

HW#4

교과서 305페이지의 중형수송기의 공력해석예제를 푸시오.

중형 수송기

1. 양력 해석

해석 항공기 형상자료

구성요소	S (ft^2)	S_{wet} (ft^2)	\bar{C} (ft)	AR	Λ_{LE} (deg)	$\Lambda_{c/4}$ (deg)	$\Lambda_{c/2}$ (deg)	Λ_m (deg)	λ	b (ft)
주날개	1092	1782.25	12.68	8.5	28.17	28.37	20.32	26.75	0.239	96.40
수평꼬리날개	250.1	381.73	9.51		35.15	32.26	29.17	32.2		
수직꼬리날개		443.08	13.86					35.1		

표 1 날개 형상 자료

구성요소	t/c	f/c	Δy	X_t/c	C_{Ld}
주날개	0.136	0.009	4.24	0.3	0.4
수평꼬리날개	0.11			0.3	
수직꼬리날개	0.11			0.3	

표 2 날개 단면 형상자료

구성요소	S_{wet} (ft^2)	l (ft)	f (날썸비)
동체	3282.26	103.92	8.59
나셀	463.88	14.83	2.45

표 3 동체형상자료

* 기타 데이터 : $l_t = 47.78 ft$, $h_t = 47.78 ft$

(1) 양력곡선 기울기

본 항공기는 아음속 영역만을 그 비행 영역으로 하므로 전체 항공기 양력곡선 기울기는 아음속 영역에 해당하는 식을 적용하도록 한다.

Step1. $(C_{L\alpha})_{W-B}$: 동체-날개 조합 양력곡선 기울기 계산

$$(C_{L\alpha})_{W-B} = (C_{L\alpha})_W K_B \text{ (스트레이크가 없는 항공기인 경우)}$$

여기서,

$$(C_{L\alpha})_W = \frac{\pi AR_{effective}}{1 + \sqrt{1 + [1 - (M \cos \Lambda_{c/2})^2] \left(\frac{AR_{effective}}{2 \cos \Lambda_{c/2}} \right)^2}}$$

$$K_B = \left(1 + \frac{d}{b}\right) \left(1 - \frac{d}{b}\right)^f = (1 + 0.118)(1 - 0.0118)^{0.630} = 1.033$$

(여기서 $f = \frac{(16 + 3AR^2)}{8 + 5AR^2} = \frac{16 + 3 \times 8.5^2}{8 + 5 \times 8.5^2} = 0.630$)

M	$(C_{L_\alpha})_W$		K_B		
	(1/deg)	(1/rad)		(1/deg)	(1/rad)
0.2	0.084	4.80	1.033	0.087	4.99
0.4	0.088	5.02	1.033	0.091	5.21
0.6	0.096	5.48	1.033	0.116	6.65

표 4 동체-날개 조합양력계수 계산(중형수송기)

Step2. $\Delta(C_{L_\alpha})_T$: 꼬리 날개의 효과로 인한 양력계수 증분 계산

꼬리날개의 효과에 의한 양력계수 증분은 식 10.9를 적용한다.

M	$(C_{L_\alpha}')_T$		$\frac{\partial \epsilon}{\partial \alpha}$	$1 - \frac{\partial \epsilon}{\partial \alpha}$	$(C_{L_\alpha})_T$	
	(1/deg)	(1/rad)			(1/deg)	(1/rad)
0.2	0.066	3.76	0.467	0.533	0.0047	0.269
0.4	0.068	3.88	0.482	0.518	0.0046	0.264
0.6	0.072	4.10	0.512	0.488	0.0046	0.264

표 5 수평 꼬리날개의 양력곡선기울기 증분 계산(중형수송기)

Step3. 전체항공기의 양력곡선 기울기

M	$(C_{L_\alpha})_{W-B}$	$\Delta(C_{L_\alpha})_T$	(C_{L_α})
0.2	0.087	0.0047	0.091
0.4	0.091	0.0046	0.096
0.6	0.099	0.0046	0.1036

표 6 마하수별 중형수송기의 양력곡선 기울기

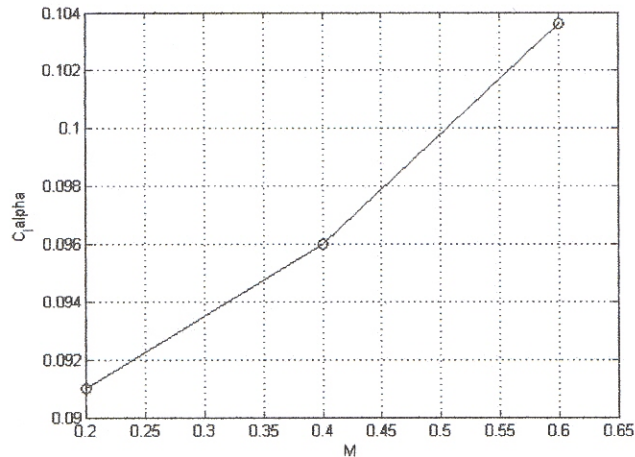


그림 1 중형수송기의 양력곡선 기울기

(2) 최대양력계수

Step1. 최대양력계수를 계산하기 위한 방법결정

$$AR_{Low} = \frac{3}{(C_1 + 1) \cos \Lambda_{LE}} = \frac{3}{(0.5 + 1) \cos 26.75} = 2.24$$

이 경우 역시 $AR_{Low} < AR$ 이므로 “High AR Method” 적용

High AR Method에서 최대양력계수와 그 때의 받음각은 식 10.16을 적용한다.

Step2. $\left(\frac{C_{L_{max}}}{C_{l_{max}}}\right)$ 의 계산

$$\left(\frac{C_{L_{max}}}{C_{l_{max}}}\right) = A - B\Delta y' \text{에서}$$

$$A = 0.895 + 0.0028 \times 26.75 + 6.74 \times 10^{-5} \times (26.75)^2 = 1.017$$

$$B = 0.0011 + 0.0053 \times 26.75 + 0.00011 \times (26.75)^2 = 0.2215$$

$$\Delta y' = 1.1$$

$$\therefore \left(\frac{C_{L_{max}}}{C_{l_{max}}}\right) = 1.017 - 0.2215 \times 1.1 = 0.773$$

Step3. $\Delta C_{L_{max}}$ 의 계산

$$\Delta C_{L_{max}} = C + (D - C) \left(\frac{A_{LE}}{60}\right)$$

여기서 $C_{l_{max}}$ 은 중형수송기의 익형데이터를 이용한다.(여기서는 $C_{l_{max}} = 1.60$)

M	C	D	$\Delta C_{L_{max}}$	$C_{l_{max}}$	$C_{L_{max}}$
0.2	NA	NA	0	1.60	1.24
0.4	0	-0.1	-0.058	1.60	1.17
0.6	0.15	-0.2	-0.054	1.60	1.18

표 7 최대양력계수의 계산

Step4. α_{max} 의 계산

여기서 α_{0L} 는 앞선 예제와 마찬가지로 익형의 데이터로부터 값을 구한다. 또한 날개의 후퇴각에 대한 보정치인 $\Delta\alpha_{max}$ 는 그림 10.8에서부터 구할 수 있다.

M	$C_{L_{max}}/C_{L_{\alpha}}$	α_{0L}	$\Delta\alpha_{max}$	α_{max}
0.2	13.6	-2.6	2.2	13.2
0.4	12.2	-2.6	2.2	11.8
0.6	11.4	-2.6	2.2	11.0

표 8 최대양력계수시의 받음각 계산

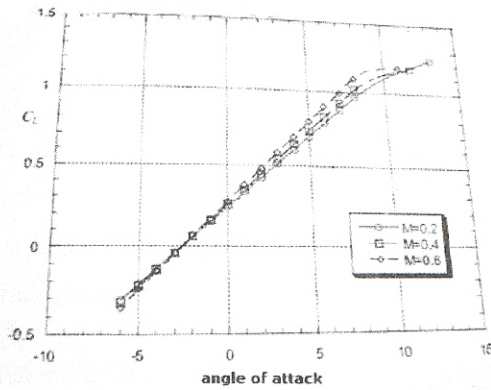


그림 10.49 아음속 중형 수송기의 양력곡선 해석 결과

2. 유해항력(Parasite Drag)

비행조건 : 고도 $h = 35,000 \text{ ft}$, 속도 $M = 0.6$

(1) 마찰항력, 형상항력, 간섭항력의 계산

· 형상자료에 따른 형상인자, 간섭인자를 경험식을 이용하여 구한다.

구성요소	동체	나셀	날개	수평꼬리날개	수직꼬리날개
FF	1.116	1.143	1.418	1.337	1.325
Q	1.0	1.3	1.0	1.08	1.03

표 9 $M=0.6$ 에서의 형상인자, 간섭인자

· 마찰항력계수를 구한다.

$$Re = 10^6 \exp \left[\ln(7.1) - \left(\frac{h}{1000} \right)^{\frac{1.1}{4.6}} \right] = 683860.62$$

$$\bar{L} = \frac{\sum (l_c \cdot S_{wet c})}{S_{wet}} = \frac{341092.46 + 6879.34 + 22598.93 + 3630.25 + 6141.09}{6353.2} = 59.87 \text{ ft}$$

$$Re_L = Re \cdot \bar{L} \cdot M = 24565641$$

$$C_f = \frac{0.455}{(\log_{10} Re_L)^{2.58} (1 + 0.144 M^2)^{0.65}} = 0.00253$$

· 적용항공기의 $S_{ref} = 1,092 \text{ ft}^2$

$$C_{D_{fric+form+int}} = \sum (C_f \cdot FF_c \cdot Q_c \cdot S_{wet}) / S_{ref} = 0.019$$

(2) 기저항력

적용항공기의 $A_{base} = 12.88 \text{ ft}^2$

$$C_{D_{base}} = (0.1 + 0.1222 M^8) \frac{A_{base}}{S_{ref}} = 0.001204$$

(3) 천음속 영역 항력발산

· M_{DD} 의 예측

$$A_{c/4} = 24.37^\circ \text{ 이므로 } (t/c)_n = \frac{t/c}{\cos A_{c/4}} = 0.149, \quad C_L = 0.0$$

$$M^* = 1 - 0.25 C_L \cdot \cos^{-2} A_{c/4} = 1.0$$

식 10.55를 반분법을 이용해서 풀면 $M_{DD} = 0.762$

$$M_{CR} = M_{DD} - 0.04 = 0.722$$

· 곡선 집합

$$f/c = 0.009, \quad A_{c/2} = 20.32^\circ \text{ 이므로 } P_L = 5.4(t/c + 2f/c)^{1/3} \cdot \cos A_{c/2} = 2.714$$

$$C_D = P_L \cdot (M - M_{CR})^2 \text{에서부터}$$

M	0.722	0.762	0.8	0.84	0.88
C_{Dwave}	0.0	0.0043	0.0165	0.0378	0.0678

(4) 기타 항력 계산

항공기가 순항하고 있다고 가정하면 착륙장치나 Speed Brake, 플랩은 고려하지 않아도 되므로 Leakage and Proturbulence 항력만 고려하면 된다.

제트 수송기 및 폭격기의 경우 전체 유해항력의 합이 5% 정도를 부가항력의 백분율로 가정할 수 있다.

M=0.6에서 :

$$C_{Dmisc} = 0.05 \times C_{D \text{ fric+form+int+base+wave}} = 0.000989$$

(5) 총 유해항력

위의 (1)에서 (4)의 과정을 전 속도영역에서 종합하면 다음과 같다.

M	0.6	0.7	0.722	0.762	0.8	0.84	0.88
C_{D0}	0.0208	0.02045	0.0204	0.0244	0.0375	0.0598	0.0913

그림 10.50은 본 해석결과를 각 속도 영역에 따라 도시한 그림이다.

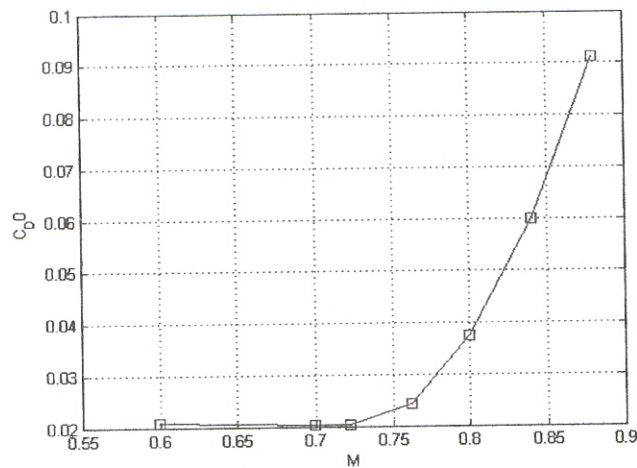


그림 10.50 고아음속 수송기의 유해항력계수

3. 유해항력 해석 및 양향곡선 도시

Step1. 유도항력 계산

앞전 흡입법을 이용한 해석 수행

여기서, $K_0 = 1/C_{l_a}$, $K_{100} = \frac{1}{\pi AR}$ 이고 설계양력계수는 익형데이터로부터 $C_{l_a} = 0.4$ 이다.

M	K_0	K_{100}	R				
			$C_L = 0.2$	0.4	0.6	0.8	1.0
0.2	0.1918	0.037	0.73	0.95	0.8	0.5	0.32
0.4	0.1818	0.037	0.73	0.95	0.8	0.5	0.32
0.6	0.1685	0.037	0.73	0.95	0.8	0.5	0.32

표 12 마하수와 양력계수의 변화에 대한 R값의 계산

Polar Displacement : ΔC_L

$$\Delta C_L = \left(1 - \frac{1}{\pi \cdot AR \cdot K}\right) C_{Lopt}$$

여기서,

$C_{Lopt} = 0.132$ 이므로 $C_L = 0.4$ 일때(익형 데이터로부터) 각 마하수에 대한 ΔC_L 은 다음 표와 같이 계산된다.

M	K					ΔC_L
	0.2	0.4	0.6	0.8	1	
0.2	0.079	0.045	0.068	0.1144	0.1423	0.0694
0.4	0.076	0.044	0.066	0.1064	0.1355	0.067
0.6	0.073	0.043	0.053	0.1028	0.1264	0.0643

표 13 각 조건에 대한 유도항력계수, K의 계산

최종적으로 각 마하수와 양력계수에 대하여 유도항력을 계산하여 보면 다음과 같다.

M	C_{D_L}				
	$C_L = 0.2$	0.4	0.6	0.8	1.0
0.2	0.0013	0.0049	0.0191	0.0611	0.1232
0.4	0.0013	0.0049	0.0187	0.0572	0.118
0.6	0.0013	0.0048	0.0181	0.0556	0.1107

표 14 마하수와 양력계수 변화에 대한 유도항력(중형수송기)

Step2. 양항곡선 도시

앞서의 유해항력과 유도항력의 합이 총항공기의 항력으로 나타난다는 것을 이용하여 다음 관계로부터 양력과 항력의 곡선을 도시한다.

$$C_D = C_{D_{min}} + K(C_L - \Delta C_L)^2$$

M	$C_{D_{min}}$	C_D				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.2	0.0225	0.0238	0.0274	0.0416	0.0836	0.1457
0.4	0.02175	0.02305	0.02665	0.04045	0.07895	0.13975
0.6	0.02079	0.02209	0.02559	0.03889	0.07639	0.13149

표 15 속도별 양력계수에 대한 전체항공기 항력계수(중형수송기)

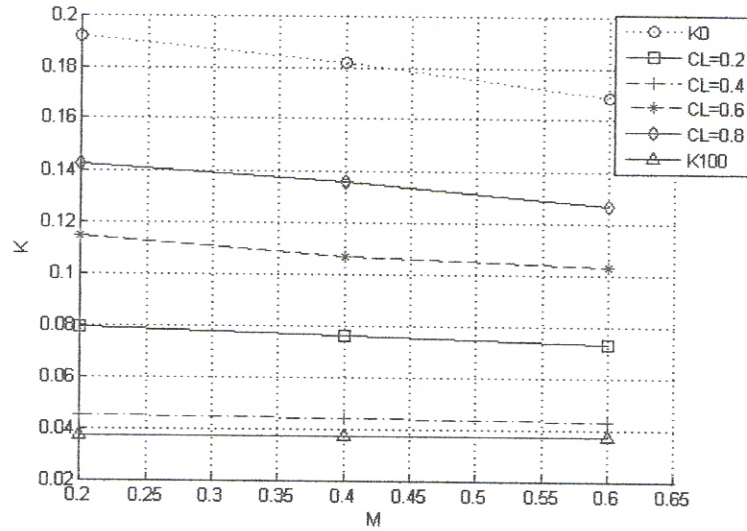


그림 10.51 유도항력계수 K의 해석 결과

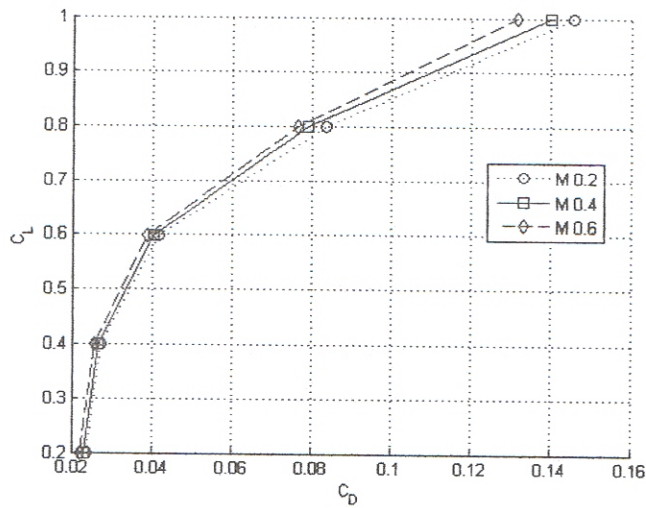


그림 10.52 고아음속 중형항공기 양항곡선