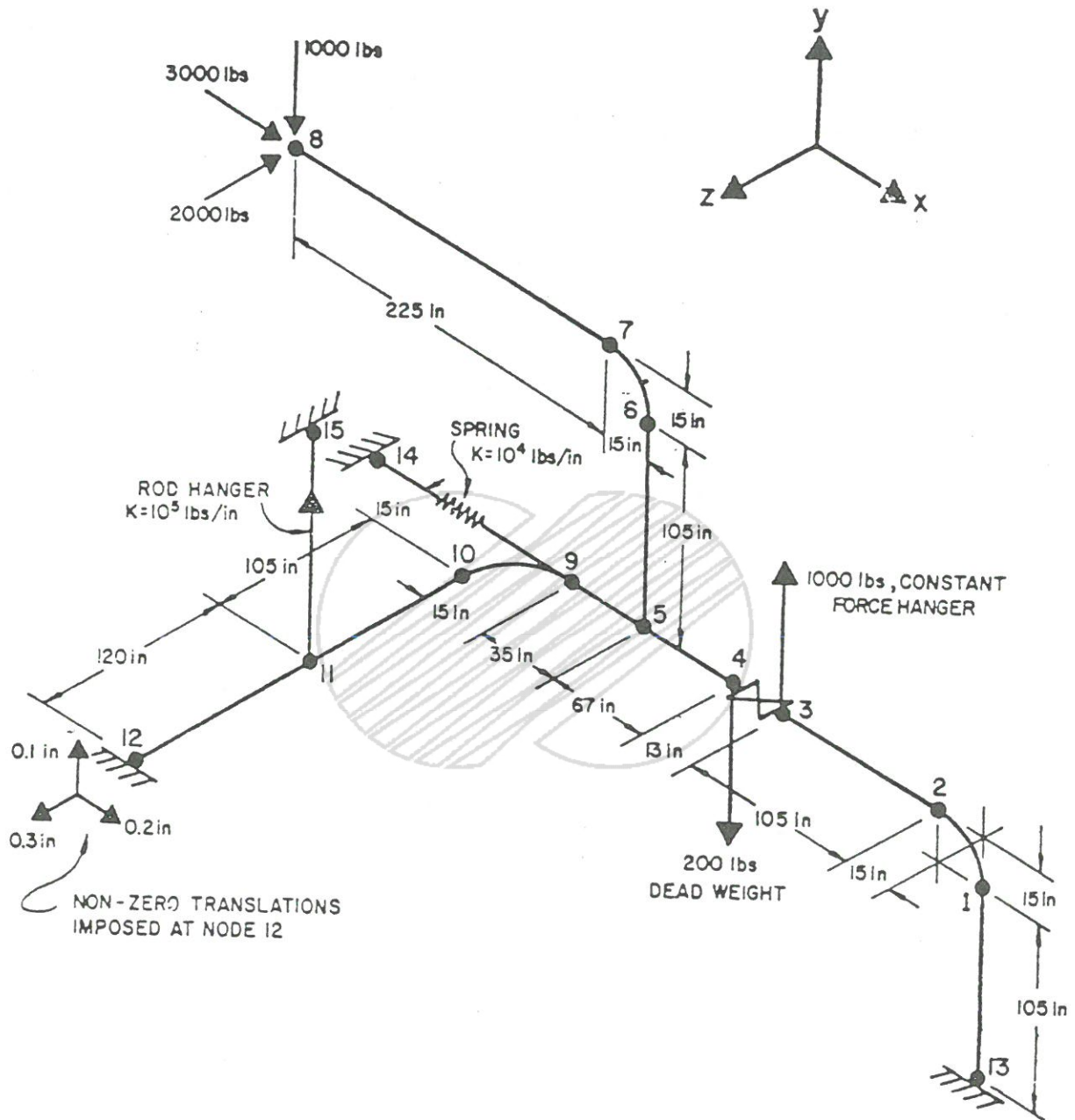
표 3A.10-11

보의 응답스펙트럼 해석으로부터 구한 결과 비교

(SLSAP/PC 검증 예제 13)

	<u>Freq. (Hz)</u>	<u>$\delta_{y\max}$ (in)</u>	<u>$\sigma_{x\max}$ (psi)</u>
SLSAP	6.098	0.553	20,156
Biggs	6.0979	0.560	20,158



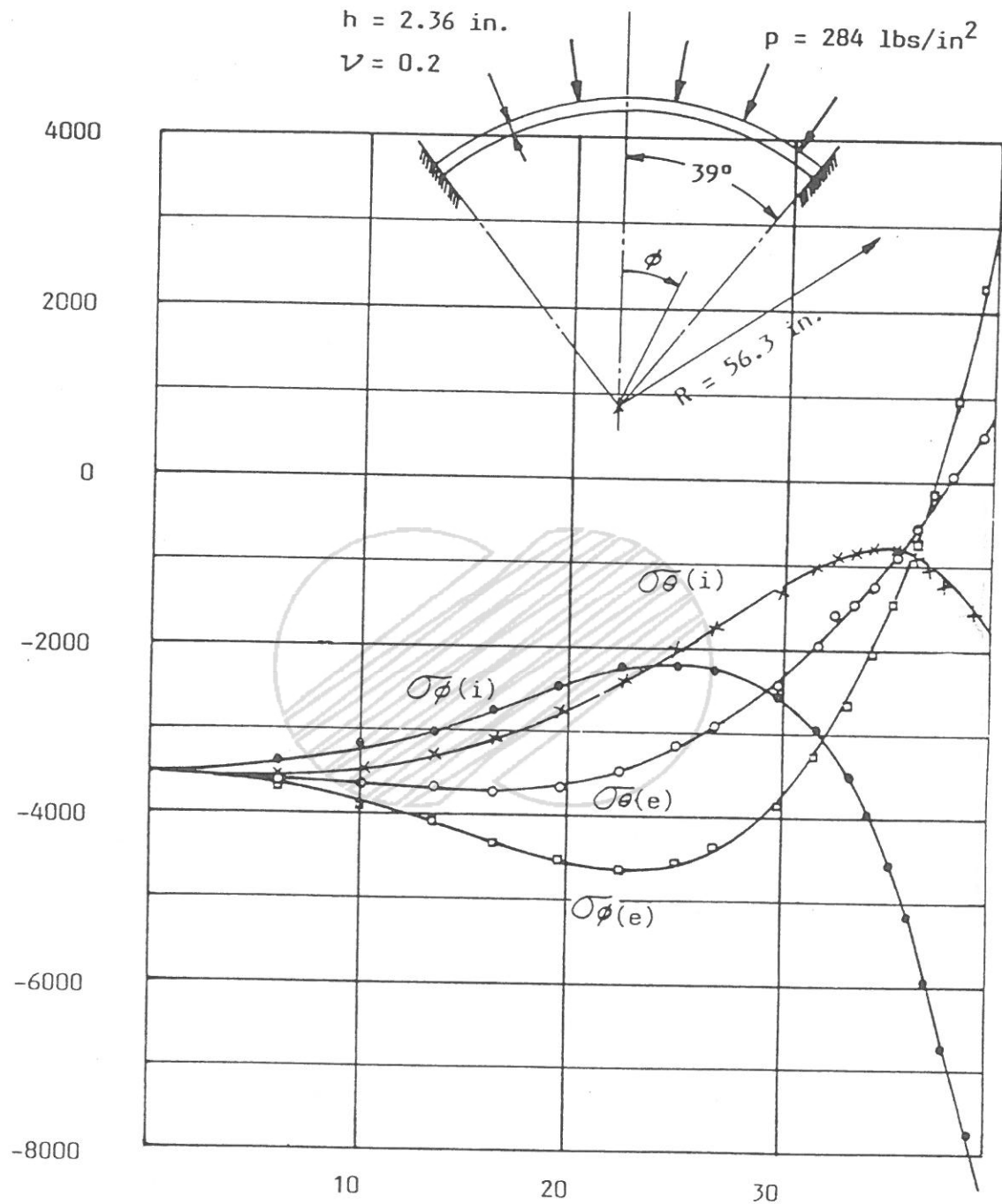


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

SLSAP과 SAP IV의 관망 (Pipe Network) 모델
(SLSAP 검증 예제 1)

그림 3A.10-1

()



(e) = EXTERIOR SURFACE

(i) = INTERIOR SURFACE

● × ○ □ SLSAP RESULTS

— SAPIV RESULTS

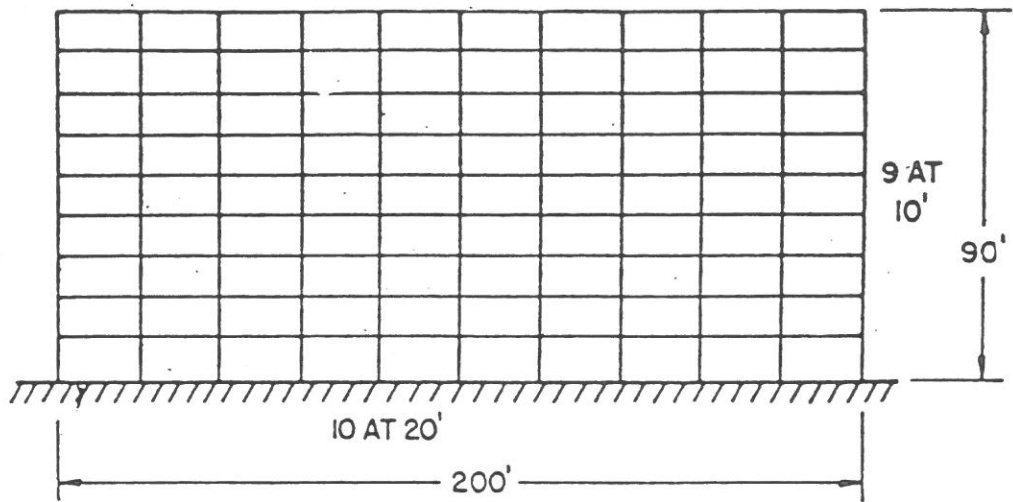


한국수력원자력주식회사
 영광 5, 6 호기
 최종안전성분석보고서

SLSAP과 SAP IV의 양단이 구속된
 쉘 구조에 외부 압력 작용시 표면 응력 비교
 (SLSAP 검증 예제 2)

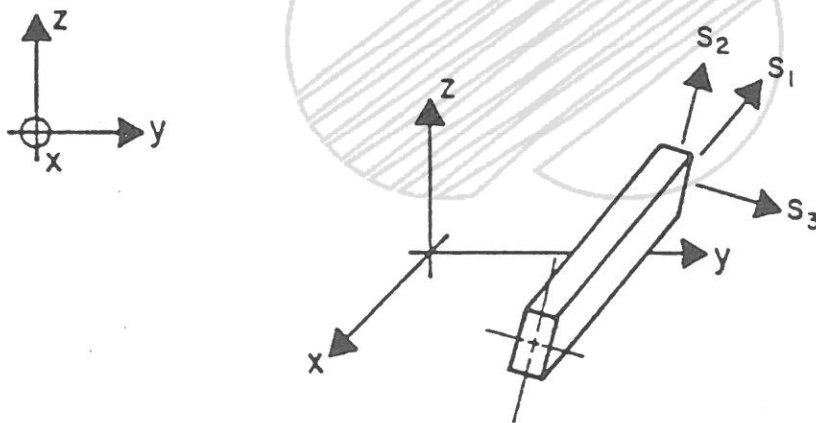
그림 3A.10-2

()



(a) ELEVATION OF FRAME

DATA : YOUNG'S MODULUS = 432000 , MASS DENSITY = 1.0
 FOR ALL BEAMS AND COLUMNS $A_1 = 3.0$, $I_1 = I_2 = I_3 = 1.0$
 UNITS : FT, KIPS



(b) BEAM ELEMENT DEFINITION

S_1, S_2 AND S_3 = BEAM LOCAL AXES

I_1, I_2 AND I_3 = FLEXURAL INERTIA ABOUT S_1, S_2 , AND S_3

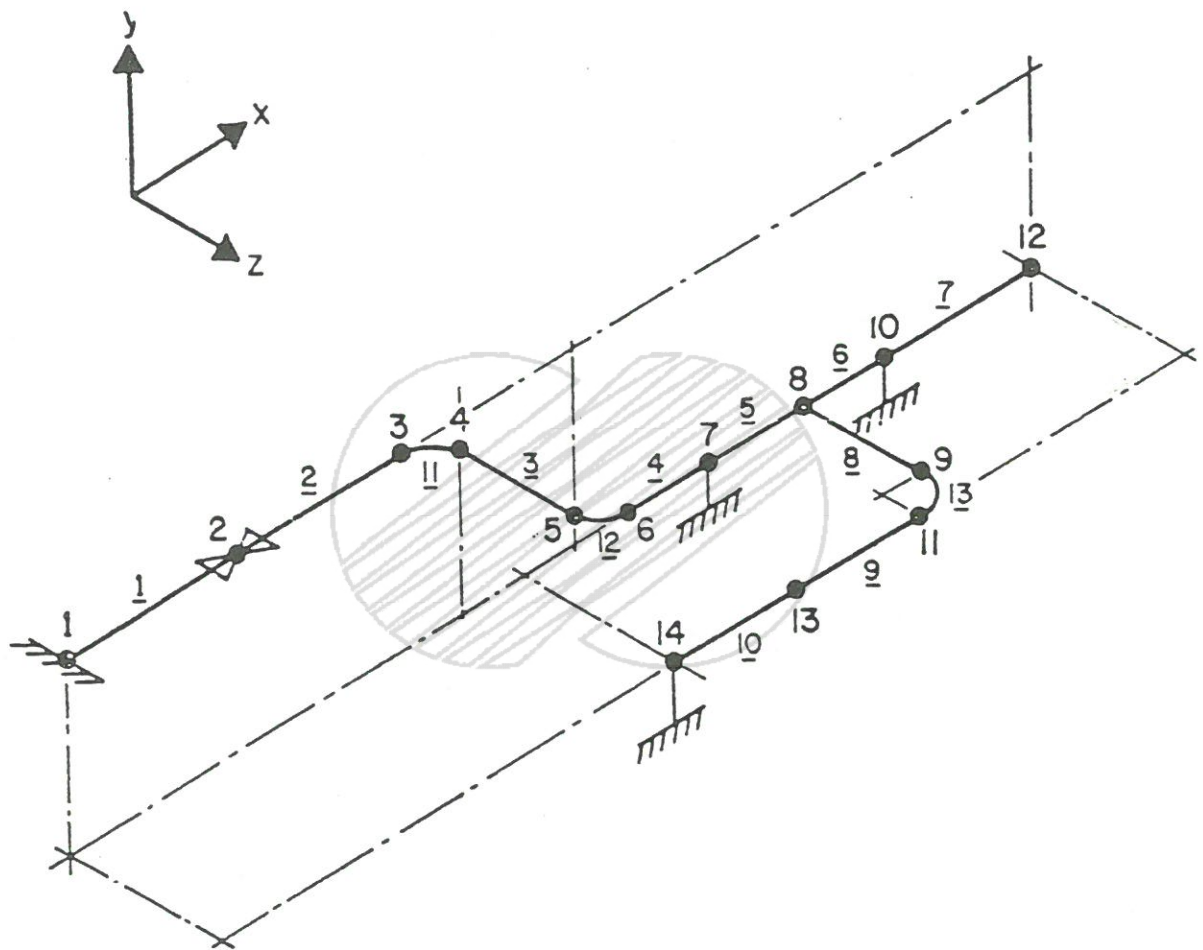
A_1 = AREA ASSOCIATED WITH S_1



한국수력원자력주식회사
 영광 5, 6 호기
 최종안전성분석보고서

SLSAP과 SAP IV의 평면 프레임 모델
 (SLSAP 검증 예제 3)

그림 3A.10-3

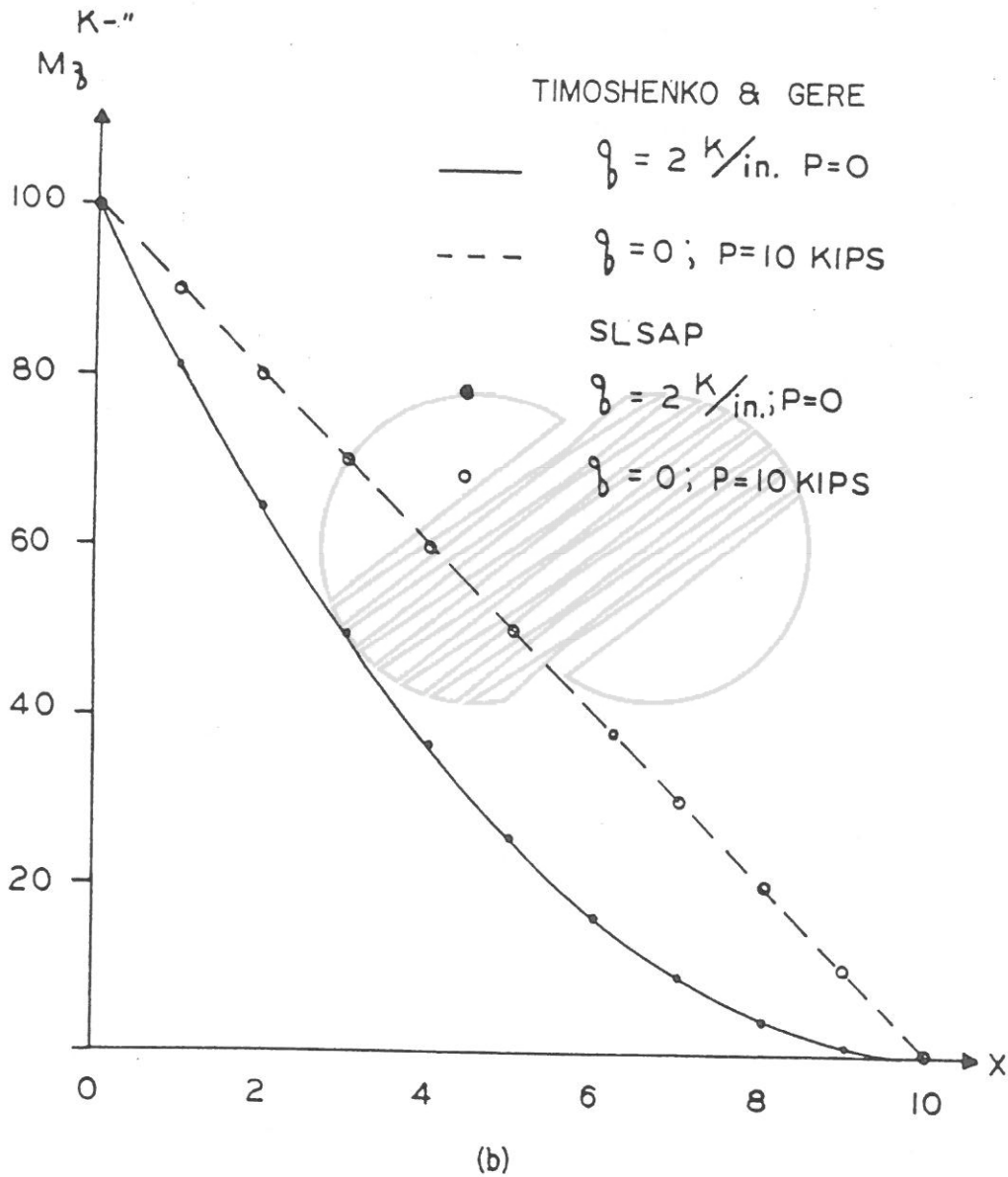
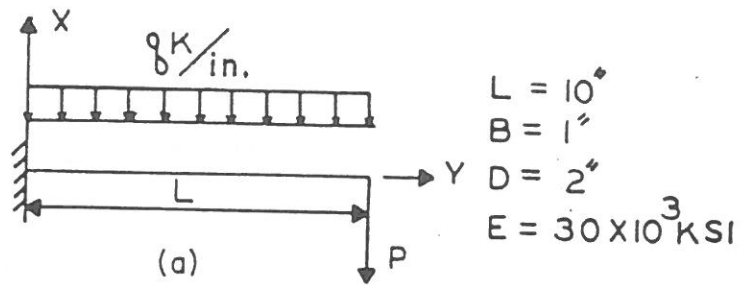


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

SLSAP과 SAP IV의 배관 체계 모델
(SLSAP 검증 예제 4)

그림 3A.10-4

()

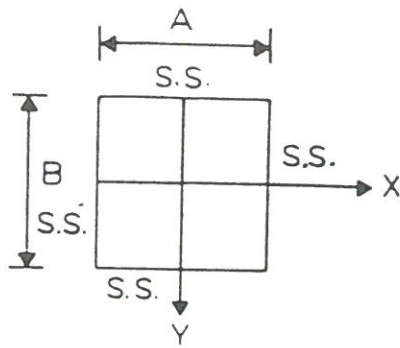


한국수력원자력주식회사
 영광 5, 6 호기
 최종안전성분석보고서

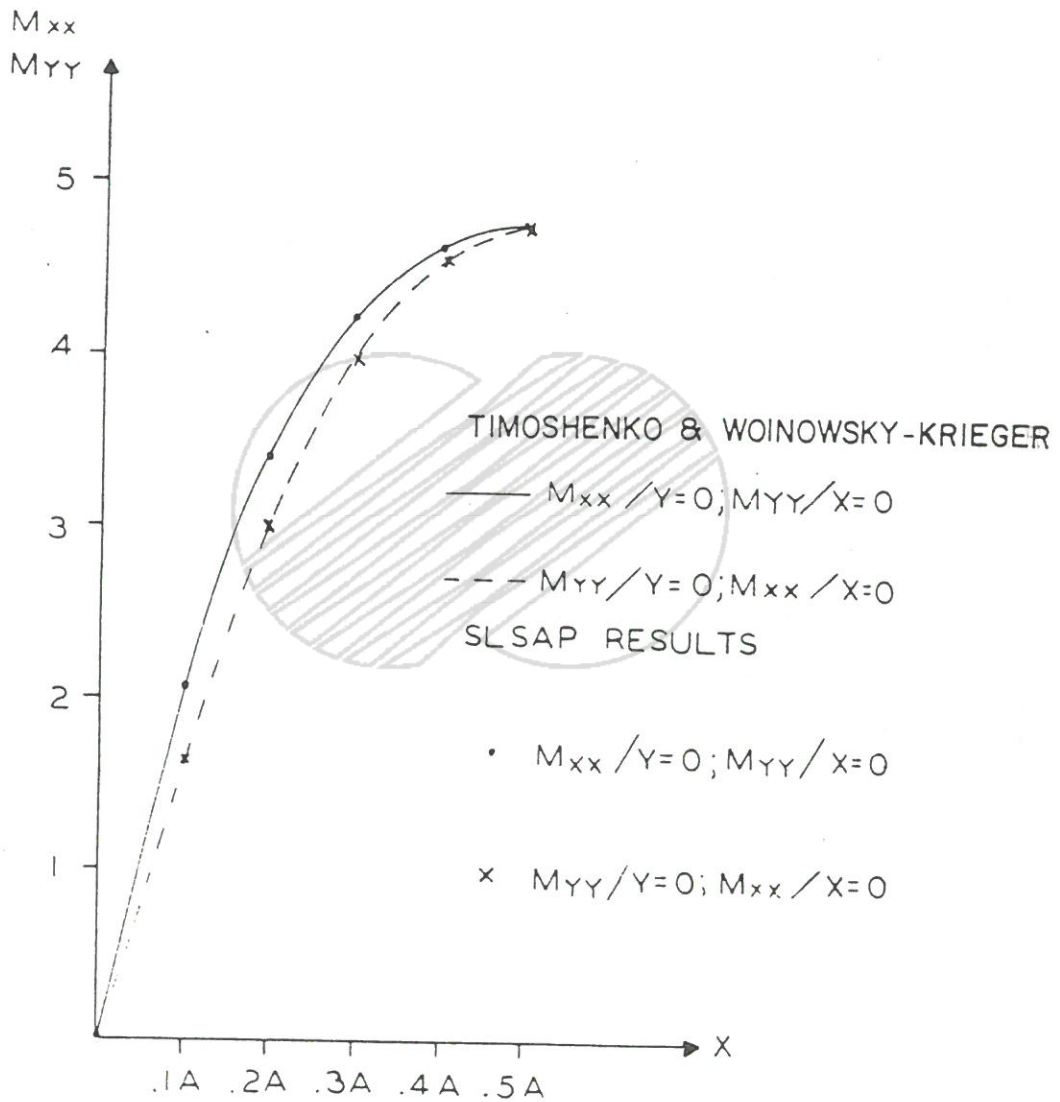
SLSAP과 참고 문헌 4의 외팔보에서 휨 모멘트 비교
 (SLSAP 검증 예제 5)

그림 3A.10-5

()



$A = B = 10''$
 $\nu = 0.3$
 $E = 30 \times 10^3 \text{ KSI}$
 $T = 1''$
 $q = 1.0 \text{ KSI}$

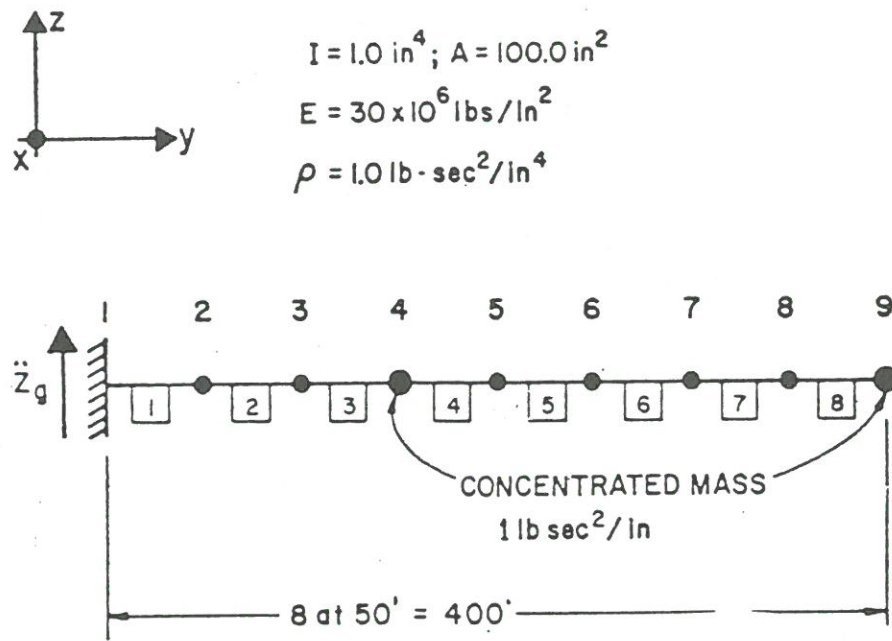


한국수력원자력주식회사
 영광 5, 6 호기
 최종안전성분석보고서

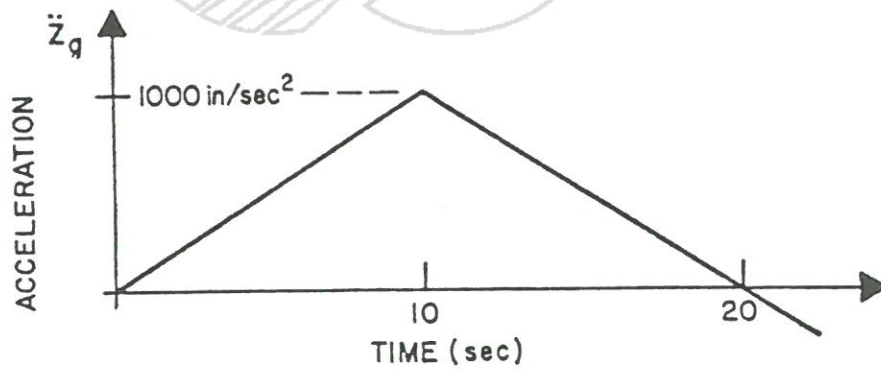
SLSAP과 참고 문헌 5의 단순 지지된 평판에서의
 휨 모멘트 비교 (SLSAP 검증 예제 6)

그림 3A.10-6

()



(a) NODE AND BEAM NUMBER ASSIGNMENTS FOR THE CANTILEVER MODEL



(b) GROUND ACCELERATION APPLIED AT NODE 1

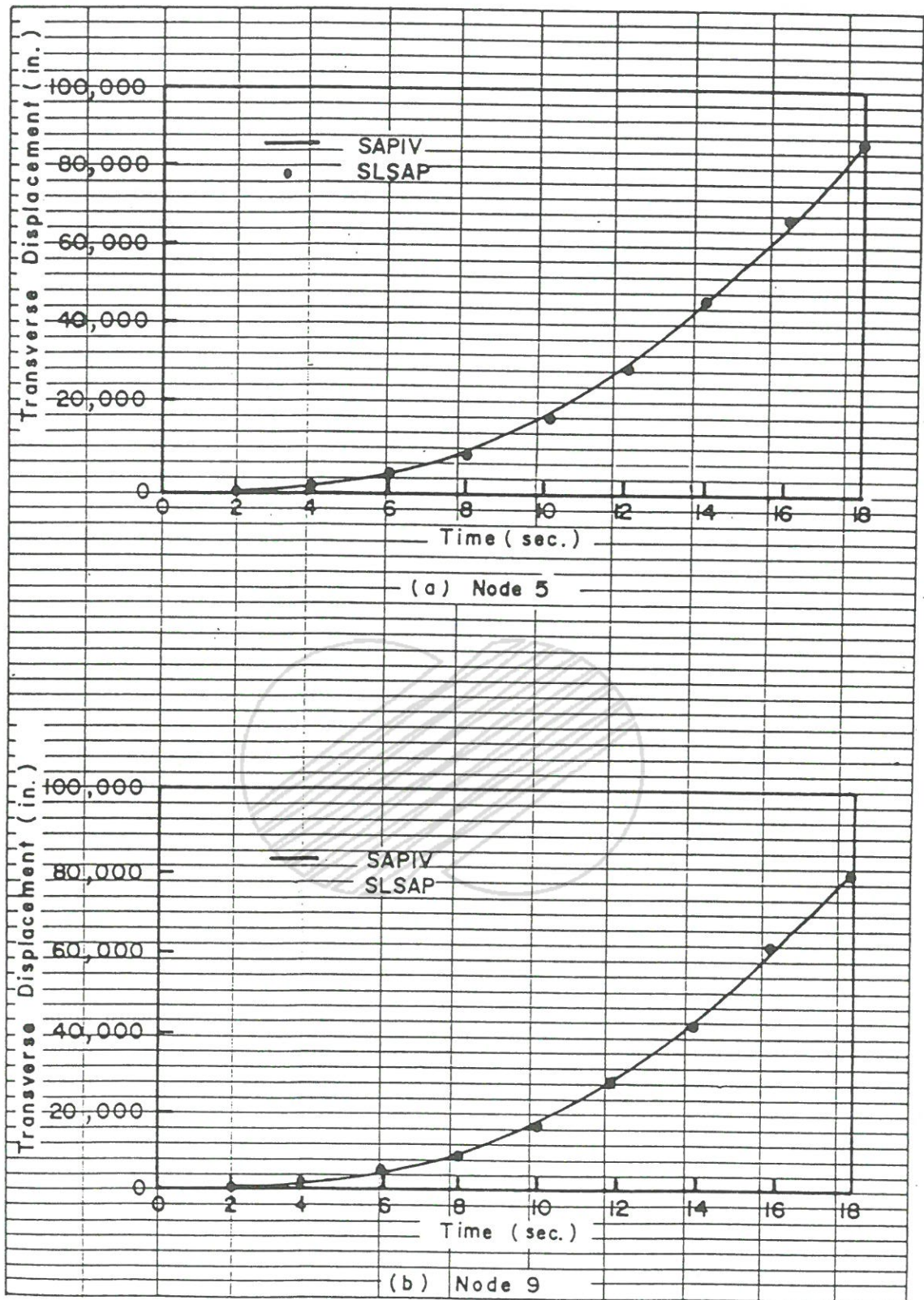


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

SLSAP과 SAP IV의 응답 이력 해석 모델
(SLSAP 검증 예제 7)

그림 3A.10-7

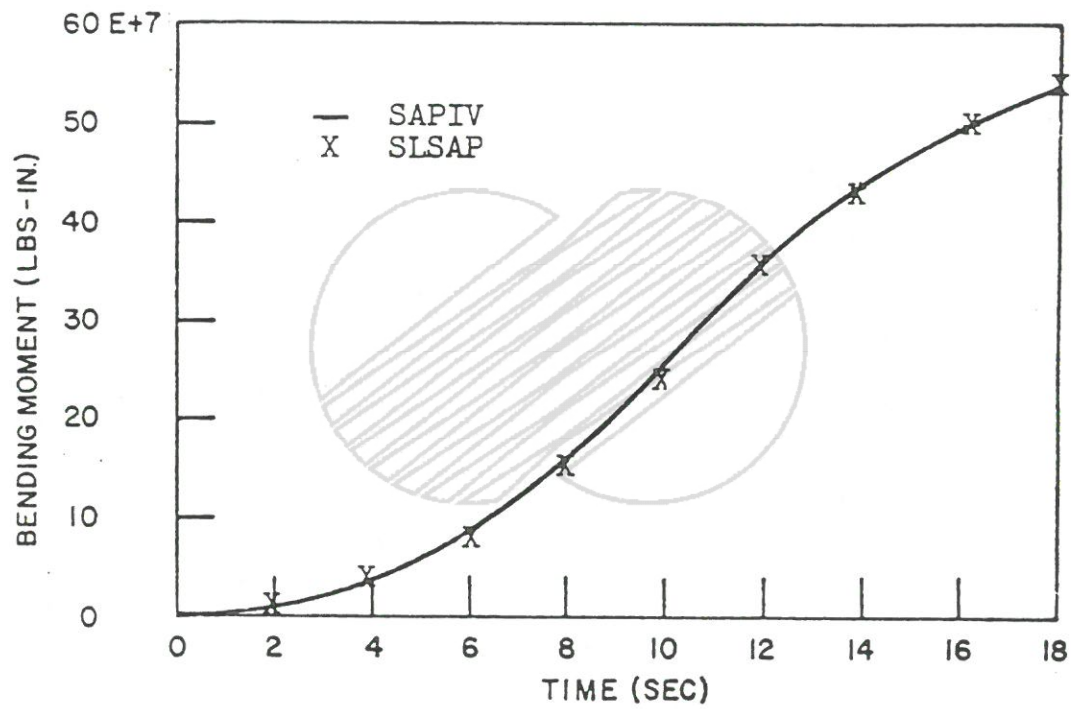
()



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

SLSAP과 SAP IV의 외팔보에서 횡방향 변위 비교
(SLSAP 검증 예제 7)

그림 3A.10-8

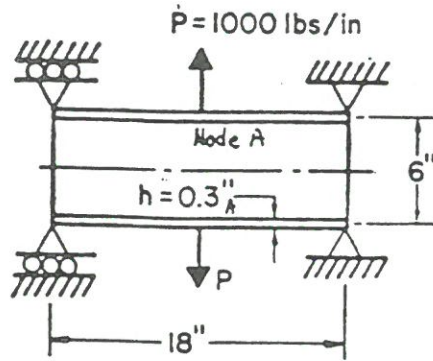


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

SLSAP과 SAP IV의 외팔보에서 휨 모멘트 비교
(SLSAP 검증 예제 7)

그림 3A.10-9

()

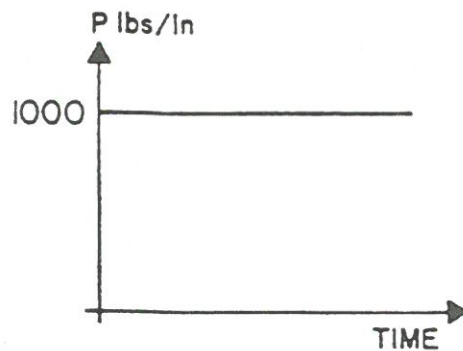


$$E = 30 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$$

$$\nu = 0.3$$

$$\rho = 3.663 \times 10^{-2} \text{ lbs} \cdot \text{sec}^2/\text{in}^4$$

d) CYLINDRICAL TUBE



b) TIME VARIATION OF LOAD

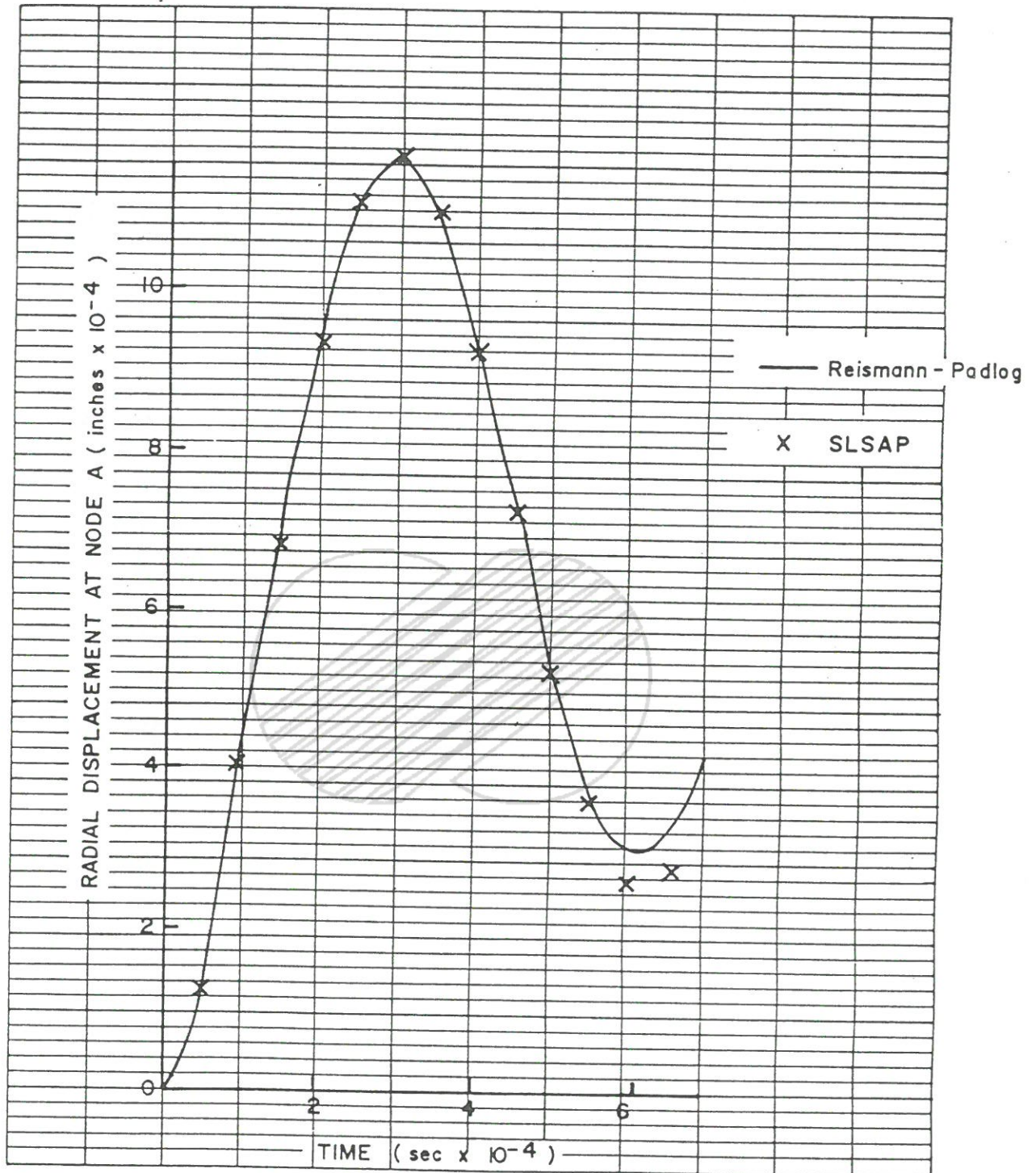


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

중첩법 및 직접 적분 해석을 위한 SLSAP 및
SAP IV의 원통형 관 및 하중 시간이력
(SLSAP 검증 예제 8)

그림 3A.10-10

()

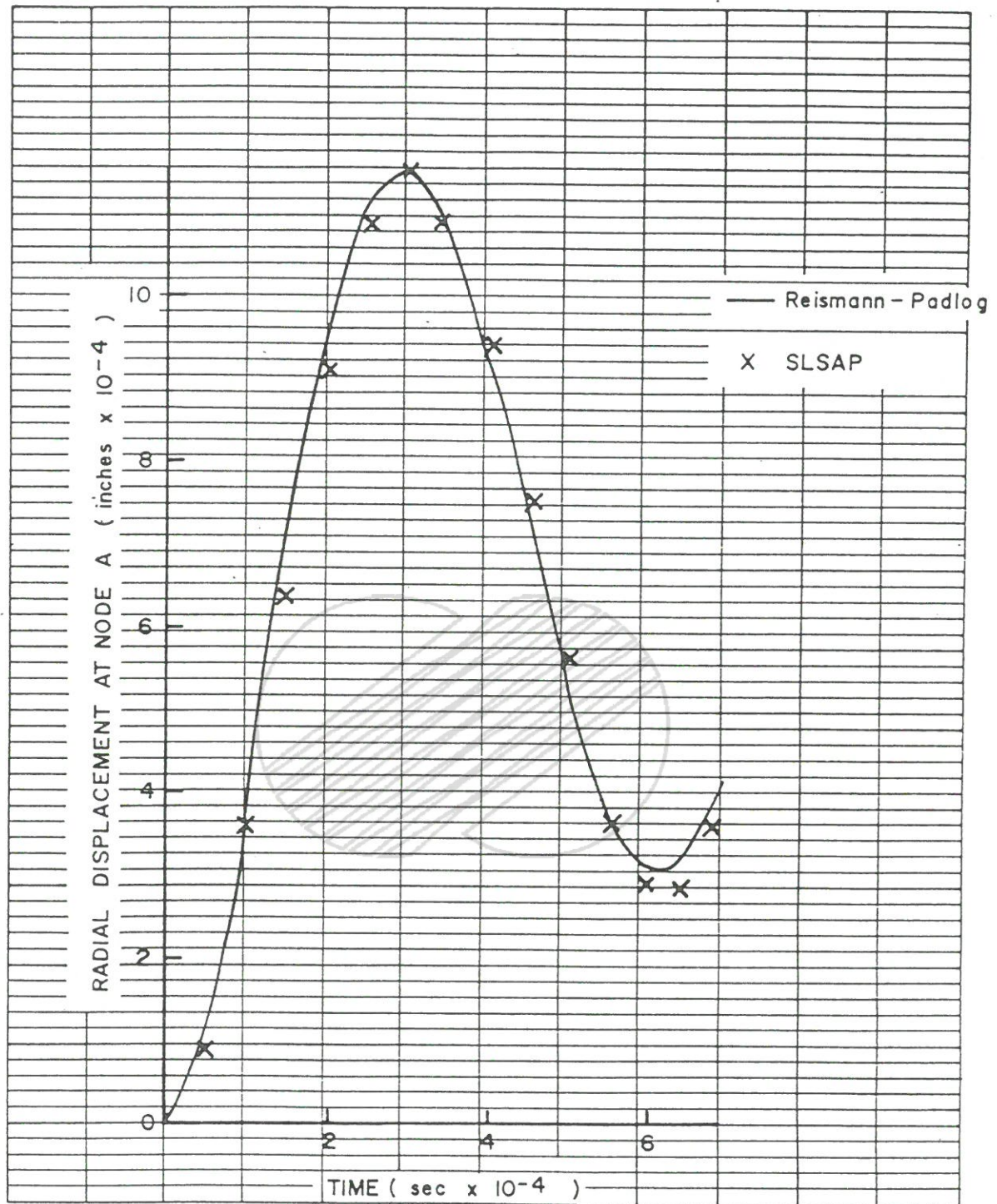


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

원통형 관에서 SLSAP 중첩법과 참고 문헌 6의
변위 비교 (SLSAP 검증 예제 8)

그림 3A.10-11

()

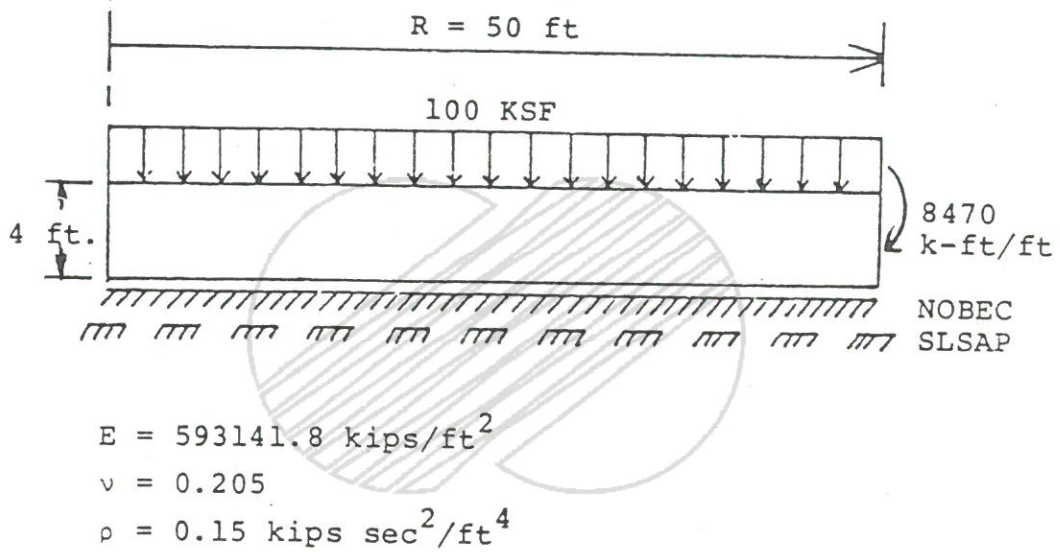


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

원통형 관에서 SLSAP 직접 적분법과 참고 문헌
6의 변위 비교 (SLSAP 검증 예제 8)

그림 3A.10-12

()

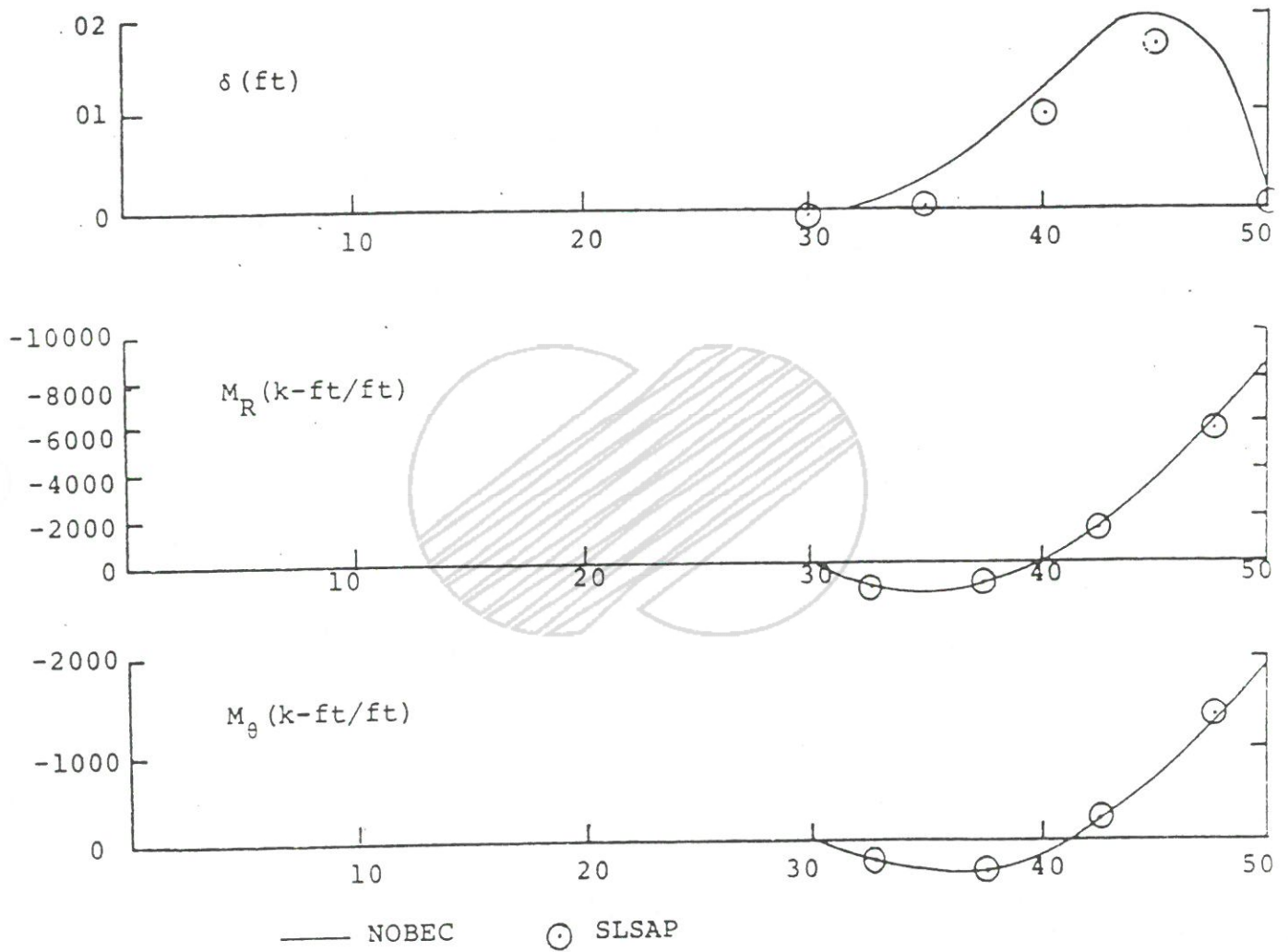


한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

SLSAP과 NOBEC을 위한 견고한 지반 위의 원형판
(SLSAP 검증 예제 9)

그림 3A.10-13

()



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

SLSAP과 NOBEC의 원형판 해석에 대한 변위 및
모멘트 비교 (SLSAP 검증 예제 9)

그림 3A.10-14

()

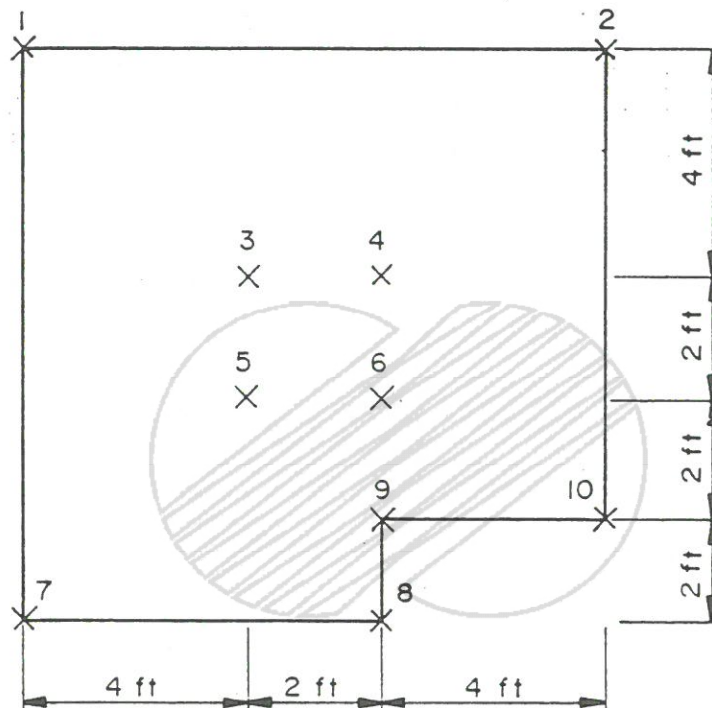


Plate thickness $h_p = 2 \text{ ft}$
 Plate elasticity modulus $E_p = 468000 \text{ kips/ft}^2$
 Soil modulus $K_s = 100 \text{ kips/ft}^2/\text{ft}$
 Point loads $P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = 132.5 \text{ kips}$

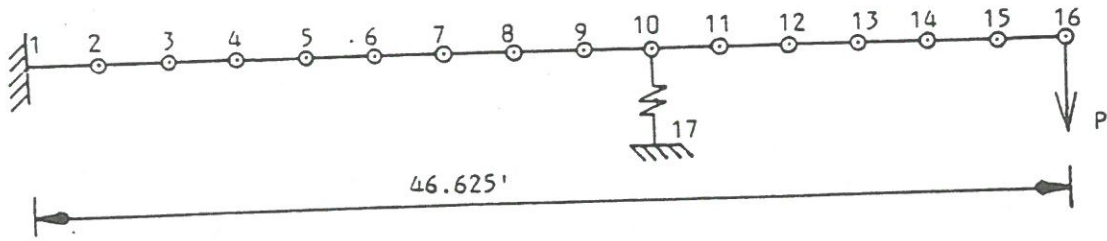


한국수력원자력주식회사
 영광 5, 6 호기
 최종안전성분석보고서

SLSAP과 참고 문헌 8에서 탄성 지반 위의 평판
 (SLSAP 검증 예제 10)

그림 3A.10-15

()



Beam Properties

$$I = 0.097 \text{ ft}^4; A = 0.195 \text{ ft}^2$$

$$E = 4.0752 \times 10^9 \text{ lb/ft}^2$$

$$\rho = 0.0 \text{ lb-sec}^2/\text{ft}^4$$

$$\omega_1 = 9.18 \text{ rad/sec}; \lambda_1 = 0.02$$

$$\omega_2 = 3470 \text{ rad/sec}; \lambda_2 = 0.02$$

Spring Properties

$$k = 12.0 \times 10^4 \text{ lb/ft}$$

$$\omega_1 = 9.18 \text{ rad/sec}; \lambda_1 = 0.5$$

$$\omega_2 = 3470 \text{ rad/sec}; \lambda_2 = 0.5$$

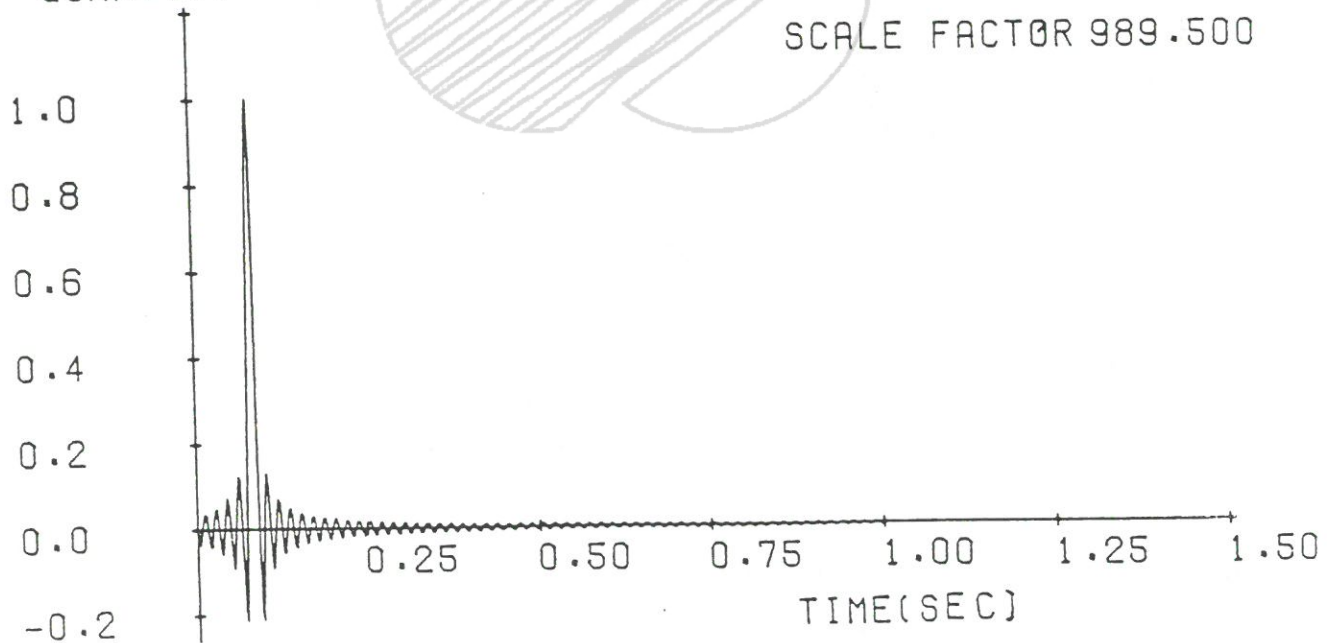
Translational nodal masses: m_2, m_3, \dots, m_{16} in $\text{lb-sec}^2/\text{ft}$ are 9.721; 9.38; 8.82; 8.26; 8.82; 8.82; 8.82; 8.82; 11.15; 9.07; 18.42; 29.29; 29.32; 29.32; 14.7.

Rotational nodal masses: m_2, m_3, \dots, m_{16} are 5.56; 4.87; 4.21; 3.36; 4.01; 4.01; 4.01; 4.01; 5.48; 4.72; 3.71; 4.92; 4.92; 4.92; 2.46.

For all nodal masses, $\alpha = 0.3662$.

NORMALIZED
QUANTITY

SCALE FACTOR 989.500

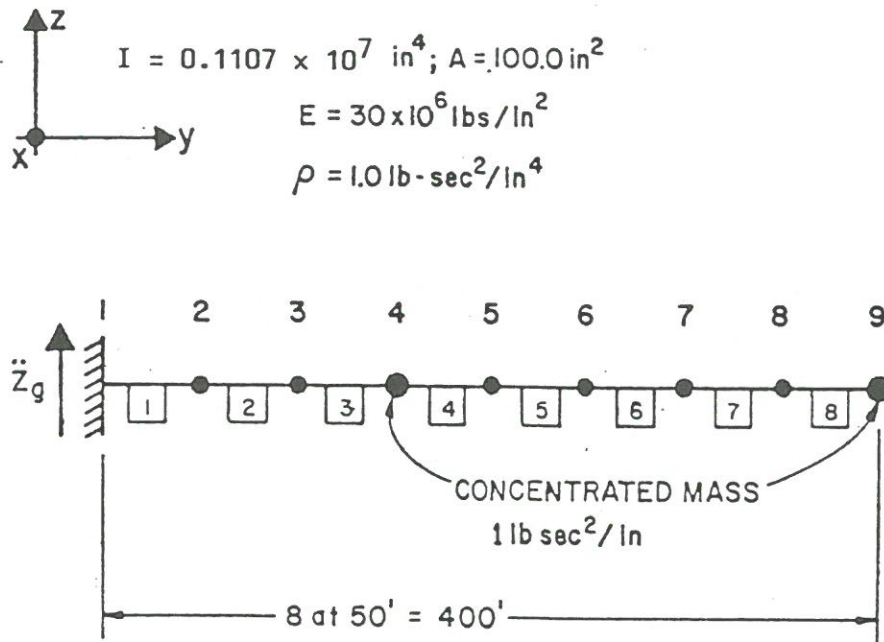


한국수력원자력주식회사
영광 5.6 호기
최종안전성분석보고서

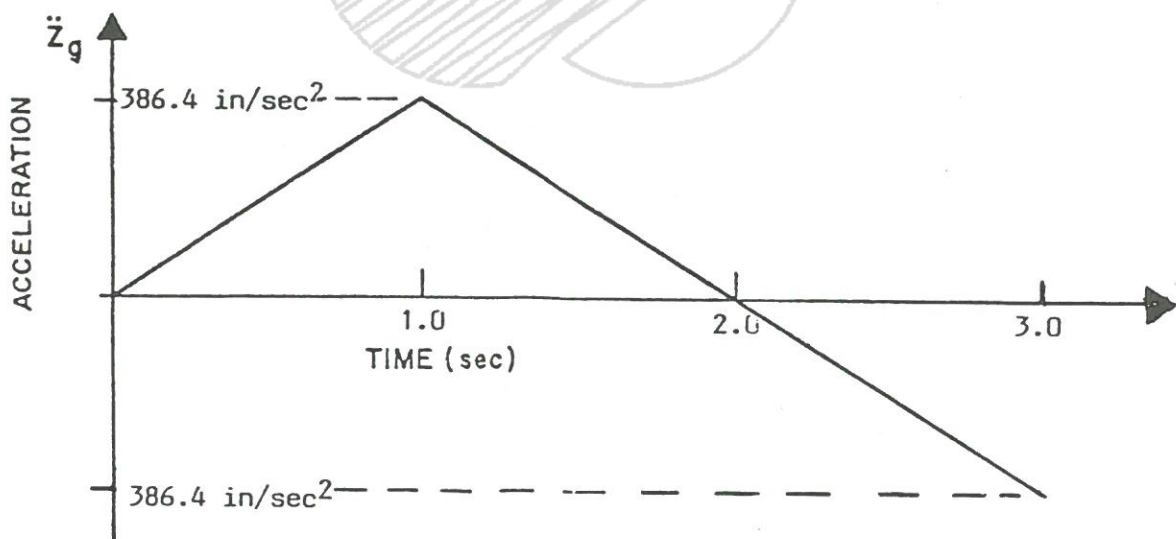
Newmark - β 방법과 가변 감쇠를 적용한 SLSAP
직접 적분을 위한 모델 및 시간에 따라 변하는 하중
(SLSAP 검증 예제 11)

그림 3A.10-16

()



(a) NODE AND BEAM NUMBER ASSIGNMENTS FOR THE CANTILEVER MODEL



(b) GROUND ACCELERATION APPLIED AT NODE 1



한국수력원자력주식회사
 영광 5, 6 호기
 최종안전성분석보고서

외팔보의 직접 적분 이력 해석
 (SLSAP 검증 예제 12)

그림 3A.10-17

()

Properties

$l = 240 \text{ in.}$

$h = 14 \text{ in.}$

$A = 273.9726 \text{ in.}^2$

$I_Z = 333.333 \text{ in.}^4$

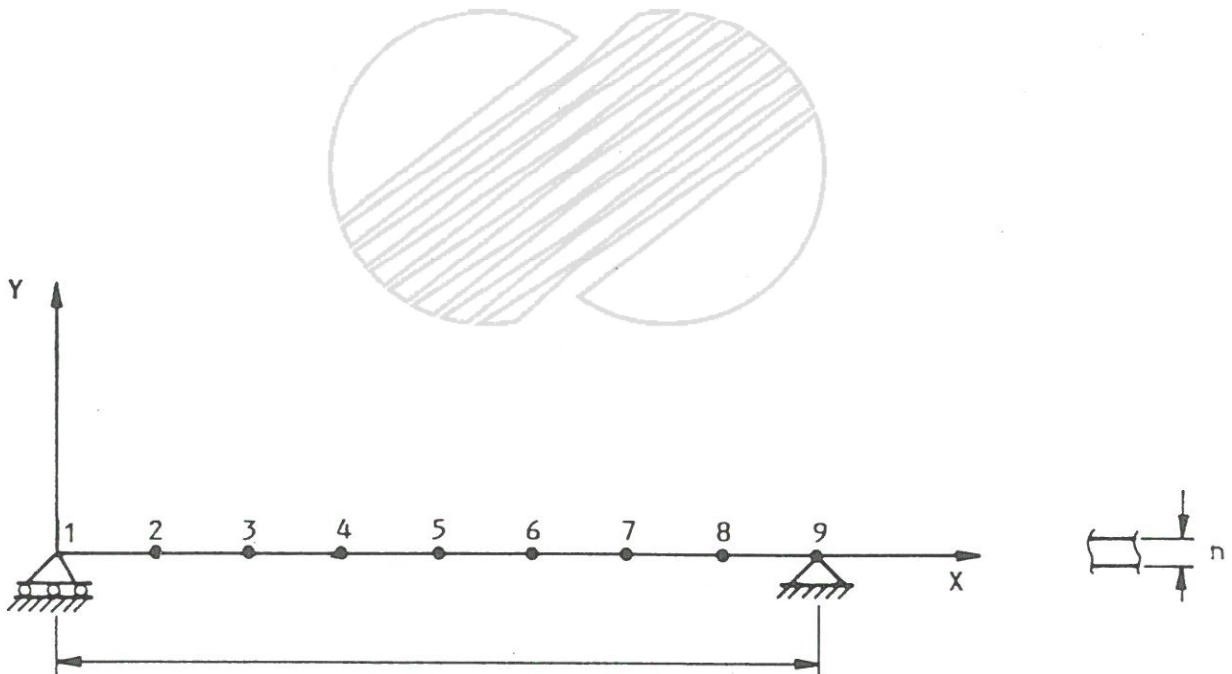
$I_Y = 666.666 \text{ in.}^4$

$E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$

$\rho = 0.00073 \text{ lb-sec}^2/\text{in.}^4$

Input spectrum

<u>Period, sec.</u>	<u>Displacement, in.</u>
0.0	0.44
10.0	0.44



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

응답스펙트럼 해석을 위한 유한요소 모델 및
입력 스펙트럼 (SLSAP 검증 예제 13)

그림 3A.10-18

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.11 SLSTRU DL

SLSTRU DL(Stuctural Design Language)은 주로 골조 및 트러스 구조의 정적 해석에 사용되나 이 프로그램은 강성 매트릭스 방법을 사용하여 구조물의 유한 요소법을 위한 선형, 정적, 동적 해석을 가능하게 해주며 비선형 정적 문제 및 안정 문제도 다룰 수 있다.

이 프로그램은 평면 트러스와 골조, Grid 및 탄성체, 공간 트러스 및 골조, 혹은 임의의 하중을 받는 3차원 탄성체, 온도 변화나 특정 변위 해석도 가능하며, 지진 가속도 또는 시간 이력 하중은 동적 해석에 의해 사용될 수 있다. 비등방성 재료도 또한 해석될 수 있으며, 해석 이외에도 AISC Code에 따른 강구조 설계와 ACI Code에 따른 철근 및 프리스트레스트 콘크리트 설계도 가능하게 해준다.

해석결과치는 유한 요소의 형태와 수행되는 해석에 따라 변위와 부재 하중과 모멘트 또는 요소 응력과 모멘트가 포함되며, 고유치, 고유 벡터와 시간 이력 응답 또는 절점 응답은 동적 해석으로 얻어질 수 있으며, 설계 부분에 사용되면 부재도 선택할 수 있다.

SLSTRU DL은 MIT(Massachusetts Institute of Technology)의 ICES(Integrated Civil Engineering System)에 의해 개발되었다 (참고문헌 1).

이 프로그램은 1968년 이후로 대중적으로 사용되고 있고, 2개의 version이 현재 사용되고 있는데, 하나는 IBM 370 시리즈 하드웨어용으로 McDonnell Douglas Automation Company에 의해 사용되고 있으며 (참고문헌 2), 또 하나는 1100 시리즈 하드웨어용으로 UNISYS에 의해 사용되고 있다 (참고문헌 3).

영광 5.6호기 최종안전성분석보고서

참고문헌

1. Logcher, R.D., et al., "ICES STRUDL II, The Structural Design Language Engineering User's Manual", Department of Civil Engineering, M.I.T., 1st ed, Nov. 1968.
2. "ICES STRUDL Improvements", McDonnell Douglas Automation Company, Feb. 1973.
3. "ICES Application Brief", UNIVAC Marketing Support, Sperry Rand Corporation, 1972.



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.12 TEMCO/PC

TEMCO/PC(Reinforced Concrete Section Under Eccentric Loads and Thermal Gradients/PC Version)는 개별 하중 또는 기계적 하중과 열 하중의 조합 하중을 받는 철근 콘크리트 단면의 해석에 사용되는 전산 프로그램이다. 본 프로그램은 열 하중 또는 기계적 하중(축 하중, 1축 휨, 2축 휨)을 받는 보, 기둥, 슬래브 및 격납 건물 등의 철근 콘크리트 단면 해석에 사용된다. 온도의 영향은 변형 제한으로 인해 반력 형태로 단면에 발생한다. 축 하중과 2축 휨 하중이 동시에 작용할 경우는 열 하중을 고려할 수 없다. 변형률의 분포는 단면을 가로질러 비례한다고 가정한다. 본 프로그램은 균열 단면 해석 또는 비균열 단면 해석을 할 수 있으며, 재료 특성은 선형 또는 비선형 어떤 형태로도 가능하다. 또한 직사각형 단면 및 불규칙 단면의 해석이 가능하며 콘크리트에 부착된 라이너의 열팽창 효과도 고려할 수 있다. 단, 이 경우 라이너는 비구조재로서 강성을 갖지 않는다고 가정한다. TEMCO/PC는 온도에 따라 특성이 변하는 재료, 합성 단면 및 단면을 가로지르는 비선형 온도 변화도 고려할 수 있다.

균열 단면 해석에서 열 하중은 단면의 균열 깊이에 비례하여 자체 소멸 형식으로 고려되며, 다른 모든 기계적 하중은 콘크리트 균열에 의한 영향을 받지 않는다. 기계적 하중에서 중립면의 변형 및 변형 곡선은 평형을 만족시키기 위한 반복 절차에 의하여 결정된다.

기계적 하중과 열 하중으로 구성된 일반적 형태의 하중 작용의 경우, 열 영향으로 인한 모멘트는 균열로 인해 소멸되며 따라서 더 이상의 곡률 변화는 발생되지 않는다. 열 하중이 자유 열 팽창에 의하여 완전히 소멸될 경우 중립면의 변형률은 평형 조건이 만족될 때까지 반복 절차에 의하여 결정된다. 또한 열 하중이 균열에 의하여 소멸될 경우 실제 중립면의 변형률 및 곡률이 주어지고 그에 상응하는 응력 결과치에 의해 소멸된 힘과 모멘트가 결정된다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

입력 자료는 단면의 치수, 각 층별 철근의 면적 및 위치, 하중, 하중 조합 그리고 재료 특성치로 구성된다.

출력은 입력 자료의 인쇄, 조합 하중, 중립축의 최종 위치, 최종 내부 하중과 철근 및 콘크리트의 응력으로 구성된다. 또한 열 하중을 고려하지 않은 상태의 중간 과정도 선택적으로 출력할 수 있다.

TEMCO는 1972년 Sargent & Lundy사가 개발하여 UNISYS 1100 시리즈 하드웨어에 장착되었으며, 영광 3,4호기 설계에 기 사용된 바 있으며, 현재 PC Version화 되어 사용되고 있다.

TEMCO/PC 검증을 위하여 프로그램 해석결과를 수계산 및 실험 결과와 비교하였다. 9개의 예제를 선택하였으며 각 예제에 대한 단면 및 재료 특성, 작용 하중은 표 3A.12-1, 3A.12-3, 3A.12-5, 3A.12-7, 3A.12-9, 3A.12-10, 3A.12-12에 나타나 있다.

첫번째 예제는 2개 층의 철근이 배근된 보 단면에 대한 해석으로서 단면의 중심에 압축력, 휨 모멘트, 온도 경사의 하중을 받는다. 비선형 재료 특성을 가정하여 균열 단면 해석을 수행하였다.

두번째와 세번째 예제는 단면의 중심에 인장력, 휨 모멘트, 온도 경사의 하중을 받는 2개 층의 철근이 배근된 보 단면에 대한 해석으로 두번째 예제는 비선형 재료 특성, 세번째 예제는 선형 재료 특성을 각각 사용하여 균열 단면 해석을 수행하였다.

네번째 예제는 인장력 및 2축 휨을 받는 10개 층의 철근을 갖는 보 단면의 경우로서 비선형 재료 특성에 대한 균열 단면 해석을 수행하였다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

다섯번째 예제는 비선형 재료 특성을 갖는 벽체 양면에 라이너가 부착된 단면의 경우로서 열 하중 및 기계적 하중 작용시 자오선 방향과 원주 방향간의 상호 작용을 무시하고 해석을 수행하였다.

여섯번째 예제는 비선형 온도 변화를 받는 보 단면의 경우로서 비선형 재료 특성을 가정하여 해석을 수행하였다.

첫번째부터 여섯번째 문제에 대한 수계산 절차는 다음과 같다.

- 가. 중립축의 위치 및 응력 분포는 주어진 기계적 하중 하에서 프로그램에 의해 계산된 값과 동일하다고 가정한다.
- 나. 주어진 기계적 하중하의 변형률 분포를 계산한다.
- 다. 적절한 응력-변형률 관계를 사용하여 적분에 의해 최종응력을 계산한다.
- 라. 외부 기계적 하중과 평형 관계를 검사한다.
- 마. 평형이 이루어지면 열 하중에 의한 단면에 변형을 계산한다.
- 바. 기계적 변형으로부터 열 하중에 의한 변형을 제하여 최종 변형을 계산한다.
- 사. 자유 열 팽창의 경우 평형이 만족되고 곡률이 일정하게 유지되도록 새로운 축 방향 변형률을 계산한다.
- 아. 적절한 응력-변형률 관계를 사용하여 적분에 의해 최종 응력을 계산한다.

영광 5.6호기 최종안전성분석보고서

자. 열 하중을 계산한다.

차. 평형 관계를 검사한 후 수계산 결과와 프로그램 결과를 비교한다.

TEMCO/PC 해석결과와 위 절차에 따른 수계산 결과의 비교는 표 3A.12-2, 3A.12-4, 3A.12-6, 3A.12-8에 나타나 있다.

일곱번째 예제는 표 3A.12-9에 기술된 바와 같이 평면내 전단과 2축 인장력을 받는 평판 단면의 두(2) 직교 방향을 따라 응력 및 변형률의 상호 작용을 고려한 균열 단면 해석을 수행한 것이다. TEMCO/PC의 해석결과는 참고문헌 1의 실험 결과와 비교하였으며 그림 3A.12-1에 나타내었다.

여덟번째 예제는 표 3A.12-10에 기술된 바와 같이 평면내 하중과 휨 모멘트를 받는 평판 단면의 두(2) 직교 방향을 따라 응력 및 변형률의 상호 작용을 고려한 균열 단면 해석을 수행한 것이다. TEMCO/PC의 해석결과는 참고문헌 2의 결과와 비교하였으며 표 3A.12-11에 나타내었다.

아홉번째 예제는 표 3A.12-12에 기술된 바와 같이 온도 경사, 2축 압축력, 휨 모멘트를 받는 작은 포아손비($\mu_c = 0.001$)을 갖는 평판 단면에 대한 균열 단면해석을 수행한 것이다. TEMCO/PC의 해석결과는 참고문헌 3의 결과와 비교하였으며 표 3A.12-13에 나타내었다.

앞에서 언급한 9개 예제에서 TEMCO/PC의 해석결과는 수계산 또는 시험 결과 등과 잘 일치한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

참고문헌

1. Vecchico F. and Collins M. P., "The Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stresses", University of Toronto Publication No. 82-03, March 1982.
2. Berg S., Bergan P. G. and Holland I., "Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Plates", 2nd SMIRT Conference, Sept. 1973.
3. Pajuhesh J., "Thermal Relaxation in Concrete Structures", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 73, No. 9, Sept. 1976.

()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-1

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 3가지 콘크리트 단면에 대한 입력 자료



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-2

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 3가지 콘크리트 단면에 대한 해석결과

<u>해석결과</u>	<u>예제 1</u>	<u>예제 2</u>	<u>예제 3</u>
Equilibrating axial force given by TEMCO/PC (kips)	-38.25	76.53	34.65
Equilibrating axial force computed by hand (kips)	-38.253	76.53	34.65
Equilibrating bending moment given by TEMCO/PC (ft-kips)	129.75	-9.49	206.25
Equilibrating bending moment computed by hand (ft-kips)	129.752	-9.493	206.25
Thermal moment given by TEMCO/PC (ft-kips)	-54.58	-21.07	-137.75
Thermal moment computed by hand (ft-kips)	-54.585	-21.071	-137.757

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-3

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 인장력 및
두 방향 휨을 받는 단면에 대한 입력 자료



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-4

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 인장력 및
두 방향 휨을 받는 단면에 대한 해석결과

해석결과예제 4

Equilibrating axial force given by TEMCO/PC (kips)	20.999
Equilibrating axial force computed by hand (kips)	22.733
Equilibrating x bending moment given by TEMCO/PC (ft-kips)	125.000
Equilibrating x bending moment computed by hand (ft-kips)	124.630
Equilibrating y bending moment given by TEMCO/PC (ft-kips)	125.000
Equilibrating y bending moment computed by hand (ft-kips)	123.753

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-5 (2 중 1)

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 온도 하중을 받는
단면에 대한 입력 자료



()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-5 (2 중 2)



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-6

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 온도 하중이 작용하는 경우와
작용하지 않는 경우에 대한 해석결과

<u>해석결과</u>	<u>예제 5</u>		
Equilibrating axial force given by program (kips)	297.17		
Equilibrating axial force computed by hand (kips)	299.759		
Equilibrating bending moment given by program (ft-kips)	135.26		
Equilibrating bending moment computed by hand (ft-kips)	136.44		
	<u>Service</u>	<u>Factored</u>	
Required transverse shear reinforcement area by program (in. ²)	0.954	0.657	
Required transverse shear reinforcement area computed by hand (in. ²)	0.954	0.657	
Required tangential shear reinforcement area given by program (in. ²)	0.679	0.220	
Required tangential shear reinforcement area computed by hand (in. ²)	0.679	0.221	

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-7

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 비선형
온도 하중을 받는 단면에 대한 입력 자료



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-8

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 비선형 온도 하중을
받는 단면에 대한 해석결과

해석결과예제 6

Strain at y = -35.46 in.	
- given by program	0.000230
- computed by hand	0.000233
Strain at y = 35.46 in.	
- given by program	-0.00430
- computed by hand	-0.00434
Concrete stress at y = -35.46 in.	
- given by program (kips/in. ²)	0.746
- computed by hand	0.747
Steel stress at y = -2746 in.	
- given by program (kips/in. ²)	2.036
- computed by hand (kips/in. ²)	2.002
Steel strain at y = -22.48 in.	
- given by program (kips/in. ²)	-12.945
- computed by hand (kips/in. ²)	-12.899
Thermal moment	
- given by program (ft-kips)	-235.14
- computed by hand (ft-kips)	-235.05
Thermal force	
- given by program	0.00
- computed by hand	0.41

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-9

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 단면내 전단력 및 양측
인장력을 받는 단면에 대한 입력 자료



()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-10 (2 중 1)

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 휨 및 단면내 힘을
받는 단면에 대한 입력 자료



()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-10 (2 중 2)



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-11

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 휨 및 단면내 힘을 받는
단면에 대한 해석결과 비교

<u>예제 8에 대한 해석결과</u>	<u>TEMCO/PC</u>	<u>참고문헌 2</u>
Inside meridional tension strain	0.00084	0.00096
Inside hoop compression strain	0.00029	0.00026
Inside shear strain	0.00033	0.00037
Outside meridional compression strain	0.00216	0.00235
Outside hoop compression strain	0.00008	0.00012
Outside shear strain	0.00051	0.00055
Inside meridional compression stress (kips/in. ²)	0.016	0.026
Inside hoop compression stress (kips/in. ²)	0.77	0.72
Inside shear stress (kips/in. ²)	0.11	0.14
Outside meridional compression stress (kips/in. ²)	2.81	2.75
Outside hoop compression stress (kips/in. ²)	0.88	0.88
Outside shear stress (kips/in. ²)	0.24	0.25
First meridional steel layer tension stress (kips/in. ²)	9.8	11.7
Second meridional steel layer compression stress (kips/in. ²)	42.0	45.5
First hoop steel layer compression stress (kips/in. ²)	6.1	5.8
Second hoop steel layer compression stress (kips/in. ²)	2.9	3.6

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-12

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 온도차가 있는 단면에 대한 입력 자료



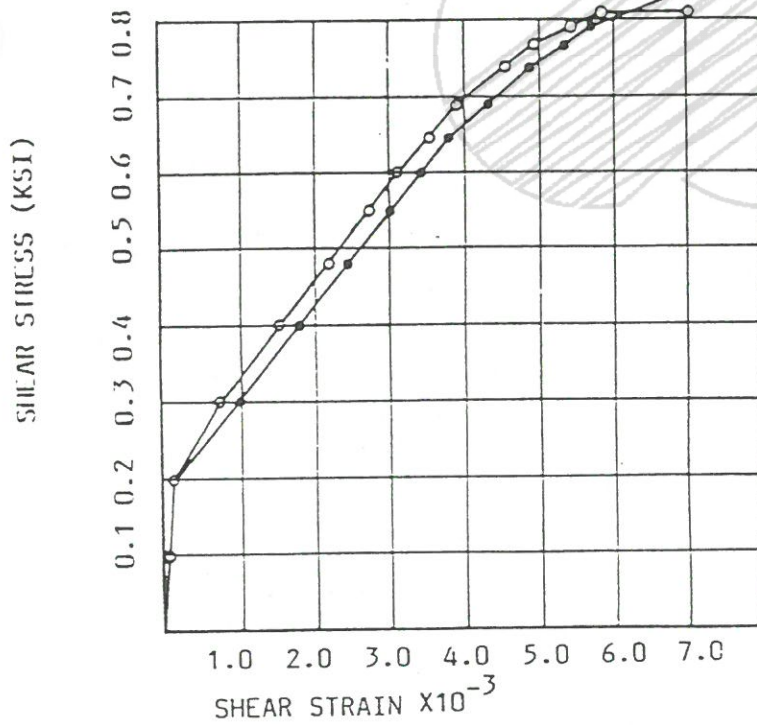
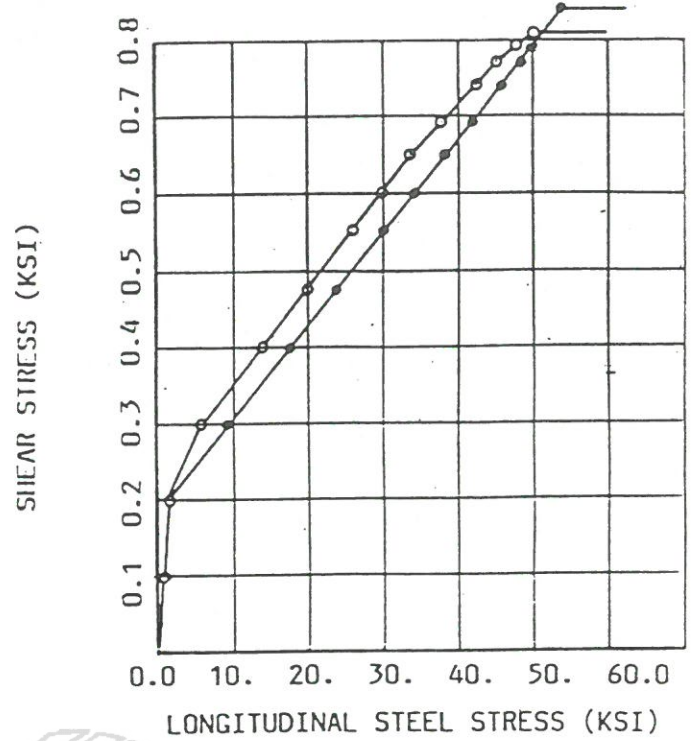
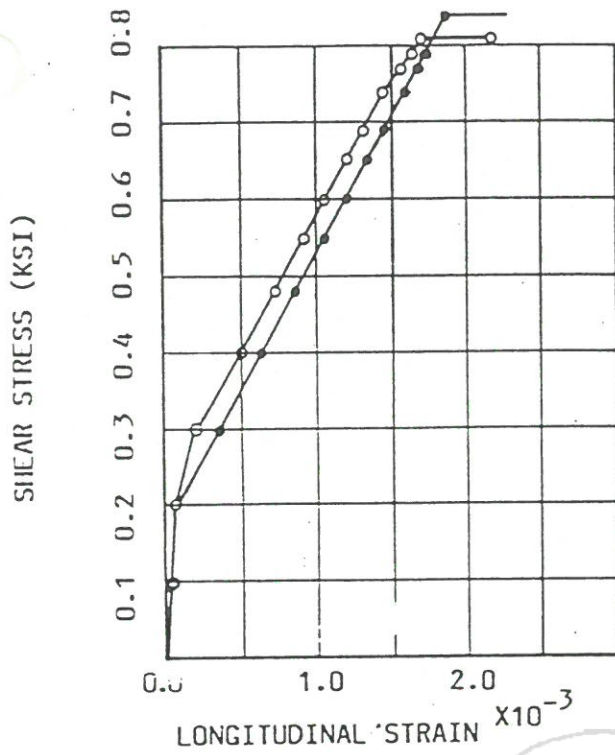
영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 3A.12-13

TEMCO/PC 프로그램의 검증을 위한 온도차가 있는
단면에 대한 해석결과 비교

	<u>TEMCO/PC</u>	<u>참고문헌 3</u>
Concrete inside compressive strain	0.00075	0.00075
Reinforcing steel tensile strain	0.00182	0.00183
Concrete inside compressive stress (kips/in. ²)	2.07	2.07
Reinforcing steel tensile stress (kips/in. ²)	52.8	54.0
Total internal (thermal plus nonthermal) bending moment (ft-kips/ft)	302.1	305.0
Thermal bending moment (ft-kips/ft)	38.1	41.0

()



—○— EXPERIMENTAL
(REFERENCE 1)
—●— TEMCO



한국수력원자력주식회사
영광 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

TEMCO 검증 예제 7의 실험 결과와의 비교

그림 3A.12-1

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.13 PENAN

PENAN은 축방향에 대칭인 회전체의 해석을 다루며, 이것은 온도에 종속적인 직방성 재료로 이루어졌으며, 열과 하중에 대하여 비대칭이며 시간에 대하여 종속적이다.

이 프로그램의 구조는 주로 두(2) 종류의 축대칭 유한 요소 프로그램을 수정하여 작성하였다. 두(2) 프로그램은 아래와 같으며

1. NOHEAT(Nonlinear Heat Transfer Analysis Program) - by I. Farhoomand & E. Wilson 작성
2. ASAL(Finite Elements Analysis-Axisymmetric Solids with Arbitrary Loads) - Dunham & Nickell 작성

각 프로그램의 중요한 특징은 다음과 같다.

- 가. PENAN은 여러 가지 종류의 관통부 집합체에 대한 유한 요소 체는 생성과 작성을 자동적으로 할 수 있도록 설계되었다.
- 나. ASME 항목 3에 있는 모든 온도-종속적인 기계 및 온도 성질(피로 설계 변수 포함)들을 포함하는 재료 성질 자료들이 만들어져 있다.
- 다. 여러 기준 즉 정의된 하중 범위에 대하여 최적 하중과 하중 조합 범위를 형성시켜주며, 모든 비대칭 적용 하중에 대하여 Fourier 급수의 계수를 발생시켜 준다.
- 라. 이 프로그램은 모든 응력 범위에 대하여 허용 응력을 계산, 비교하며, 관통부 집합체 응력 해석 보고서를 출력한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.14 SAP90 및 SAP2000

SAP90과 SAP2000은 개인용 전산기 환경하에서 유한 요소법을 적용하여 구조물 해석을 수행하는 전산 프로그램이다. 이 전산 프로그램은 다음과 같은 주요 기능을 제공한다.

- 자동 모델 생성 : 복잡한 2차원 혹은 3차원 모델을 화면상에서 표현
- 정적 해석 : 입력 자료의 정확성을 검사하는 전처리 기능과 뼈대 요소를 사용한 정적 해석
- 동적 해석 : 고유치 해석, 시간 이력 및 응답 스펙트럼 해석 기능
- 유한 요소 해석 : 쉘, 고체(asolid, solid) 요소를 포함하여 해석
- 그래픽 기능 : 해석 모델에 대한 원형도 및 변형도와 모드 형태, 뼈대 요소의 모멘트 및 전단력 분포도와 그 밖의 다른 요소들에 대한 응력 분포도를 보임
- 강구조 설계 : AISC 규정에 따른 각종 형태의 강구조물의 설계 기능 수행
- 콘크리트 설계 : ACI 규정에 따른 콘크리트 구조물의 설계 기능 수행

이 전산 프로그램은 온도 하중, 압력 하중, 사하중, 집중 하중 등과 같은 하중 조건에 대하여 절점 변위 및 요소 응력 등을 계산한다.

SAP 프로그램은 1968년 미국 버클리에 있는 캘리포니아 대학의 E. L. Wilson 교수에 의해 처음 개발되어 그 동안 여러 차례의 보완을 거쳐 상업용 PC version인 SAP90 및 SAP 2000으로 발전하였다.

SAP90 및 SAP2000은 다층 구조물의 정적 및 동적 해석, 3차원 프레임에 대한 동하중, 쉘 요소 및 육면체 요소에 대한 정적 및 동하중 등 여러 분야에서 기 검증되었으며 다음의 참고 문헌에 잘 나타나 있다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

참고문헌

1. "Structural Analysis Verification Manual," SAP 90 Verification Manual, Berkeley, California, 1985.
2. "Static and Dynamic Analysis of Multistory Frame Structure Using DYNAMIC/EASE 2," Engineering Analysis Corporation and Computers/Structures International.
3. Peterson, F. E., "EASE 2, Elastic Analysis for Structural Engineering, Example Problem Manual," Engineering Analysis Corporation, Berkeley, California, 1981.
4. MacNeal, R. H. and Harder, R. C., "A Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy," Finite Elements in Analysis and Design 1 (1985).
5. Scordelis, A. C. and Lo, K. S., "Computer Analysis of Cylindrical Shells," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 61, May 1964.
6. Albassiny, E. L. and Martin, D. W., "Bending and Membrane Equilibrium in Cooling Towers," Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE 93, EM3, 1967.
7. Timoshenko, S. and Goodier, J. N., "Theory of Elasticity", McGraw-Hill, 1961.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.15 GRSTRUDL

GTSTRUDL은 CAED(Computer Aided Engineering & Design)용으로 개발되어진 범용 구조해석 및 설계용 소프트웨어로서 Data Base 개념에 의해 정보를 보관하여 사용자에게 정확하고 완벽한 기술정보를 제공받을 수 있는 효율적이고 신뢰성있는 통합 구조정보 처리 시스템이다.

구조물의 선형 및 비선형 정적해석, 선형 동적 해석, 강구조 및 철근콘크리트구조물 설계등 적용분야가 다양하며, 또한 각종 강력한 기능을 통하여 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 전산프로그램이다.

이 전산 프로그램은 다음과 같은 주요 기능을 제공한다.

- 정적골조구조해석, 충격해석, 진동해석, 지진해석등 다양한 정/동적해석기능이 있으며, 강구조 및 유한요소해석시 부재형태와 요소에 관계없이 서로 결합 가능하며 PROBLEM 크기에 전혀 제한을 받지 않음.
- 철골구조설계 시 부재 최적설계 및 코드검토 기능과 KS규격표 및 각종 설계코드(AISC, BRITISH STANDARD, ASCE, ASME/NF17, API, AWS)의 설계변수들이 제공되므로 설계적용 코드에 따라 자유로운 선택이 가능하며 또한 상세 DESIGN SUMMARY 및 철골 물량 산출 기능을 제공함.
- DATA BASE를 통한 GTSTRUDL 사용상의 모든 정보의 저장 및 복원이 가능하며, 데이터의 수정, 삭제, 조회 등의 구현, 해석결과의 선택적인 DISPLY, CAD 프로그램 및 타 구조해석 프로그램과의 호환이 가능함.
- 메뉴방식의 GRAPHIC INPUT GENERATOR로서 모델링을 위해 GRAPHICS MODELER 기능이 있

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

으며 이를 이용하여 데이터의 첨가, 수정, 삭제작업 등이 용이하며, 기존 자료에 대한 정보조회 및 모델의 CONSISTENCY CHECK기능이 있음.

GTSTRUDL은 1966년 건설 및 엔지니어링분야의 소프트웨어 부재로 인하여 그 필요성이 인식되면서 미국 정부의 도움을 받아 MIT 공대에서 ICES-STRUDL이란 이름으로 최초 개발되었으며 1975년 이후, 조지아공대(GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY)에서 이를 수정, 보완, 개발시켜 현재의 GTSTRUDL에 이르게 되었다.

참고문헌

1. Logcher, R.D., et al., "ICES STRUDL II, The Structural Design Language engineering User's Manual," Department of Civil Engineering, M.I.T., 1sted, Nov. 1968.
2. "ICES STRUDL Improvements," McDonnell Douglas Automation Company, Feb. 1973.
3. "ICES Application Brief," UNIVAC Marketing Support, Sperry Rand Corporation, 1972.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3A.16 STAAD III

구조해석 및 설계용 전산프로그램 STAAD III는 해석과 설계를 일괄 처리할 수 있는 프로그램으로서 사용이 용이하고 다양한 문제에 적용가능한 특성이 있다. 이 전산프로그램은 주로 강철뼈대구조(Frame)와 트러스의 정적해석에 사용된다. 또한, 이 프로그램은 강성매트릭스법(Stiffness Matrix Method)을 이용한 구조물의 유한요소화를 통해 선형정적해석 및 선형동적해석을 수행할 수 있으며, 비선형 정적해석도 가능하다.

정적해석시 구조물은 요소들의 집합체로서 이상화시킬 수 있다. 이 프로그램은 혼합 유한요소공식(Hybrid Finite Element Formulation)으로서 구성되는 판유한요소(Plate Finite Element)의 판/셸 요소와 강철뼈대로서 혼합구성된 구조물의 해석 및 설계가 가능하다. 이것은 평면 응력, 판의 휨(Plate Bending), 면외 전단 및 평면 삼절점/사절점 요소를 포함한다. STAAD III에서 강성해석은 매트릭스 변위법에 기초하고 있다.

$P-\Delta$ 해석은 하중 및 강성을 자동보정하는 STAAD III 프로그램에 의해 처리할 수 있다.

또한 STAAD III는 기하학적 비선형에 기초한 비선형해석을 수행할 수 있는 능력을 제공한다. 비선형해석의 알고리즘은 변위에 기초한 기하학적 강성의 보정과 이차하중이 반영된다.

이 프로그램이 제공하는 동적해석 가능범위는 자유진동문제, 응답 스펙트럼해석 및 강제진동해석 등이다. 응답스펙트럼해석시 모드응답들은 합응답(Resultant Responses)을 구하기 위해 사용되는 SRSS법(Square Root of the Sum of Squares) 또는 CQC법(Completed Quadratic Combination)을 사용하여 조합할 수 있다. 시간이력해석은 모드중첩법을 사용하여 수행할 수 있다.

STAAD III 프로그램은 해석과 더불어 강구조, 콘크리트 및 목재에 대해 광범위한 설계능

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

력을 갖추고 있다. 이 프로그램내에 데이터베이스화 되어 있는 설계기준은 AISC, AASHTO, ACI, AITC 등이다.

STAAD III는 CGUI(Current Engineering Graphics Interface)를 이용한 화면상의 동일 그래픽내에서 사용자가 모델을 작성하고, 해석/설계를 수행하며, 결과의 검토 및 자료의 정렬 등이 가능하도록 되어 있다. Live relational database는 모든 해석적 기능과 그래픽 기능을 통합하는 역할을 한다. 그리고 데이터를 CAD 프로그램과 상호 교환하는데 이용될 수 있다.

STAAD III는 DOS, Windows NT, Windows 95 및 UNIX 환경의 컴퓨터에서 사용가능하며 단독 혹은 네트워크환경내에서 해석을 수행할 수 있다. STAAD III 전산프로그램은 미국 캘리포니아 소재 Research Engineers, Inc.(REI)에 의해 개발된 프로그램이다.

참고문헌

1. "STAAD III for Windows Reference Manual", Research Engineers, Inc., Revision 21.0 W, December, 1995.

()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3B

관련 코드, 표준, 사양과의 일치 여부



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3B - 관련 코드, 표준, 사양과의 일치 여부목 차

		<u>페이지</u>
3B.0	적용 범위	3B-1
3B.1	ASME 코드 Sec. III, Division 2-1992, 콘크리트 격납건물에 대한 요건	3B-1
3B.2	ASME 코드 Sec. III, 일반요건	3B-2



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3B 관련 코드, 표준, 사양과의 일치 여부3B.0 적용 범위

본 부록은 표 3.8-1에 열거된 규격, 표준, 사양들에 대한 예외 사항 및 명확한 적용 한계를 기술한다. 표 3.8-1은 3.8.1.2절, 3.8.2.2절, 3.8.3.2절, 3.8.4.2절, 3.8.5.2절에서 참조한 규격, 표준, 사양들을 열거하고 있다.

본 부록에서 특별히 언급하지 않은 표 3.8-1의 규격, 표준, 사양들은 예외 사항 없이 그대로 적용된다.

3B.1 ASME 코드 Sec. III, Division 2-1992, 콘크리트 격납건물에 대한 요건

본 규격은 다음과 같은 예외 사항을 갖고 적용된다.

가. 본 규격의 CC-4121에서는 “콘크리트 격납건물의 시공자(또는 제작자)는 적절한 코드 부호 및 자료 보고서(Data Report)를 사용하여 자재가 CC-2000의 자재요건 및 CC-4000의 시공 요건을 만족하는지의 여부를 인증하여야 한다”고 기술하고 있다. 그러나 영광 5,6호기에서는 코드 스탬프(code stamp) 및 자료 보고서는 요구 대상에서 제외한다.

나. 본 규격의 부록 VII “콘크리트 검사자의 자격” 요건은 영광 5,6호기에서는 적용하지 않는다. 대신 다음의 자격 요건을 적용한다.

영광 5, 6호기 최종안전성분석보고서

구 분	학 력	경 력
Level III Concrete Inspector	대 졸	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술사 또는 토목기사 1 급 자격 취득 후 10 년 이상 ○ 5 년 이상 원전 건설 참여 ○ 3 년 이상 검사/시험업무 수행
	전문대졸	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술사 또는 토목기사 1 급 자격 취득 후 10 년 이상 ○ 7 년 이상 원전 건설 참여 ○ 3 년 이상 검사/시험업무 수행
Level II Concrete Inspector	대 졸	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1 년 이상 품질보증업무(검사/시험) 수행 ○ 훈련과정 이수
	전문대졸	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1 년 9 개월 이상 Level I 로 업무 수행 ○ 훈련과정 이수
	고 졸	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3 년 이상 Level I 로 업무 수행 ○ 훈련과정 이수
Level I Concrete Inspector	전문대졸	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3 개월 이상 검사/시험업무 수행 ○ 훈련과정 이수
	고 졸	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1 년 이상 검사/시험업무 수행 ○ 훈련과정 이수

3B.2 ASME 코드 Sec. III. 일반요건, NCA-1992 Edition 및 92, 93 Addenda

국내 제작용품의 (1) 제작자나 공급자, (2) ASME Sec. III 품목의 생산, 조립, 제작 및 설치에 대한 ASME 코드 Sec. III 일반요건은 아래와 같다.

NCA Code Reference	Item
NCA-3800 NCA-3900	품질체제인증(QSC)은 강제적용 요건이 아니다.
NCA-4000	ASME 인증서 취득은 강제적용 요건이 아니다, 단 RPE는 유지한다.
NCA-5000	조립/설치 및 관련되 공정은 미국기계학회(ASME)에서 요구하는 공인검사를 받거나 국내 공인검사기관으로부터 공인검사를 받아야 한다.
NCA-8000	코드 스탬핑은 필요하지 않고, CDR(Code Data Report)는 Facsimile Data Report로 대신할 수 있다.

()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3C

건설 재료 규격 및 품질 관리 절차



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3C - 건설 재료 규격 및 품질 관리 절차

목 차

	<u>페이지</u>
3C. <u>건설 재료 규격 및 품질 관리 절차</u>	3C. 0-1
3C.1 <u>콘크리트</u>	3C. 1-1
3C.1.1 일반 사항	3C. 1-1
3C.1.2 재료 요건과 품질 관리	3C. 1-1
3C.1.3 배합 설계	3C. 1-1
3C.1.4 콘크리트 특성	3C. 1-1
3C.1.5 계량, 혼합, 운반	3C. 1-1
3C.2 <u>철근</u>	3C. 2-1
3C.2.1 재료 요건	3C. 2-1
3C.2.2 철근의 제작	3C. 2-1
3C.2.3 철근의 이음	3C. 2-1
3C.3 <u>포스트텐서닝 계통</u>	3C. 3-1
3C.3.1 일반 사항	3C. 3-1
3C.3.2 재료	3C. 3-1
3C.4 <u>강 구조물</u>	3C. 4-1
3C.4.1 구조용 강 재료	3C. 4-1
3C.4.2 품질 관리	3C. 4-1
3C.5 <u>배면에 콘크리트가 있는 격납건물 내의 라이너 철판</u>	3C. 5-1
3C.5.1 일반 사항	3C. 5-1
3C.5.2 재료	3C. 5-1
3C.5.3 품질 관리	3C. 5-1



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

목 차 (계속)

	페이지
3C.5.3.1 용접부의 시험	3C.5-1
3C.5.3.2 제작 및 설치	3C.5-2
3C.6 <u>배면에 콘크리트가 없는 라이너 철판</u>	3C.6-1
3C.6.1 재료	3C.6-1
3C.6.2 품질 관리	3C.6-1
3C.6.2.1 시험	3C.6-1
3C.6.2.2 제작 및 설치	3C.6-2
3C.7 <u>스테인레스 수조용 철판</u>	3C.7-1
3C.7.1 재료	3C.7-1
3C.7.2 용접	3C.7-1
3C.7.3 설치 허용 오차	3C.7-1
3C.8 <u>기타 스테인레스 재료</u>	3C.8-1



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3C 건설 재료 규격 및 품질 관리 절차

재료 관련 정보, 품질관리, 특수 건설기술은 3.8.1.6절, 3.8.2.6절, 3.8.3.6절, 3.8.4.6절 및 3.8.5.6절에서 요구된다. 이 정보의 많은 부분이 반복적이므로 각 소절에서 기술하는 대신 부록 3C로 통합되어 있다.

품질관리 절차는 ASME NQA-2에 따른다.



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.1 콘크리트

3C.1.1 일반 사항

모든 콘크리트 작업은 본 부록 3C.1에 나타난 추가 요건 및 예외 사항과 표 3.8-1에 기술된 코드 요건, 표준 사양서에 따른다.

3C.1.2 재료 요건과 품질관리

콘크리트 구성 재료는 ASME 코드 Sec. III, CC-2220 요건에 따른다. 최대 1½ 인치의 골재 크기 및 저슬럼프가 크리프 및 건조 수축을 최소화하기 위하여 사용된다. 시멘트, 골재, 혼화재 등이 사양서 요건과 부합된다는 증명서를 공급자로부터 받는다.

3C.1.3 배합 설계

콘크리트 배합 설계는 ASME 코드 Sec. III, CC-2230의 요건에 따른다.

3C.1.4 콘크리트 특성

격납건물 돔, 원통형 벽체, 내부 구조물의 설계 압축 강도는 91일에서 5,500 psi (386.7 kg/cm²)이다. 해수노출 및 해수에 자주잇기우는 구조물의 설계 압축강도는 91에서 5,000 psi (351.5kg/cm²)이며, 격납건물의 기초, 텐돈 갤러리 및 기타 구조물의 설계 압축 강도는 91일에서 4,500 psi (316.3 kg/cm²)이다. 그리고, 콘크리트의 슬럼프는 70 °F (21.1 °C)에서 3 in ± 0.75 in이다.

3C.1.5 계량, 혼합, 운반

계량, 혼합, 운반은 ASME 코드 Sec. III, CC-4200 요건에 따른다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.2 철근

3C.2.1 재료 요건

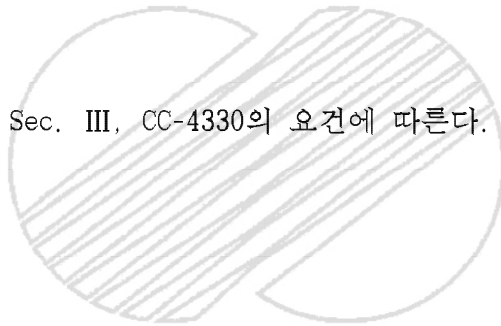
철근은 ASME 코드 Sec. III, CC-2300 요건에 따른다.

3C.2.2 철근의 제작

철근의 제작은 ASME 코드 Sec. III, CC-4300 요건에 따른다.

3C.2.3 철근의 이음

철근의 이음은 ASME 코드 Sec. III, CC-4330의 요건에 따른다.



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.3 포스트텐서닝 계통3C.3.1 일반 사항

격납건물 외벽에서 포스트텐서닝 계통은 비부착식 텐돈이며 켈기식 정착을 사용한다. 텐돈은 콘크리트에 매설된 쉬이스(sheath)의 내부에 위치한다. 매설관 속의 케이싱에 방식 목적으로 그리이스를 충전한다.

3C.3.2 재 료

하중이 전달되는 재료에는 공장 시험 성적서가 있어야 한다. 하중 재료는 텐돈, 베어링 판, 앵커 헤드, 켈기 등이다. 이들 성적서는 재료의 규정된 성분과 물성치를 증명하는 인정 내용이 있어야 한다. 버턴 헤드가 사용될 경우 제조 공장 또는 현장에서 냉간 성형되므로 제품 성적서 대신에 버턴 헤드 와이어의 성능 시험을 실시하고 성적서에 결과치를 기록한다. 포스트텐서닝 계통의 재료는 ASME 코드 Sec. III, CC-2400에 따른다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.4 강 구조물

3C.4.1 구조용 강 재료

가. 구조용강 : ASTM A36, A572, A588, A53

나. 볼 트 : ASTM A325, A490, A307

다. 앵커 볼트 : ASTM A193 Grade B7, A36

3C.4.2 품질관리

강 구조물의 제작 작업전, 제작자는 공장 제작 상세 도면, 설치 도면 등을 사양서 요건에 따라 제출, 승인받아야 한다. 제작자나 설치자는 용접 절차서와 절차 인정 기록서를 작업 설치전에 제출, 승인받아야 한다. 강 구조물의 제작 및 공급은 AISC Manual of Steel Construction의 요건에 따른다. 구조용강의 성적서는 검토용으로 제출한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.5 배면에 콘크리트가 있는 격납건물 내의 라이너 철판

3C.5.1 일반 사항

재료, 제작 절차 시험 요건은 ASME 코드 Sec. III, CC-2500, CC-4500, CC-5500의 요건에 따른다.

3C.5.2 재 료

배면에 콘크리트가 있는 격납건물 철판은 ASME 코드 Sec. III, CC-2500과 다음의 재료 규격에 따른다.

<u>적 용</u>	<u>규 격</u>
매설판을 포함한 라이너 철판	SA516 Grade 55, 60, 70
앵커류	A36

3C.5.3 품질 관리

3C.5.3.1 용접부의 시험

모든 비파괴 검사요건 및 검사방법은 각각 ASME 코드 Sec. III, Div.2 CC와 ASME 코드 Sec. V에 따른다.

모든 용접부는 다음과 같이 검사한다.

- 가. 용접부위의 방사선투과검사의 범위는 ASME Sec. III, Div. 2, CC-5531.2 (Extent of Examination)에 따른다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

나. 방사선투과검사를 할 수 없는 용접부에 대해서는 초음파 검사를 실시한다.

다. 페라이트 재료의 모든 선형 용접부에 대해서는 자분탐상 검사를 실시한다.

라. 오스트나이트 재료의 모든 용접부에 대해서는 액체침투 검사를 실시한다.

마. 대기압과 다른 5 psi의 기압에서 접합된 모든 용접부위에 대해서는 진공상자 비누거품 검사를 실시한다.

결함이 발견된 접합부위는 수리되어 재검사를 했다.

3C.5.3.2 제작 및 설치

배면 콘크리트가 있는 격납건물 철판의 제작은 ASME 코드 Sec. III, CC-4500에 따른다.
용접 절차서 및 용접사 자격 인정은 ASME 코드 Sec. III, CC-4530에 따른다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.6 배면에 콘크리트가 없는 라이너 철판

재료, 제작, 설치, 시험은 ASME 코드 Sec. III, NE의 요건에 따른다.

3C.6.1 재 료

재료는 ASME 코드 Sec. III, NE-2000 요건과 다음 규격에 따른다.

<u>적 용</u>	<u>규 격</u>
가. 작업자 비상출입구, 격납건물 장비반입구, 작업자 출입구	SA 516 Grade 70
나. 관통부 파이프 슬리브	
○구경 22 " 이하	SA 333 Grade 6(이음매 없음)
○구경 22 " 초과	SA 516 Grade 60 또는 SA 516 Grade 70
다. 관통부 헤드 핏팅	
○탄소강	SA 350 Grade LF1 또는 SA 516 Grade 60
○스테인레스강	SA 182 Grade F316 또는 SA 240 Type 304

3C.6.2 품질 관리

3C.6.2.1 시 험

배면에 콘크리트가 없는 라이너의 누설 방지 시험은 ASME 코드 Sec. III, Division 1, NE-5000의 요건에 따른다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

관통부 보강 철판과 라이너, 플루드 헤드 핏팅과 배관의 연결 용접부는 100% 방사선 투과 시험을 하며, 관통부와 보강판 또는 라이너의 연결 용접부는 100% 초음파 탐상 검사 또는 자분 탐상 검사를 한다.

관통 조립부의 벨로우형 확장 이음부의 용접부나 격납건물의 부착품들은 페 라이트계에서는 자분 탐상 검사를, 오스테나이트계에서는 액체침투탐상검사를 한다.

3C.6.2.2 제작 및 설치

배면 콘크리트가 없는 라이너의 제조 및 설치는 ASME 코드 Sec. III, NE-4000에 따른다. 용접 절차서와 용접사의 자격 인정은 ASME 코드 Sec. III, NE-4300의 요건에 따른다.



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.7 스테인레스강 수조용 철판

3C.7.1 재 료

스테인레스강 수조용 철판은 소둔, 산 세척과 열간 압연된 ASTM A240 Type 304로 제작한다.

3C.7.2 용 접

용접절차는 ASME 코드 Sec. III, CC-4540 및 ASME 코드 Sec. IX에 따른다. 모든 용접 이음매는 완전 용입 맞대기로 한다.

격납 철판 용접부의 시험 및 검사는 다음과 같다.

가. 오스테나이트계 재료에 대하여 액체 침투 탐상 검사를 실시한다. 검사 부위는 용접 표면과 용접부 양측에서 인접하는 모재의 최소 $\frac{1}{8}$ " 이다. 검사의 적용범 위는 모든 공장 및 현장 용접부에 대하여 100% 실시한다.

나. 모든 격납건물 철판 용접부의 누설 방지를 위하여 진공 상자 시험을 실시한다.

3C.7.3 설치 허용 오차

Freestanding liner 작업을 위한 허용 공차는 ASME 코드 Sec. III, CC-4522.1.1에 따른다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3C.8 기타 스테인레스 재료

사용되는 각종 스테인레스 재료는 다음과 같다.

- 가. 매설 스테인레스 판: 소둔, 산 세척 및 열간 압연된 A240 Type 304
- 나. 바닥용 스테인레스 체크 판: A793 Type 304
- 다. 스테인레스 봉 혹은 형강: 소둔 산세척, 냉간 압연된 A276 혹은 A479의 Type 304
- 라. 스테인레스 강관: 열간 압연, 산 세척, 소둔된 A312 Type 304 또는 A358 Type 304 또는 A376 Type 304
- 마. 스테인레스 그레이팅: JIS G4304/4305 (SUS 304)
- 바. 스테인레스 수조용 철판: 소둔, 산 세척 및 열간 압연된 A240 Type 304
- 사. 스테인레스 볼트: A193 Type 304 Class 1
- 아. 스테인레스 너트: A194 Type 304
- 자. 스테인레스 형강: A276 또는 A479 Type 304
- 차. 스테인레스 격자망: JIS G3555 (SUS 304)

()

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3D

배관 해석 및 설계시 사용된 A/E 전산 프로그램



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

부록 3D - 배관 해석 및 설계시 사용된 A/E 전산프로그램목 차

	<u>페이지</u>
3D.0 <u>배관 해석 및 설계시 사용된 A/E 전산프로그램</u>	3D-1
3D.1 <u>PIPSYS</u>	3D-1
3D.2 <u>LIQT</u>	3D-2
3D.3 <u>NOHEAT</u>	3D-2
3D.4 <u>PWRRRA</u>	3D-3
3D.5 <u>SRVA</u>	3D-3
3D.6 <u>RELAP 5/MOD 3.1</u>	3D-3
3D.7 <u>ADINA</u>	3D-4
3D.8 <u>REFORC-DEC</u>	3D-4



영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3D.0 배관 해석 및 설계시 사용된 A/E 전산프로그램

3D.1 PIPSYS

PIPSYS(Integrated Piping Analysis System)는 정적 하중 및 동적 하중을 받는 발전소 배관 계통을 해석하고 조합응력 및 배관지지물 하중을 계산한다. 수행되는 해석은 아래와 같다.

가. 정적 하중 해석 : 열 팽창, 변위와 분포 및 집중 하중에 대한 배관계의 해석

나. 동적 하중 해석 : 지진 및 유동 천이 하중에 대한 배관계 응답 해석

다. 응력 조합 : ASME B&PV 코드, Sec. III, 또는 ASME B31.1 코드에 따른 배관의 조합 응력 계산

라. 반력 (하중) 조합 : ASME B&PV 코드, Sec. III 또는 ASME B31.1 코드에 따른 배관 지지점에서의 반력 (하중) 조합에 대한 계산

정적 하중 해석, 동적 하중 해석, 응력 조합 해석은 독립적으로, 또는 순차적으로 수행될 수 있다. 정적 하중 해석과 동적 하중 해석의 결과는 응력 조합 해석을 수행하는데 사용하기 위하여 저장될 수 있다.

입력은 배관 계통의 형상, 물성치, 그리고 정적 하중 및 동적 하중으로 구성되어 있다. 출력량을 조절하는 여러 가지 선택 사항이 있다. 선택을 하지 않을 경우 입력 자료의 요약과 최종 결과만을 출력한다.

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

PIPSYS는 1972년 Sargent & Lundy사에서 개발되었으며 표본 문제의 결과를 기 공인된 결과와 비교하여 검증되었으며, 1993년 개인용 컴퓨터에서 실행되는 PIPSYS/PC 판이 개정, 발행되었다.

프로그램 공급 : Sargent & Lundy

3D.2 LIQT

LIQT(Liquid Transient)는 배관내에서의 유동 해석시 필요한 모의 분석 기능을 갖고 있으며, 배관, 밸브, 펌프 등으로 구성된 배관내에서의 유체 천이 하중을 해석하는데 사용된다.

프로그램 근원 : Stoner Associates, Inc.



3D.3 NOHEAT

NOHEAT (Nonlinear Heat Transfer Analysis of Axisymmetrical Solids) 프로그램은 비선형 열전달 결과에 의한 축대칭 고체의 온도 분포를 계산하기 위하여 유한 요소법을 사용한다. 전도, 복사, 대류의 비선형 효과를 포함할 수 있다. 각 절점의 온도 이력이 제시된다. 빈번히 사용하는 유한 요소 모델은 자동으로 생성된다. 적용 가능한 모델과 특정 부분에 대한 선형 열팽창 응력이 계산된다. 선형화된 열 구배를 계산하고, 유한 요소 모델을 그리는 선택 사항이 추가되었다. NOHEAT 프로그램은 예제 해석 결과를 기 검증된 결과와 수계산 결과에 비교함으로써 검증되었다.

프로그램 공급 : University of California (Berkeley)

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3D.4 PWRRRA

PWRRRA (Pipe Whip Restraint Reaction Analysis) 프로그램은 시간에 따라 변하는 취출 하중에 대한 간단한 배관 타격 해석 모델에 발생하는 최대 응답을 계산한다. PWRRRA 프로그램은 배관 타격 구속장치와 지지 구조물에 필요한 하중 자료를 제공한다. PWRRRA 프로그램은 예제 해석 결과를 기술 문헌에 있는 적용 가능한 해석적인 결과와 비교함으로써 검증되었다.

프로그램 공급 : Sargent & Lundy

3D.5 SRVA

SRVA (Safety Relief Valve Blowdown Analysis) 프로그램은 방출 밸브 출구에서 수조로 흐르는 유체의 천이 해석을 위한 유한 미분 프로그램이다. 배관계에서의 천이력 및 밸브 출구와 배관 물기둥에서의 압력이 계산된다. SRVA 프로그램은 예제 해석 결과를 기 공인된 결과 및 해석적인 결과와 비교함으로써 검증되었다.

프로그램 공급 : Sargent & Lundy

3D.6 RELAP5/MOD3.1

RELAP5/MOD 3.1 프로그램은 취출에 따른 각 시간 간격에 대한 유체의 속도, 비중, 그리고 압력을 얻기 위해 사용한다. 이 열수력적 자료는 REFORC-DEC 프로그램에 입력되어 하중함수를 얻는다. RELAP 프로그램은 예제 해석 결과를 기 검증된 결과와 비교함으로써 검증되었다.

프로그램 공급 : EG & G

영광 5,6호기 최종안전성분석보고서

3D.7 ADINA

ADINA (Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis) 프로그램은 비선형 및 선형, 정적 및 동적 유한 요소 해석을 수행한다. ADINA 프로그램은 사용자 교범에 있는 예제를 실행하여 검증되었다.

프로그램공급 : Massachusetts Institute of Technology

3D.8 REFORC-DEC

REFORC-DEC 프로그램은 RELAP5/MOD3.1 프로그램의 후처리의 프로그램으로서 배관계에서 유체유동으로 인한 하중을 계산한다. REFORC-DEC 프로그램은 RELAP5/MOD3.1의 결과인 유체유동 변수를 이용하여 파(wave)의 전파에 의한 하중, 유체의 방출에 의한 하중 및 중력에 의한 하중을 계산한다.

프로그램 공급 : EDS Nuclear Inc.