1. **The unsteady forces are more involved for a rotary than a fixed wing.**

Fixed wing에 비해 rotary wing은 time varying system, returning wake, inflow dynamics, radial flow, dynamic stall, reverse slow, and complex blade motion 등 많은 unsteady 유동 특성을 가지고 있기 때문에 fixed wing보다 rotary wing이 unsteady force와 더 관련이 있다.

1. **Show the similarities and differences between the basic fluid mechanics equations and the basic structural mechanical equation.**

일반적으로 모든 역학에서의 기본 개념은 질량 / 운동량 / 에너지 보존 법칙을 따르게 된다. 그러나 structure mechanics의 경우 일반적으로 강체 운동으로 생각하여 해석을 하게 되지만 fluid mechanics의 경우 각각의 입자의 관점에서 방정식을 유도하는 라그랑지 방법과 어떤 일정한 체적에 대해 유동을 구하는 오일러 방법으로 나뉜다.

1. **Virtual aerodynamic forces play an important role in the pitch dynamics of the blade.**

Wing에서 발생되는 unsteady force는 크게 circulatory와 noncirculatory force로 나누어진다. Circulatory force는 circulation에 의해 발생되는 것이며, 이것은 vorticity의 근원이라고 할 수 있다. 반면 noncirculatory forces는 virtual 또는 apparent force라 불리는데, 다음 식을 보면 pitch dynamic에서는.virtual aerodynamic forces가 중요함을 알 수 있다.

1. **In a wind tunnel testing, the unsteady aerodynamic forces on a two-dimensional wing model were measured for a pure pitch motion as well as for a pure vertical vibratory motion. The discrepancy in the two sets of results was observed for identical angles of attack perturbation.**

Unsteady aerodynamic force는 pure pitch motion과 pure vertical vibratory motion에 coupled되어 있고, frequency가 인 pure harmonic motion일 때에는 wake vorticity도 frequency에 의해 periodic하게 되어, reduced frequency를 도입해야 한다. 따라서 이를 도입하지 않으면, 같은 angle of attack perturbation에서도 결과가 다르게 나온다.

1. **The neglecting of the effect of shed wake and other unsteady aerodynamic forces on the analysis of rotor performance is quite justified, but higher frequency vibrations one cannot ignore these forces.**

Shed Wake는 Unsteady Aerodynamic Force의 결정에 중요한 역할을 한다. 1/rev의 Motion에서 Unsteady Circulatory Lift는 Quasi-Steady Lift의 97%정도이다. 이는 Vorticity의 Shedding Wake에 의한 Unsteady Effect는 무시할 만한 수준임을 의미한다. 따라서 Lower Motion에서는 Unsteady Effect를 무시한 Analysis도 충분히 의미를 갖는다. 하지만, Higher Frequency Motion, 예를 들어 4/rev의 Motion에서는 15%정도의 Lift 감소가 일어난다. 이는 Higher Frequency Motion에서는 더 이상 Unsteady Effect를 무시할 수 없다는 것을 의미한다.

1. **During the forward flight mode, there is a continuous stretching and compressing of the vorticity in the shed wake.**

Forward flight에서 헬리콥터 로터는 시간에 대하여 변하는 free stream velocity를 가진다.

() 따라서 forward flight에서는 shed wake에서 vorticity가 stretching, compressing을 연속적으로 계속 하게된다.

1. **One has to be very careful to include the effect of shed vorticity for higher harmonic vibration.**

Higher Harmonic Vibration에서는 Time Varying Component가 Mean Component와 같은 Order를 갖게 되므로 Shed Vorticity Effect를 Direct Effect와 만큼 충분히 포함시켜 주어야 한다.

1. **Is there any difference between the induced velocities calculated using the momentum theory and the lifting line theory?**

Induced velocity calculated by momentum theory :

Induced velocity calculated by Lifting line theory :

따라서 두 이론으로 구한 유도속도는 다르다.

1. **For blade aeroelastic analysis (flap-lag), quasi-steady aerodynamics is widely used.**

Higher frequency mode가 중요하지 않은 대부분의 문제에서는 quasi-steady 가정으로도 상당히 정확한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 lower frequency가 주요한 문제에서는 quasi-steady aerodynamics가 주로 사용된다.

1. **The shed wake plays a more important role in hovering flight than the forward flight.**

Forward flight일 때는 forward speed가 있기 때문에, wake가 쉽게 빠져나갈 수 있다. 하지만 hovering flight일 때는 쉽게 빠져나갈 수 없으므로, unsteady load를 결정할 때, helical vortex sheet를 고려하여야 한다. 즉 hovering일 때는 returning shed wake의 영향이 중요하다는 것을 의미한다. 따라서 shed wake는 hovering일 때 더 중요하다.

1. **There are differences between the thin airfoil theory, lifting line theory, lifting surface theory and the rotor shed wake modeling.**

Thin airfoil theory는 2-D해석에 유용한 이론으로, airfoil의 두께를 충분히 얇다고 가정하고, camber line에 angle of attack이 가해진다고 가정하고, camber line에 vortex sheet를 놓아 lift solution을 구한다. 반면, lifting line theory는 3-D에서도 적용할 수 있는 것으로, wing tip에서는 lift가 ‘0’이 되므로, circulation 또한 ‘0’이 되고, 따라서 이는 span을 따라서 circulation이 변한다는 것을 의미한다. 이에 따라 vortex의 bound part는 varying strength에 single bound vortex line을 가정한다. 이것이 Prandtl lifting line theory이다.

Weissinger-L lifting-surface theory는 blade lift를 spanwise horshoe vortex element의 수열을 이용하여 나타낸다. Bound circulation은 1/4-chord에 위치하고, flow tangency condition은 3/4-chord로 한다. Lifting line model에 비해 W-L모델은 임의의 planforms와 fixed wing에 대해 구할 때 향상된 예측결과를 얻을 수 있다. 이것은 non-linear lifting line theory와 동등하다고도 볼 수 있다.

1. **The larger the reversed flow region on the retreating side of the rotor, the more the vibration.**

Reverse flow region이 커지면, 가 더 커지게 된다.(=) 따라서 aerodynamic moment가 커지게 되고, vibration도 더 많이 일어나게 된다.

1. **In a circulation-controlled rotor blade, the steady lift is primarily caused by blowing circulation, causing the aerodynamic center to be close to the half-chord position. To reduce the aerodynamic moment, the elastic axis is positioned at half-chord, but this may result in an unsteady torsional motion (single degree flutter).**

Aerodynamic Moment는 다음과 같은 식으로 표현된다.

위 식으로부터 Elastic Axis가 Aerodynamic Center에 가까이 가면 Aerodynamic Moment가 줄어들 것이라는 것을 알 수 있다. 하지만, Torsional Motion에서는 Elastic Axis로부터 Aerodynamic Center에 너무 가까우면, Pitch가 조금 변화 했을 때, 그 변화를 회복 시키려는 Moment까지도 너무 약하게 되어 결국엔 Torsional Flutter에 이르게 될 수 있다.

1. **The Theodoreson function C(k) is referred to as a feedback parameter of blade motion.**

Theodorsen Function C(k)는 Unsteady Motion때문에 Lift에 끼치는 Shed Vorticity에 영향을 미친다. 그리고 항상 Quasi-Steady Lift Value를 감소시킨다. k 값의 변화에 따른 Theodorsen Function의 Magnitude와 Phase의 Figure 를 보면, Magnitude는 Lift의 결핍을 초래하고, Phase는 Build Up된 Lift에서 Lag하는 것을 볼 수 있다. 따라서 C(k)는 Wake Vorticity의 Feedback Parameter의 한 Type이라 할 수 있고, 넓게 보면 Blade Motion의 Feedback Parameter라고도 할 수 있다.

1. **There is no Kutta condition for circulation control airfoils.**

Kutta condition은 potential flow model을 해석할 때 trailing edge에서 flow가 smooth하게 separate되도록 정해주는 것이다. 그런데, circulation control airfoil에서는 tagential방향으로 공기가 들어오므로, Kutta condition을 사용할 필요가 없다.

1. **Dynamic inflow modeling is an approximate representation for unsteady rotor forces.**

기존의 방법과 달리 dynamic inflow modeling은 unsteady의 영향을 momentum theory에 적용되는 inflow에 고려한다. 따라서 기존의 방법보다 훨신 쉽게 양력 등을 approximation하여 구할 수 있다.