LESSON 9

Viscous Flow II

복습문제

❖ 점성은 유체의 흐름을 (　　)하려는 경향성이다.

❖ 점성은 열역학 상태량 중 (　　)의 함수이다.

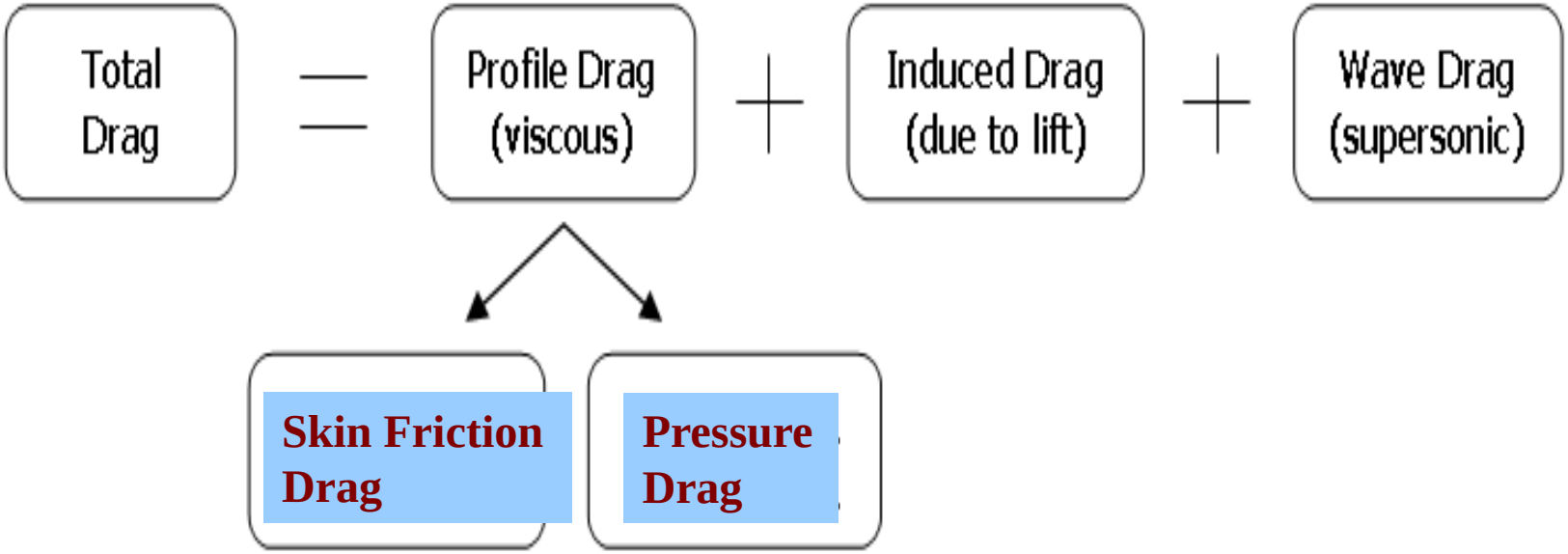
❖ 공기의 경우 온도가 높을수록 점성이 (　　).

❖ 물체 표면에서의 유동 속도 구배가 높을수록 표면 전단응력이 (　　).

❖ 경계층의 높이는 물체 표면으로부터 자유류 속도의 (　　)%에 도달하는 거리를 의미한다.

Review: Types of Drag

Types of Drag:



- **Skin Friction Drag: "Drag due to shear stress"**
- **Pressure Drag: "Drag due to separation"**

Then what is separation (흐름분리)???

압력 구배 (Pressure Gradient)

❖ 압력 구배 : 흐름방향으로의 압력 변화율

순압력구배 영역
(Favorable Pressure Gradient)

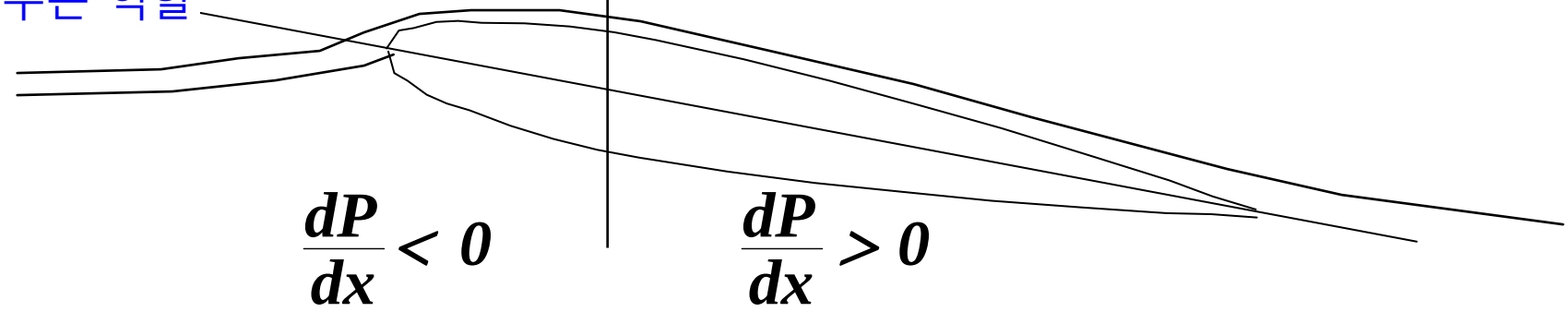
역압력구배 영역
(Adverse Pressure Gradient)

유동방향을 따라
압력이 감소
→ 공기의 흐름을
도와주는 역할

inc V
dec P

dec V
inc P

유동방향을 따라 압력이 증가
→ 공기의 흐름을 방해하는 역할



$$\frac{dP}{dx} < 0$$

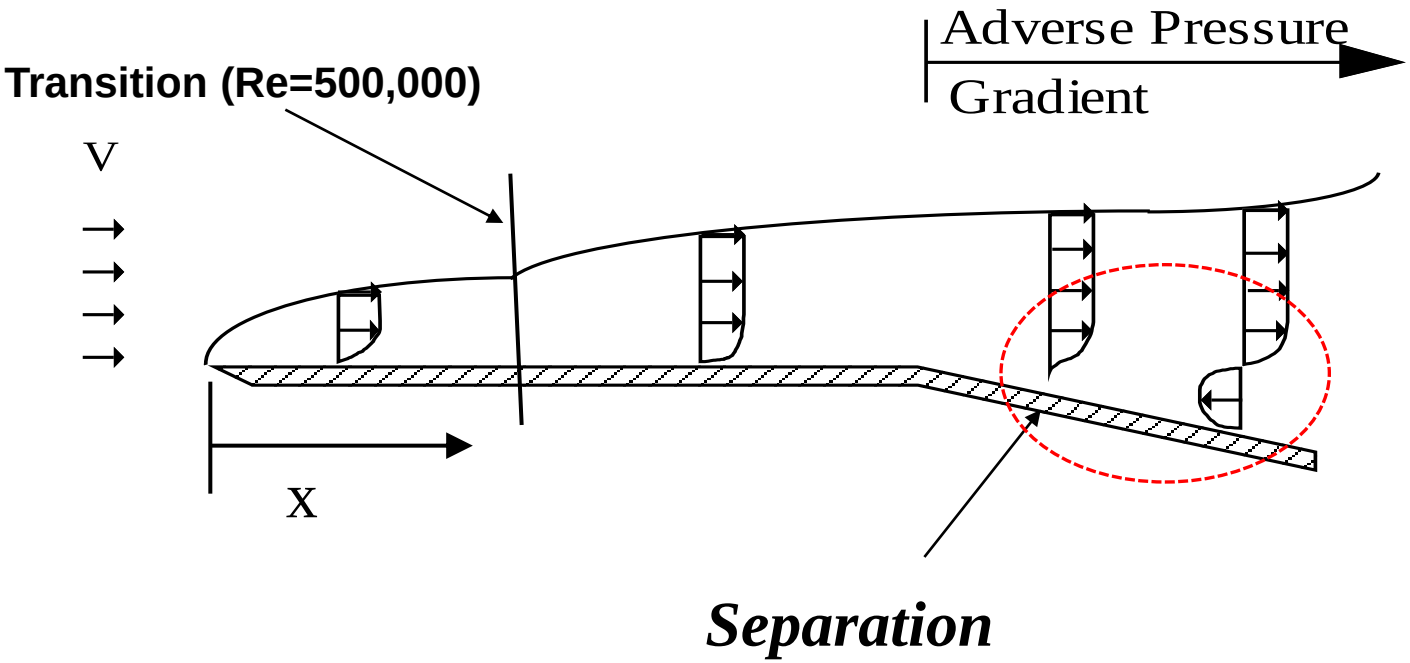
$$\frac{dP}{dx} > 0$$

※ 유동은 고압에서 저압으로 흐르고자 함

흐름분리 또는 유동박리 (Flow Separation)

❖ 흐름분리 현상

- 경계층내의 낮은 에너지를 갖는 공기입자들이 역압력 구배를 이기지 못하고 역류하여 표면에서 분리되는 현상



압력항력(Pressure Drag) : Flow Separation에 의한 항력

압력항력 : 물체가 전진하는 방향의 앞면과 뒷면의 압력차이에서 발생하는 항력

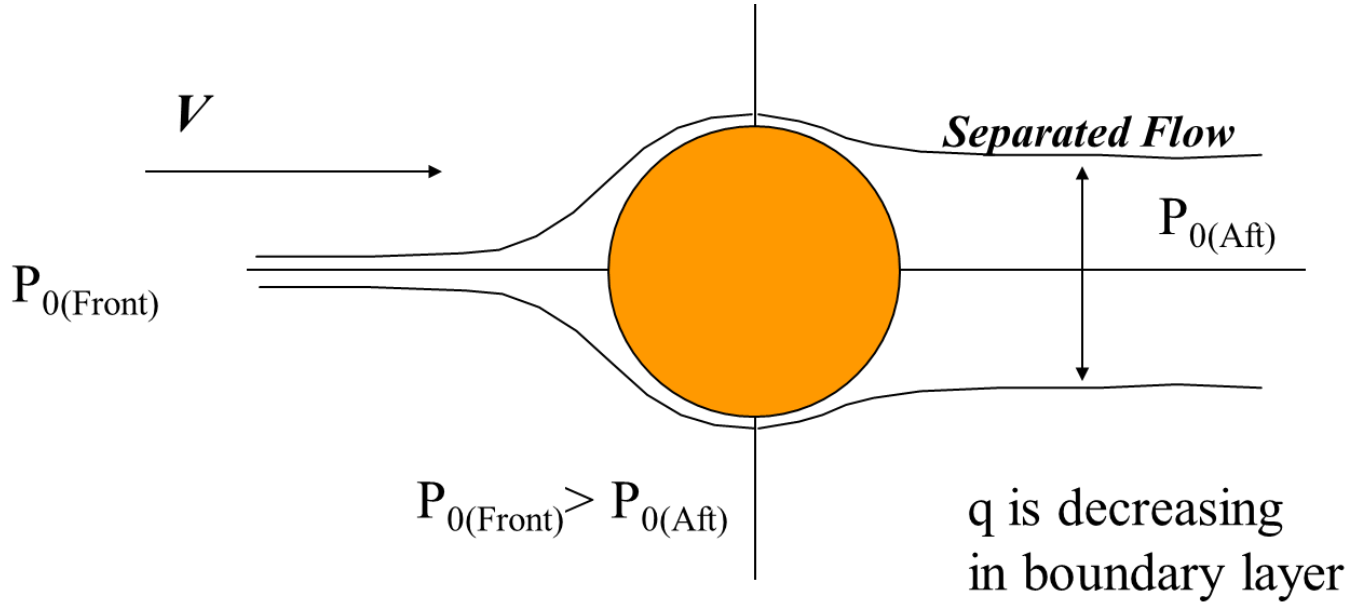
그러면 앞, 뒷면의 압력차이는 왜 발생하는가?

→ 앞면은 순압력구배로 유동박리 없음

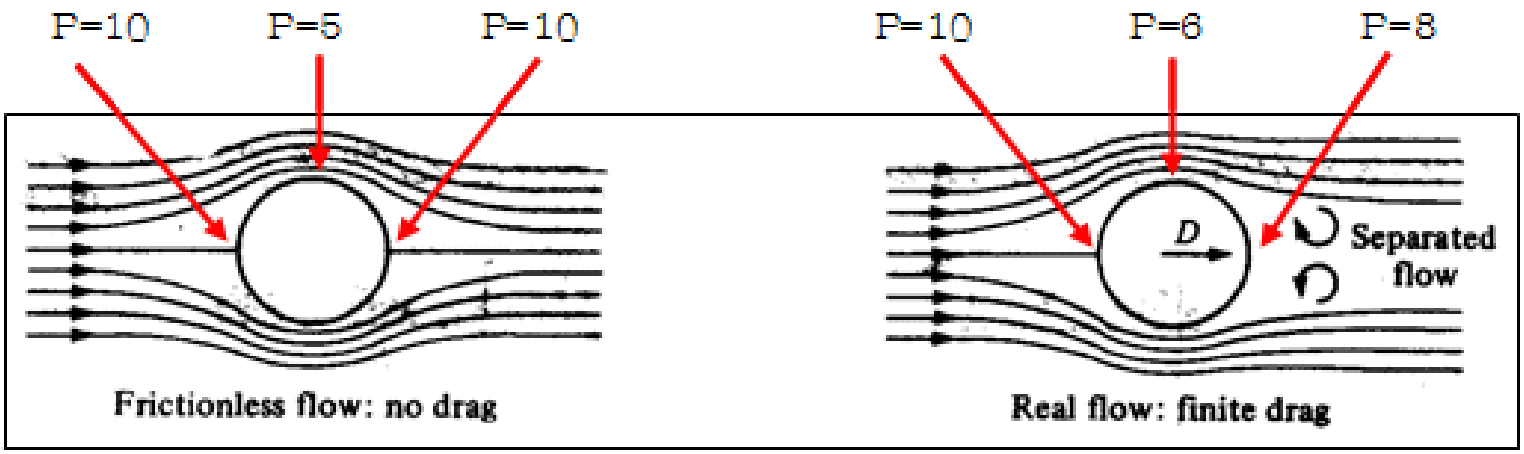
→ 뒷면은 역압력구배로 유동박리 발생

→ 유동박리가 일어나 영역을 wake라 하고, 이영역의 평균 압력 감소

→ 상대적으로 앞면 고압, 뒷면 저압 → 압력항력 발생



압력항력(Pressure Drag) : Flow Separation에 의한 항력

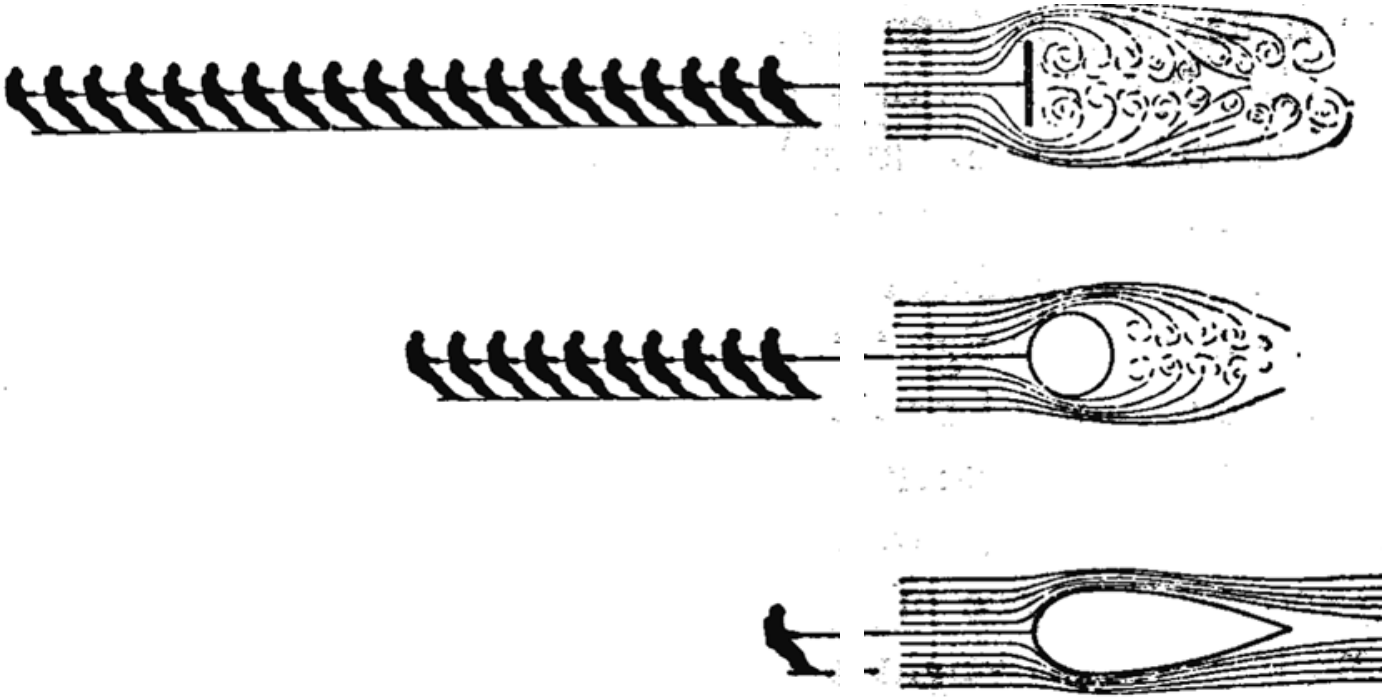


- 이상유체 : 점성이 없다고 가정
  - ⇒ 점성경계층이 존재하지 않음.
  - ⇒ 표면을 따라 흐르는 공기입자의 운동에너지가 보존됨.
  - ⇒ Separation이 발생하지 않음. (역압력 구배를 이겨낼 수 있는 에너지 보유)
  - ⇒ 실린더 앞뒤의 유선이 대칭이 되고 따라서 압력분포도 대칭이 됨.
  - ⇒ No Pressure Drag!!!

- 실제유체 : 점성의 존재
  - ⇒ 점성경계층이 존재함.
  - ⇒ 표면을 따라 흐르는 공기입자의 운동에너지 상실(평균속도 감소).
  - ⇒ 경계층내에서 운동 에너지를 잃어버린 공기입자가 역압력구배를 이기지 못하고 표면에서 떨어지는 **flow** Separation 발생
  - ⇒ Wake영역이 발생
  - ⇒ **Wake** 영역에서는 실린더 앞부분의 원래 압력을 회복하지 못하고 비교적 낮은 압력 형성
  - ⇒ 흐름방향의 앞뒤면에서의 압력차이 발생
  - ⇒ Pressure Drag Exists !!

Intuition

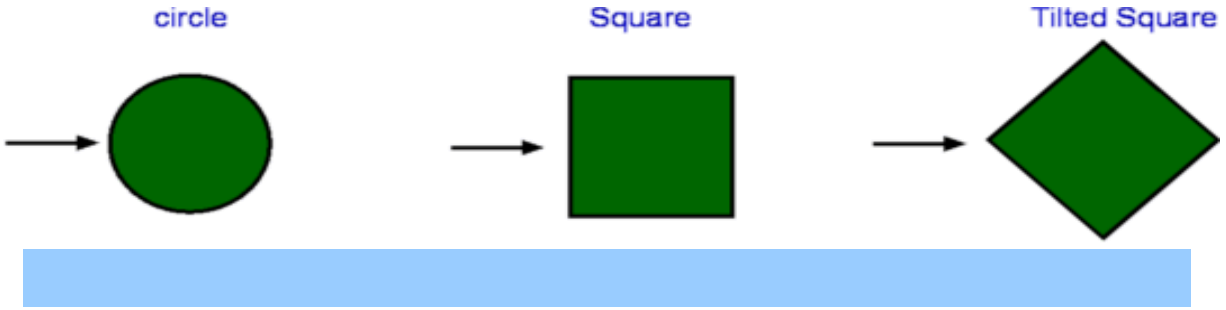
Which one has a higher pressure drag?

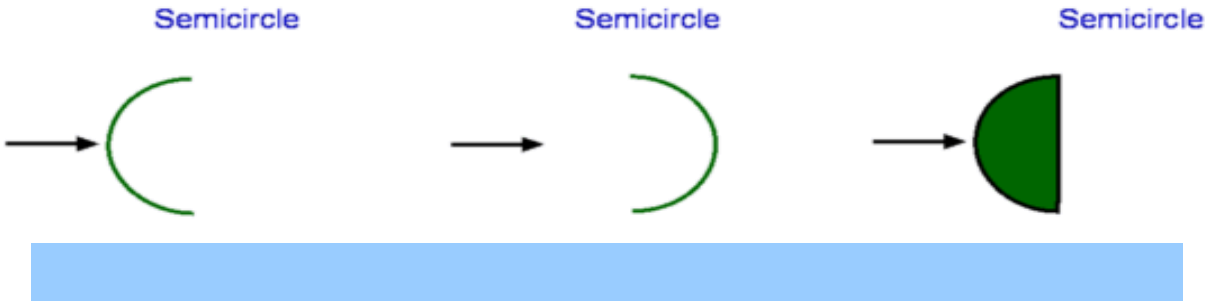


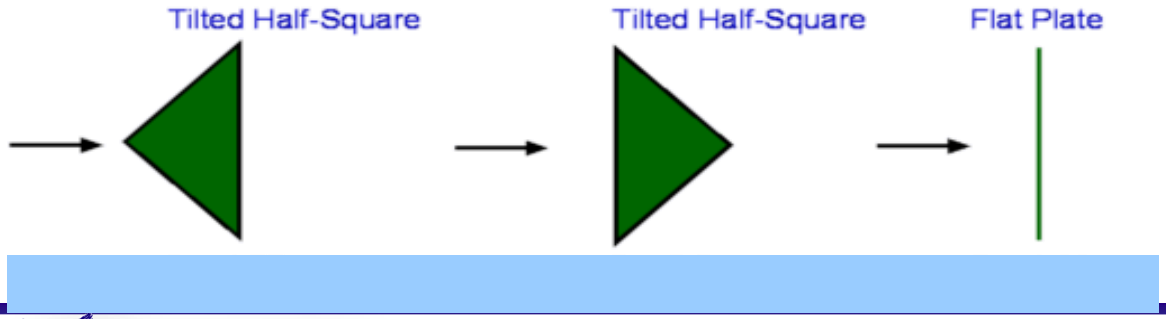
결론 : wake 영역을 증가시키는 형상일수록 압력항력 증가
→ 유선형은 유동박리와 wake영역을 최소화시킬 수 있는 형상
→ 압력항력 최소화 → 항공기 날개

Intuition

Which one has a higher pressure drag and why??





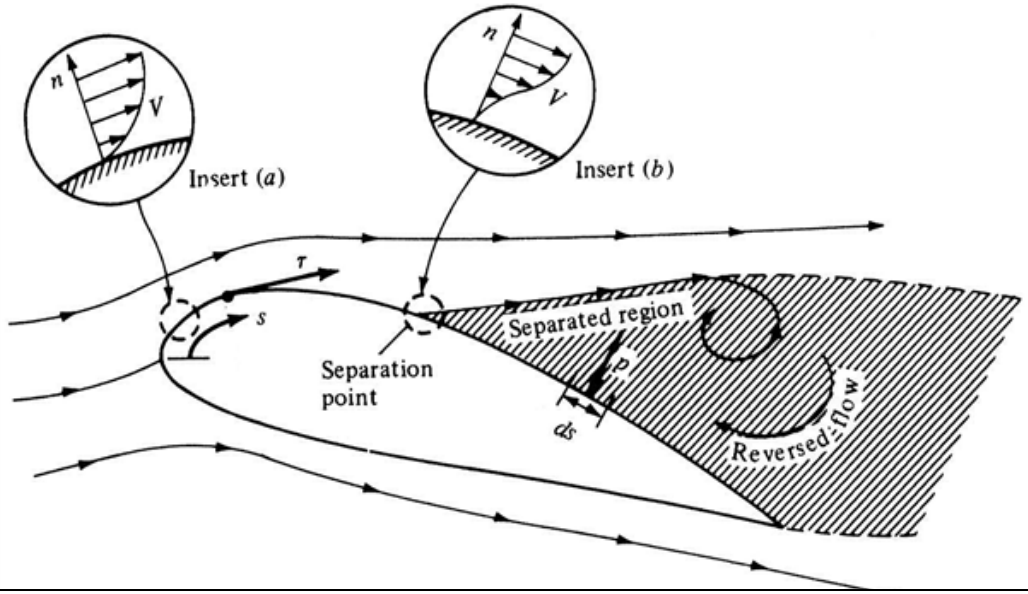


이유?? :
Wake 영역이
작아지는
형상일수록
압력항력 감소

실속 (Stall)

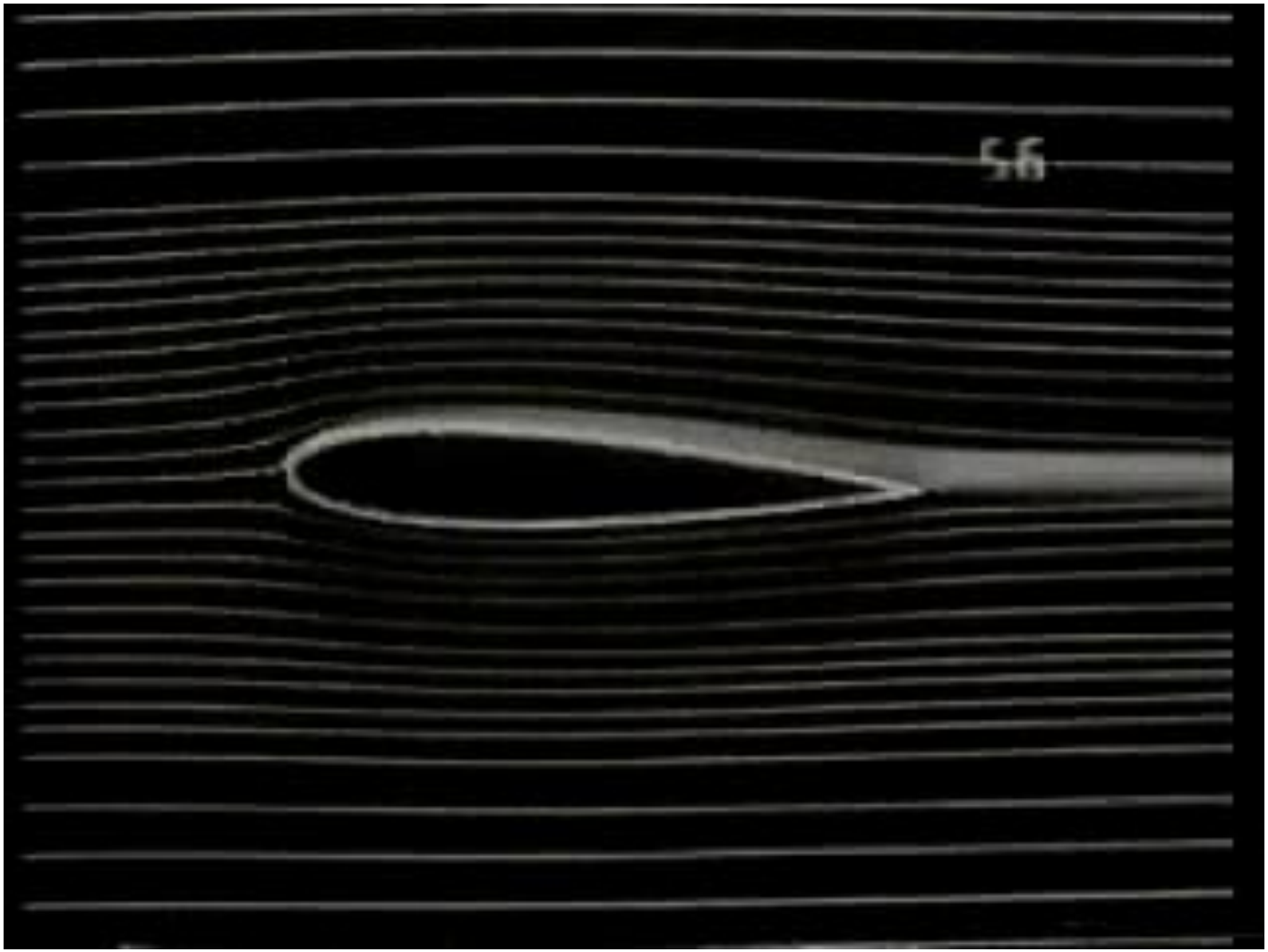
❖ 실속현상

- 항공기 날개 윗면 전반에 걸쳐 유동박리가 일어난 상태
- 양력이 급감하고 항력이 급증하는 현상
- 에어포일이 일정 받음각 이상의 고받음각에 놓여 있을 경우 발생

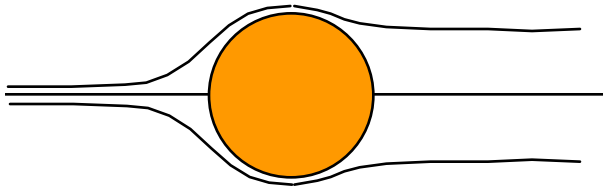


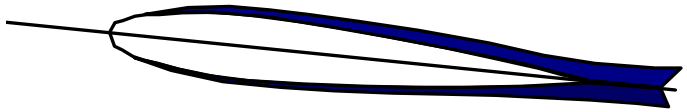
※ 실속상태
- 항공기 비행에서 매우 위험한 상태로 비행사고를 유발할 위험성 증대
- 실속상태에서 벗어나기 위해서는 받음각을 낮추고 (기수를 내리고) 충분한 속도(동압)를 얻어야 하나 저고도일 경우 매우 위험
- 항공기 사고의 70% 이상 이착륙 시 발생
  → 고받음각(저속), 저고도 : 악조건의 조합

실속 (Stall)



Blunt Body vs. Streamlined Body





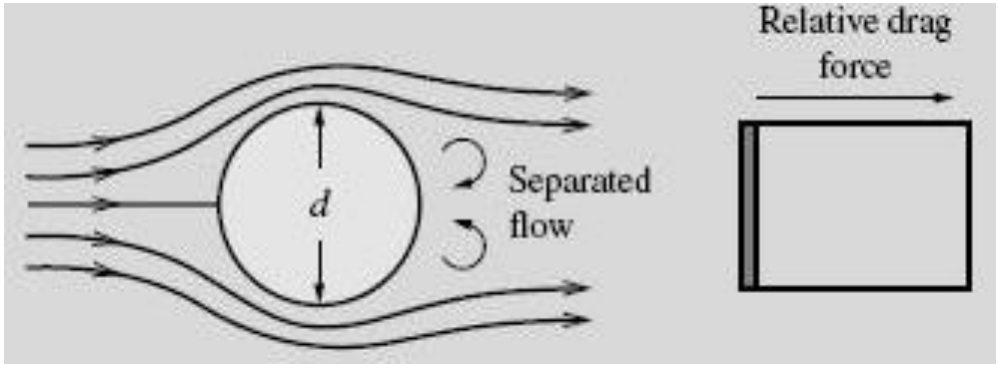
	Blunt	***Streamlined***
Skin Friction:	***Less important***	***More important***
Pressure Drag:	***More important***	***Less important***
Desired BL:	***Turbulent***	***Laminar***

난류 → 보다 높은 운동에너지
→ 역압력구배 극복 → wake 영역 축소
→ 압력항력 감소
∴ Blunt: 난류로 천이시키는 것 유리

층류 → 보다 낮은 운동에너지
→ 마찰항력 감소
∴ Streamlined : 층류로 계속
유지시키는 것 유리

Blunt Body vs. Slender Body

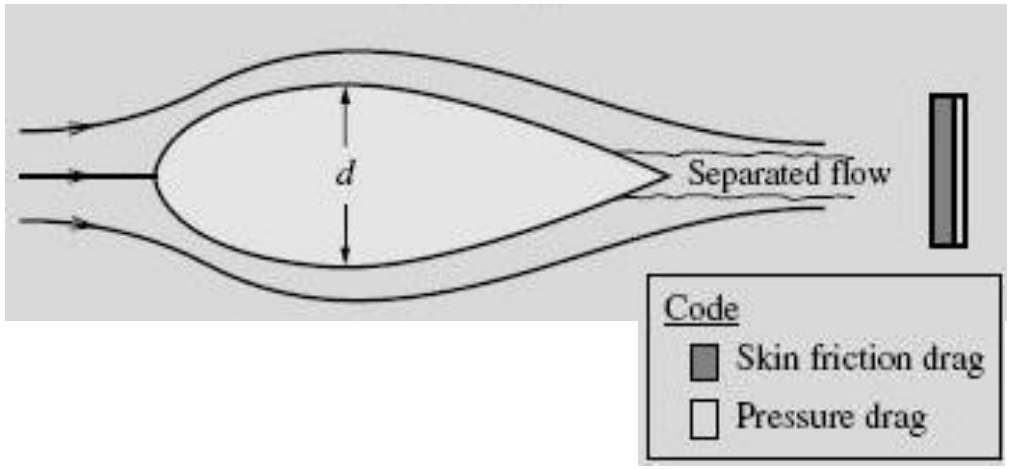
Blunt Body
(예 ; 원통, 구, 골프공 등)



표면마찰항력	압력항력
Less Important	More Important

※ Desired Boundary Layer – Turbulent

Slender Body
(예 ; 에어포일, 날개 등)



More Important	Less Important

※ Desired Boundary Layer – Laminar

Design Consideration

❖ 항력을 고려한 설계 방향 :

→ 표면마찰항력과 압력항력 중 지배적인 것을 먼저 감소

- Blunt Body : 압력항력 감소 위주 → 난류경계층 천이 유도
- Streamlined Body : 마찰항력 감소 위주 → 층류경계층 유지

❖ Transition control 방법

1) Surface Roughness : 표면이 거칠수록 천이 가속
2) 압력구배 : 역압력구배가 클수록 천이 가속
3) 진동이 많을수록 천이 가속
4) 가열이 높을수록 천이 가속

❖ Examples : Laminar Airfoil (천이지연), 골프공(천이가속)

Design Consideration (필요시 생략: 중복내용)

Laminar boundary layer

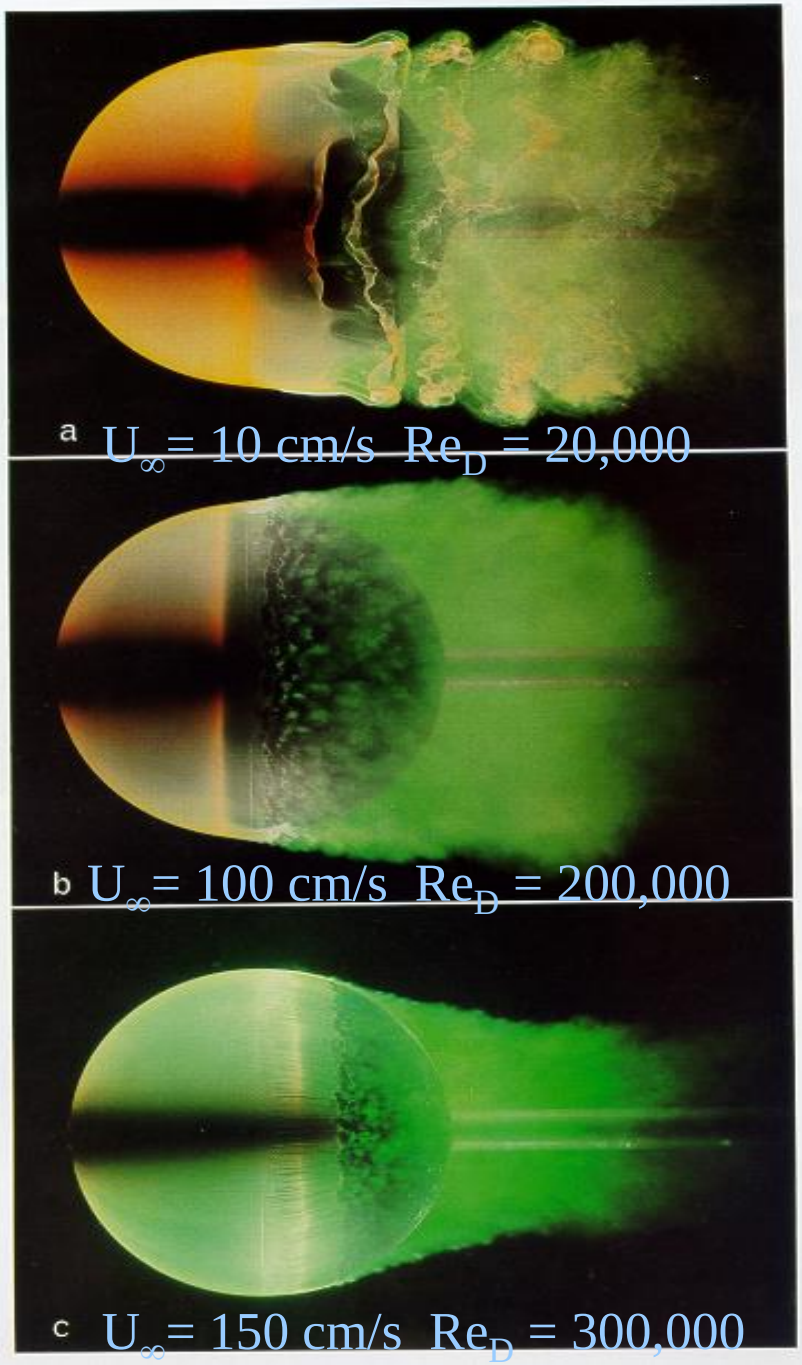
- Low velocity near wall = low energy
  - Low skin friction drag
  - Flow separation more likely → high pressure drag
- Good for streamlined objects (wing at low AoA)

Turbulent boundary layer

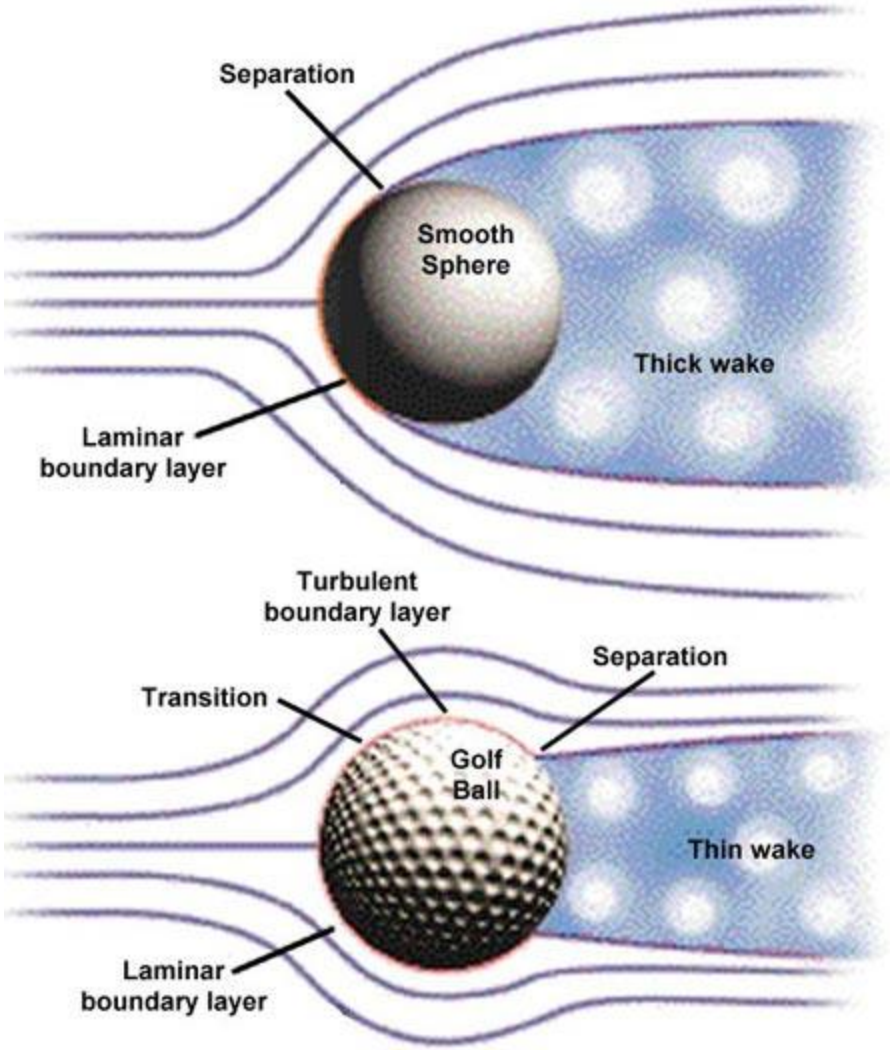
- High velocity near wall = high energy
  - High skin friction drag
  - Better able to overcome adverse pressure gradients
  - Delays flow separation → low pressure drag
- Good for blunt objects (golf ball; wing at a high AoA)

Turbulent vs. Laminar BL on Separation

Flow around a smooth sphere
in a water tunnel
(D = 200mm)



Golf Ball Aerodynamics : Why Dimple??



Golf Ball = Blunt Body

→ Pressure Drag Dominant

→ Turbulent BL 유리

→ Dimple 적용

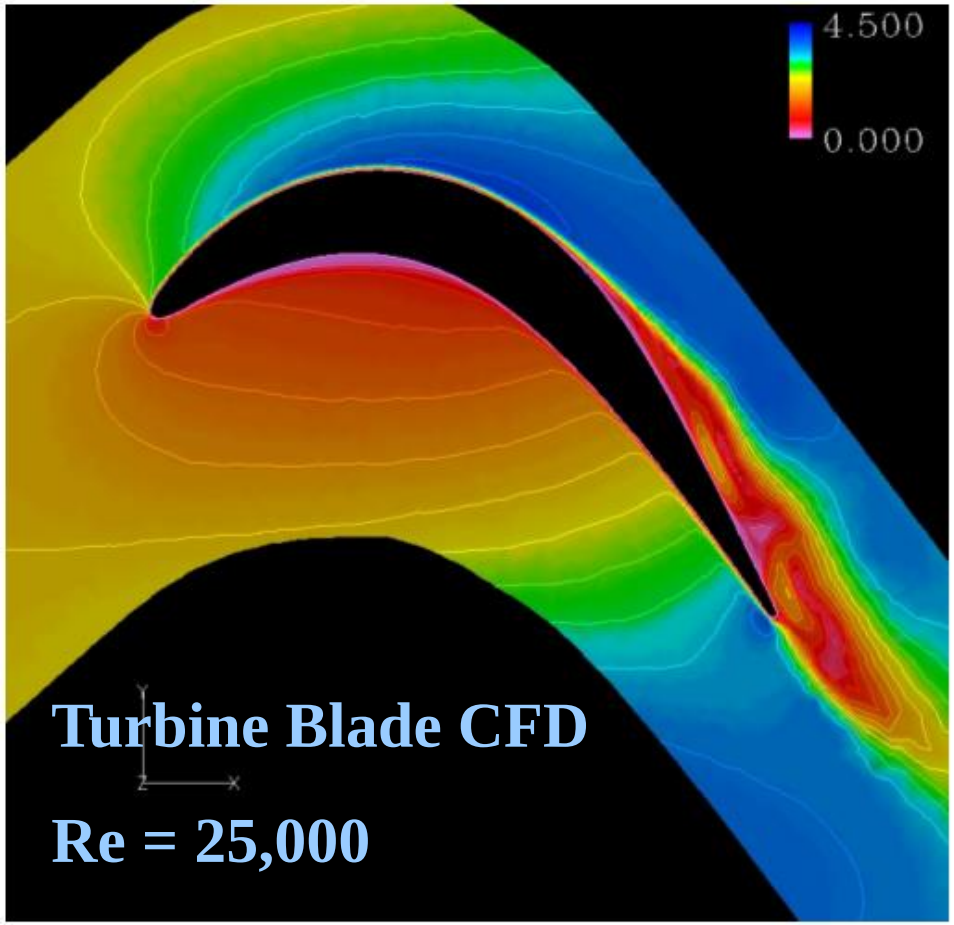
→ Surface Roughness 증가

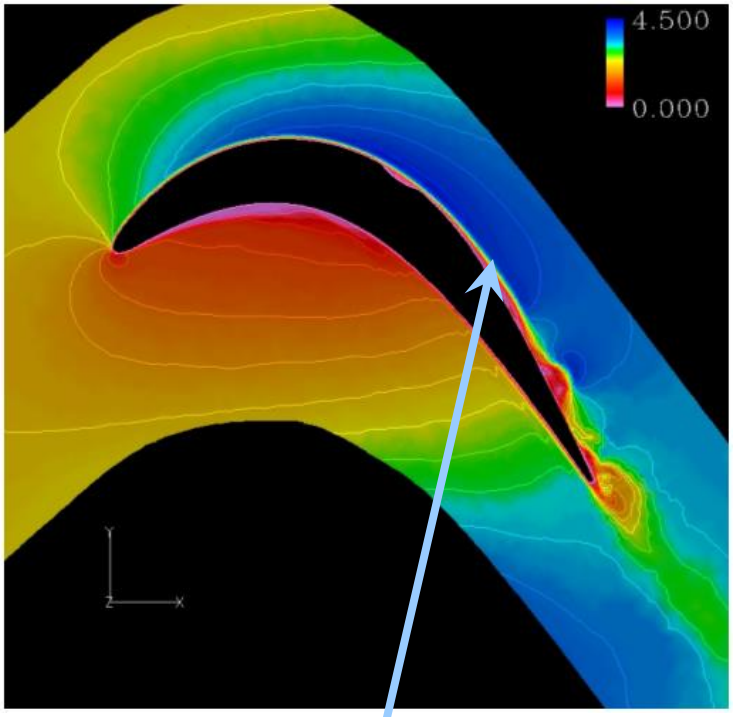
→ 난류경계층 천이 유도

→ Wake 및 압력항력 감소

- 난류경계층으로 유도함으로써
  비록 마찰항력은 다소 증가하지만
  압력항력을 훨씬 많이 감소시킴
  → 전체 항력 감소

Golf Ball Technology in Action

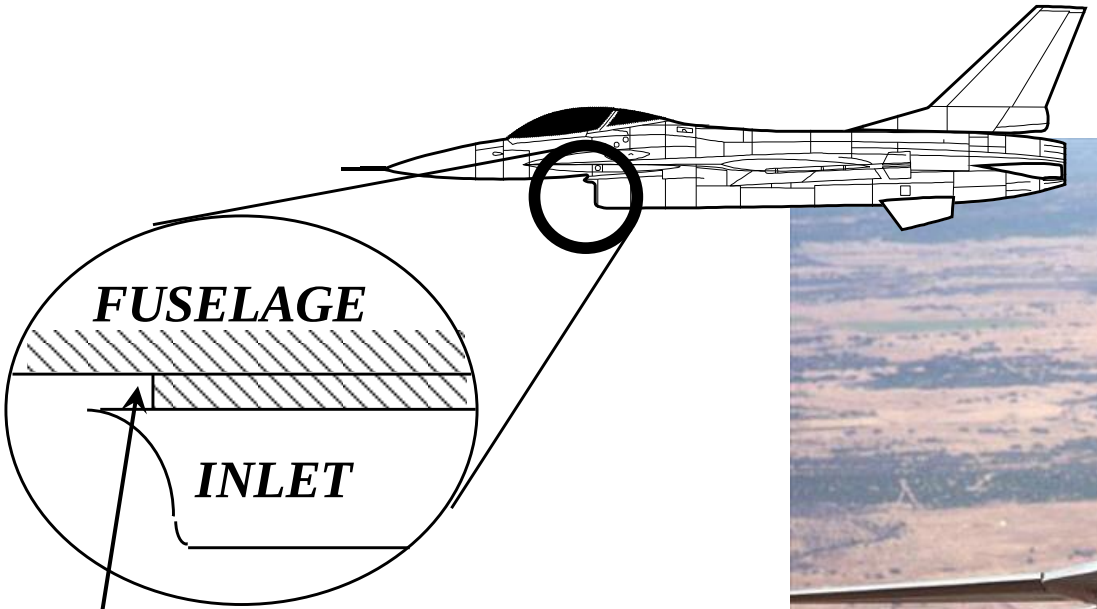




Turbine Blade CFD with Dimples

Design Considerations

- Desire high energy, smooth, uniform flow into engine
- Engine inlets are displaced from the fuselage to divert the boundary layer and avoid ingesting it



diverter

Design Considerations

Figure 1: Fighter Inlet Designs Featuring Boundary Layer Diverters, Compression Ramps and Bleed Systems.

Design Considerations (optional)

Diverterless Inlet

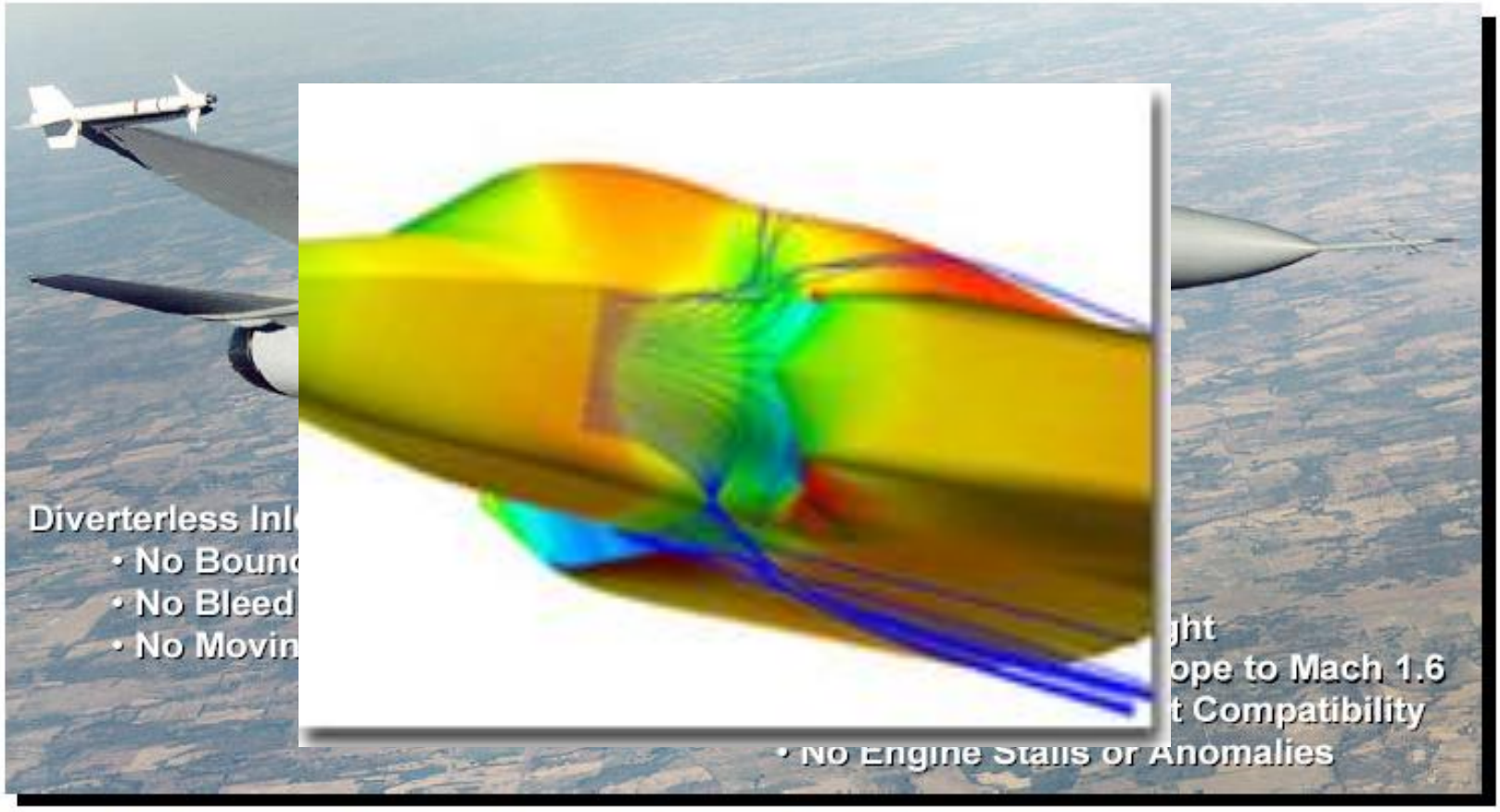


Figure 5: F-16 DSI Configuration in Flight

Design Considerations (optional)

- New design: Diverterless Supersonic Inlet
- Lockheed tested on F-16 and incorporated into JSF