

原子力發電所 格納 建物の

設計基準과 応力解析 (中)

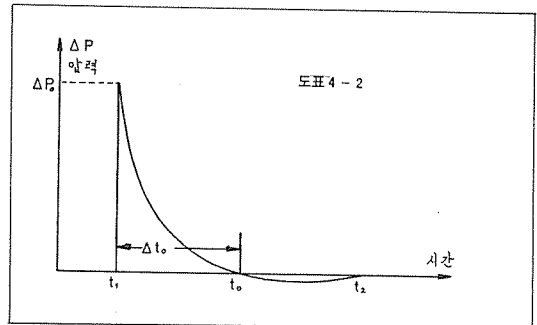
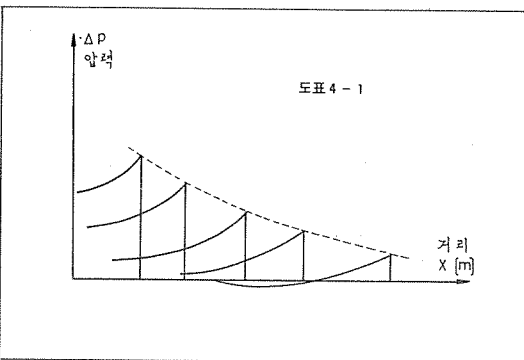
李 在 根

〈工博·韓國重工業常務〉

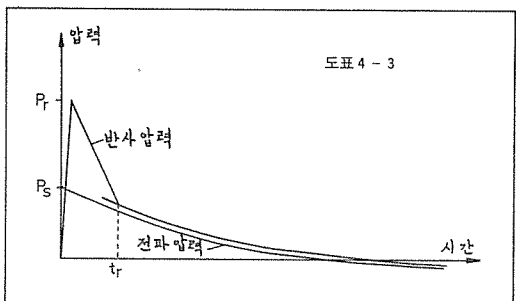
4. 폭발물에 의한 사고

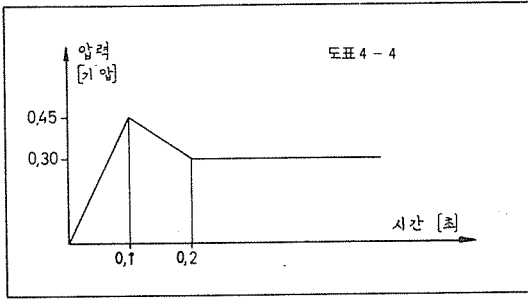
운반중에 있던 인화물질의 폭발이나 발전소 근처의 공장에서 일어나는 폭발 또는 항공기의 공중폭발을 통털어 폭발물에 의한 사고로 취급한다. 일반적으로 기체나 액체가 연소되면서 생기는 폭발은 압력의 전파속도가 음속보다 느리나 고체가 기화(氣化)하면서 생기는 폭발의 압력의 전파속도는 음속의 수배에 이른다. 도표 4-1은 아무 장애물이 없을때에 폭발압력이 전파되는 모양을 보여주며 도표 4-2는 이때 어느 한 지점에서의 시간에 따른 압력변화를 나타낸다. 이 압력파가 장애물에 부딪치게 되면 전파되는 압력과 장애물에 부딪쳐 되돌아오는 압력이 합쳐져서 2배에서 8배까지의 압력증가를 가져오게 된다. 이때에 평판이 받는 압력 ΔP 는 방정식

$$\Delta P = 2 \cdot \Delta P_0 \frac{2r + \left(\frac{3r-1}{2}\right) \frac{\Delta P_0}{P_0}}{2r + (r-1) \frac{\Delta P_0}{P_0}} \quad (4.1)$$



로써 구할수가 있다. P_0 는 대기압(1기압)이며 γ 는 공기중에서는 1.4이다. ΔP_0 는 도표 4-2에 표시된 압력의 차이이다. 도표 4-3은 평판이 받는 압력의 변화를 보여 주는데 독일에서는 이를 도표 4-4와 같은 규격화하여 원자력 발전소의 설계기준으로 삼고 있다. 최대압력 0.45기압에 대한 이동화중의 t 초때 동하중 계수는 다음 방정식들로 구할수 있다.





$t \leq 0.1 \text{ sec}$ 일때

$$DLF = \frac{1}{0.1 \text{ sec}} \left(t - \frac{\sin \omega t}{\omega} \right) \quad (4.2)$$

$0.1 \text{ sec} \leq t \leq 0.2 \text{ sec}$ 일때

$$DLF = \frac{4}{3} \left\{ 1 + \frac{1}{\omega \cdot 0.1 \text{ sec}} \cdot \sin \omega (t - 0.1 \text{ sec}) \right\} - \frac{\sin \omega t}{\omega \cdot 0.1 \text{ sec}} - \frac{t}{0.3 \text{ sec}} \quad (4.3)$$

$0.2 \text{ sec} \leq t$ 일때

$$DLF = \frac{1}{\omega \cdot 0.3 \text{ sec}} [4 \cdot \sin \omega (t - 0.1 \text{ sec}) - 3 \cdot \sin \omega t - \sin \omega (t - 0.4 \text{ sec})] \quad (4.4)$$

도표 4-5는 탄성이론($\beta=1$)과 탄성-소성 이론을 적용하여 계산한 이 동하중의 Maximum Response를 보여준다. 이것을 철근콘크리트 구조물에 맞추어 규격화 한것이 도표 4-6이다. α 는 도표 4-7에 따라 구할수가 있다.

폭발압력이 구(球)나 원주(圓柱) 모양의 구조물에 작용하는 경우에는 압력의 분포와 시간에 따른 변화가 평판의 경우와 약간 다르다. 도표 4-8은 직경 30m에서 70m까지의 원주형 구조물에 적용되는 폭발압력 변화표이다. 이 하중의 t초때 동하중 계수는 다음 방정식들로 구할수 있다.

$$\lambda = \frac{R_{max}}{P_1}$$

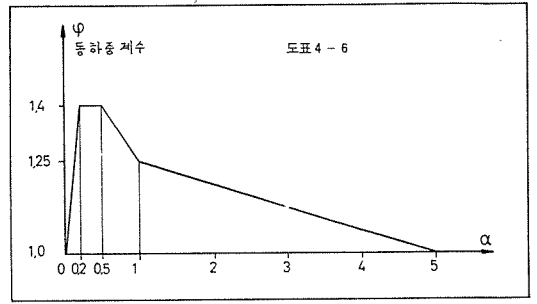
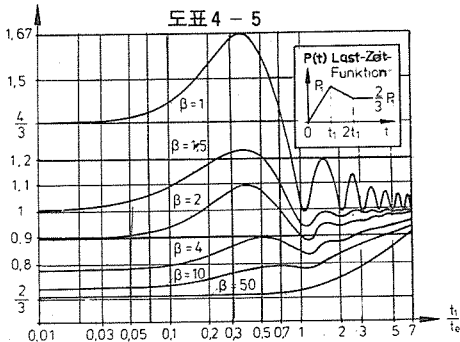


도표 4-7

보	α/λ_1	평판 판	α/λ_2
	0,11		0,032
	0,31		0,09
	0,48		0,14
	0,70		0,20
$\alpha = \frac{0,1}{t_e}$ $\lambda_1 = \frac{\sqrt{EI}}{l_x^2 \sqrt{VF}}$ $\lambda_2 = \frac{d\sqrt{EI}}{l_x}$ te(s) : 진동주기 E(Mp/m ²) : 관성계수 F(m ²) : 단면적 I(m ⁴) : 관성모멘트 d(m) : 평판두께		$l_y / l_x = 1,0$	0,18
		$l_y / l_x = 1,0$	0,33
		$l_y / l_x = 1,3$	0,14
		$l_y / l_x = 1,3$	0,28

$t \leq 0.15 \text{ sec}$ 일때

$$DLF = \frac{2}{0.3 \text{ sec}} \left(t - \frac{\sin \omega t}{\omega} \right) \quad (4.5)$$

$0.15 \text{ sec} \leq t \leq 0.3 \text{ sec}$ 일때

$$DLF = \frac{2}{0.3 \text{ sec}} \left\{ 0.3 \text{ sec} - t + \frac{1}{\omega} [2 \cdot \sin \omega (t - 0.15 \text{ sec}) - \sin \omega t] \right\} \quad (4.6)$$

$0.3 \text{ sec} \leq t$ 일때

$$DLF = \frac{2}{\omega \cdot 0.3 \text{ sec}} [2 \cdot \sin \omega (t - 0.15 \text{ sec}) - \sin \omega (t - 0.3 \text{ sec})] \quad (4.7)$$

t [s]	0.65	0.25	0.20	0.17	0.128	0.10	0.038
A	0.30	0.30	0.30	0.34	0.41	0.45	0.17
B	0.30	0.30	0.32	0.37	0.43	0.39	0.11
C	0.30	0.30	0.37	0.44	0.55	0.40	0.06
D	0.30	0.30	0.35	0.40	0.41	0.28	0
E	0.30	0.30	0.30	0.24	0.15	0.08	0
F	0.30	0.27	0.23	0.16	0.06	0	0
G	0.03	0.18	0.06	0	0	0	0

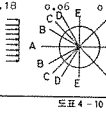


도표 4-10

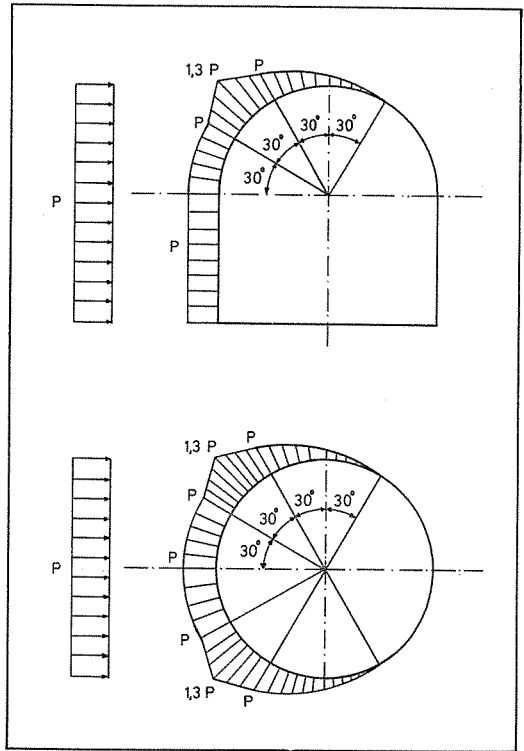


그림 4-11

차이가 너무 컸기 때문에 바람에 의한 하중은 무시할 수가 있었다. 그러나 굴뚝과 같이 직경이 10m 이하인 가늘고 긴 원주형 구조물은 압력을 받는 쪽과 그 반대쪽의 압력이 순식간에 상쇄되므로 폭발 뒤에 생기는 바람의 하중에 따라 설계하여야 한다. 이때에 기준이 되는 압력은 0.3기압이며 이로해서 생기는 바람의 하중은 0.035기압(3.5KN/m²)이 된다.

5. 항공기의 추락사고

항공기의 추락사고(Aircraft Imfact)를 원자력 발전소 설계에 고려하여야 한다는 것은 학계의 공통된 의견이나 아직까지 독일을 제외한 거의 모든 나라에서 설계기준으로 채택하지 않고 있다. 항공기, 특히 전투기의 증가추세와 항공기의 추락사고가 모든 재래식 공격을 포괄할 수 있다는 점에서 우리나라에서는 이사고가 반드시 설계에 고려하여야 한다고 생각한다.

항공기가 원자력 발전소에 추락할 확율은 발전소의 위치와 비행장의 위치, 비행향로, 운항 빈도에 따라 다르다. 독일 중부지방 Ludwigshafen시에 있는 BASF 회사에 발전소의 위치를 두고 조사한 바에 따르면 1000m² 이내의 면적에 30년동

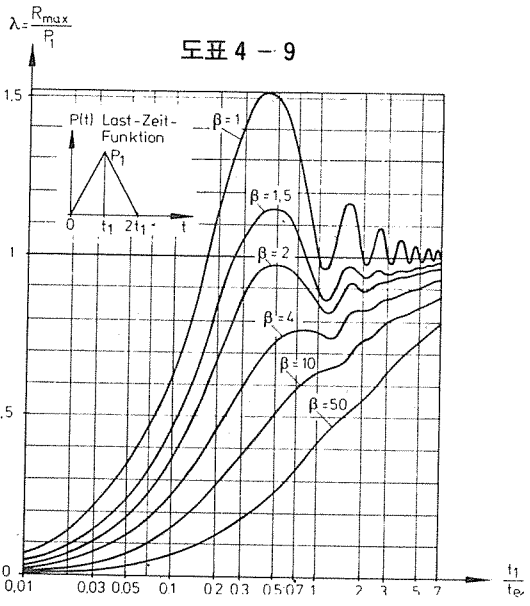


도표 4-9

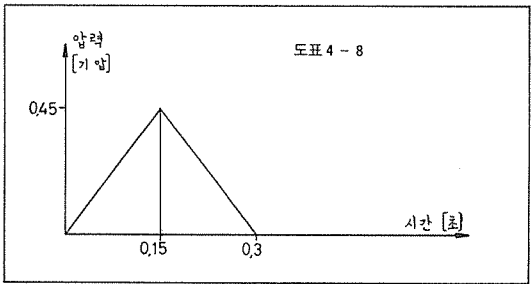


도표 4-8

도표 4-9는 탄성이론($\beta=1$)과 탄성-소성이론을 적용하여 계산한 이 동하중의 maximum Response를 보여준다. 도표 4-10은 구나 원주의 표면에서 압력의 분포가 시간에 따라 변하는 모양을 보여준다. 이때의 최대 압력을 그림 4-11과 같이 규격화하여 설계기준으로 삼고 있다.

폭발이 있는 바로 뒤에는 폭발과 같은 바람이 일게 된다. 지금까지는 폭발로 인한 직접적인 압력의

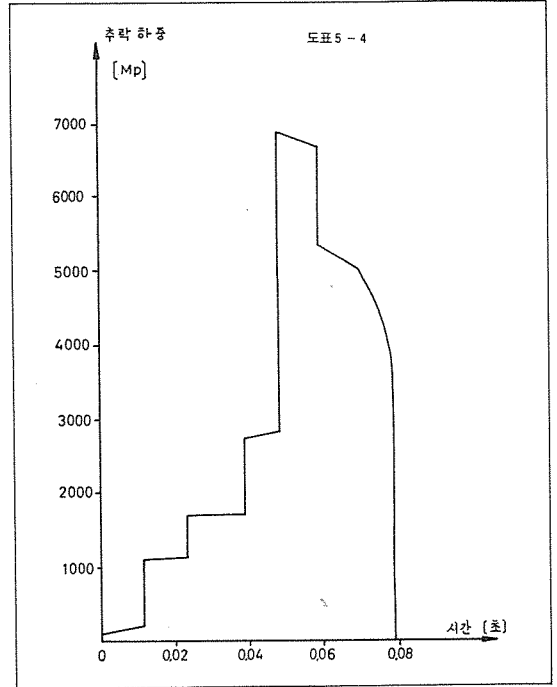
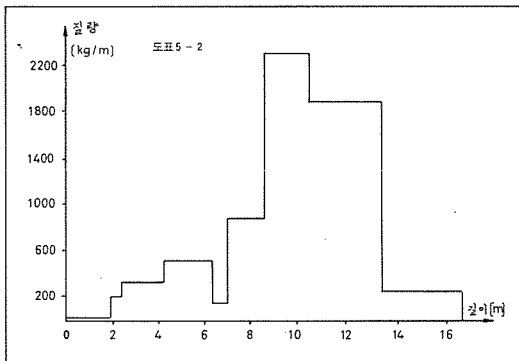
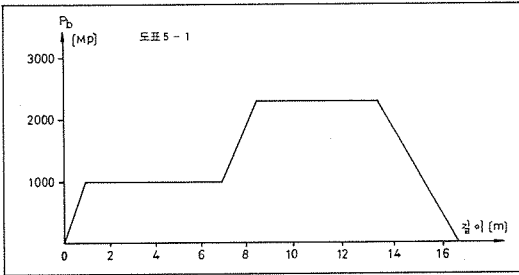
안 각 항공기가 추락할 확율은 다음과 같다.

경 비행기 (5.7t 이하)	2×10^{-5}
전 투 기 (8t~28t)	2×10^{-6}
대형민간항공기 (20t~175t)	5×10^{-11}

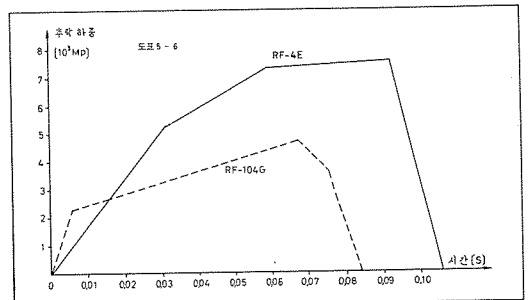
이 조사는 독일 교통부와 국방부에서 제공한 자료에 의거한 것으로 비행도중에 추락하는 민간항공기는 연간 0.5대, 전투기는 10만비행 시간당 15대를 기준으로 하고 있다. 추락할 때의 비행속도는 모든 항공기가 215m/sec 이하였었고 가장 많은 추락각도는 지표면(地表面)과 짓는 각이 0°에서 15° 사이와 90° 근처였었다. 대형 민간항공기가 추락할 확율은 아주 적기 때문에 설계기준에서 제외할 수 있다. 독일에서는 처음에 sfarfighter 전투기를 설계대상 기종으로 하였다가 후에 phantom II 기로 바꾸었었다. 항공기의 추락으로 인해서 벽체가 받게되는 추락하중 P(t)는 항공기를 길다란 막대기와 같은 단일 질량체로 보고 추락하면서 부서져 나가는 질량들은 서로 아무런 영향을 미치지 않는다는 가정아래에서 다음과 같이 계산한다.

$$P(t) = m \cdot \frac{dV}{dt} + V \cdot \frac{dm}{dt} \quad (5.1)$$

여기에서 m은 질량, V는 추락속도를 나타낸다.

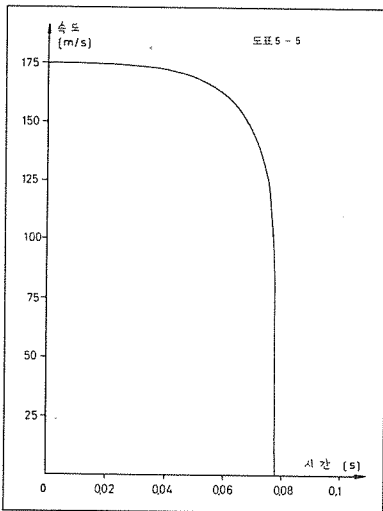


$m \cdot \frac{dv}{dt}$ 는 항공기 동체의 어느 한 단면적을 완전히 부수는 데에 필요한 힘으로 도표 5-1은 Starfighter의 경우를 보여준다. $\frac{dm}{dt}$ 는 시간에 따라 부서져 나가는 질량의 비율이며 항공기의 질량분포를 $q(x)$ 로 표시하면 $\frac{dm}{dt} = q(x) \cdot V$ 가 된다. starfighter의 질량분포는 도표 5-2에 나타나 있다. 도표 5-3은 이에 따라서 벽체가 받게되는 하중을 계산한 것이며 그 결과가 도표 5-4에 나타나 있다. 추락할 때의 비행속도는 175m/sec로 택하였고 sta-



x	q	P _B	Δx	Δt = Δx/v	t	Δm = qΔx	m = m - Δm	-Δv = P _B Δt	v	v̄	q̄v ⁻²	P
m	$\frac{kp}{m^2} \text{sec}^2$	Mp	m	msec	msec	$\frac{kp}{m} \text{sec}^2$	$\frac{kp}{m} \text{sec}^2$	$\frac{m}{m} \text{sec}$	m/s	m/s	Mp	Mp
0	3	0			0	0	1330		175		92	92
2,0	3	100	2,0	11,4	11,4	6	1324			174,5		
2,0	33	100	0	0	11,4	0	1324	0,86	174,1	174,1	92	192
4,1	33	100	2,1	12,0	23,4	69	1255	0,96	173,1	173,6	1000	1100
4,1	53	100	0	0	23,4	0	1255	0	173,1	173,1	1000	1100
6,2	53	100	2,1	12,1	35,5	111	1144	1,06	172	172,6	1585	1685
6,2	16	100	0	0	35,5	0	1144	0	172	172	1580	1680
6,8	16	100	0,6	3,5	39	10	1134	0,31	171,7	171,9	474	574
6,8	88	100	0	0	39	0	1134	0	171,7	171,9	472	572
8,4	88	260	1,6	9,3	48,3	111	993	2,44	169,3	170,5	2600	2700
8,4	230	260	0	0	48,3	0	993	0	169,3	169,3	6600	6860
10,2	230	260	1,8	10,6	58,9	414	579	4,76	164,5	166,9	6400	6660
10,2	188	260	0	0	58,9	0	579	0	164,5	164,5	5090	5350
12,0	188	260	1,8	11,0	70	338	241	11,9	152,6	158,5	4720	5000
12,6	188	260	0,6	3,9	73,9	113	128	7,9	144,7	148,7	4150	4410
13,0	188	260	0,4	2,8	76,7	75	53	13,7	131,0	137,9	3570	3830
13,3	188	260	0,3	2,3	79	56	0					

Starfighter 도표 5 - 3



Starfighter가 부서지면서 줄어드는 속도의 변화는 도표 5 - 5 가 보여준다. 단일 질량체로써 계산하는 방법 외에도 항공기의 전체 질량을 여러개의 질량 점들로 나누고 modal Analysis를 통하여 추락 하중을 구할수가 있는데 도표 5 - 6 은 이 방법으로 계산한 Starfighter (RF-104G)와 phantom II (RF-4E)의 추락하중을 보여준다. 독일에서는 phantom II의 추락하중을 도표 5 - 7 과 같이 규격화하여 설계기준으로 삼고 있다.

