

하드랜딩 시 구조취약부 판별을 위한 항공기 착륙 해석모델 개발

1. 연구 배경

항공기 사고 중 대부분은 이착륙 시에 가장 많이 일어나게 된다. 이러한 사고 중에 하드랜딩은 착륙 시 가장 빈번히 일어나는 사고이다. 대부분의 하드랜딩은 치명적이지는 않지만, 잘못된 예측 시 다음 비행 중 심각한 사고로 이어질 수 있다. 특히 장기운영 항공기의 경우 하드랜딩과 같은 비정상적인 착륙 상황은 피로균열을 일시 파단으로 진전시킬 수도 있다. 그러므로 운용하는 항공기의 기체 구조 건전성 확보를 위해서 반드시 하드랜딩의 발생 여부를 모니터링 할 필요가 있다. 그림 1은 하드랜딩에 의해 기체 손상이 발생한 경우를 도시한 것이다.



그림 1. All Nippon Airways (ANA) Boeing 767-381ER (JA610A) sustained substantial damage in a hard landing accident at Tokyo-Narita Airport (NRT), Japan on June 20, 2012.

현재 하드랜딩 발생여부의 공식적인 기준이나 객관적인 가이드라인은 마련되어 있지 않다. 그래서 각기 다른 기준으로 하드랜딩을 판단하게 된다. 특히 대부분의 경우 착륙 후 하드랜딩 의심 판정은 조종사의 판단에 의존하고 있다. 조종사가 하드랜딩 의심이라고 판단한 후 보고서를 제출하면 이에 따라 기체 손상여부를 검사하게 된다. 대개 1단계 육안검사에 한 시간 반 이상, 2단계 NDE 검사에 8시간 이상이 소요된다. 하지만 Boeing 사가 낸 통계에 의하면 현재 약 85%가 잘못된 판단이라고 보고가 되었다. 즉 불필요한 시간과 비용을 낭비하게 되며 검사기간 동안 항공기를 운용하지 못하므로 이에 따른 손실도 크다.

이러한 잘못된 판단이 발생하는 이유는 하드랜딩에 의한 기체손상이 승객 및 승무원의 안전과 직결되기 때문에 조금이라도 의심스러운 착륙 상황에서는 조종사가 하드랜딩 의심으로 판정하여 보고서를 제출하는 경우가 많고, 승무원마다 착륙상황을 받아들이는

정도가 다름에도 불구하고 객관적인 가이드라인 없이 전적으로 조종사의 감에 의해 하드랜딩을 판단하기 때문이다.

이에 대해 Boeing사는 그림 2와 같이 비행 데이터를 이용한 객관적 가이드라인이 있다면 잘못된 판단을 30%수준으로 저감할 수 있다고 예상하고 있으며, 구조건전성 평가 기법을 활용하여 자동 하드랜딩 탐지 시스템 도입 시 잘못된 판단을 5% 수준으로 낮출 수 있을 것으로 기대하고 있다. 따라서 본 논문에서는 착륙 후 항공기 구조물에 대한 검사 이전에 발생 가능성이 있는 구조취약부를 유한요소해석을 통해 미리 분석 및 예측할 수 있는 항공기 착륙 해석모델 구축을 목표로 하였다.

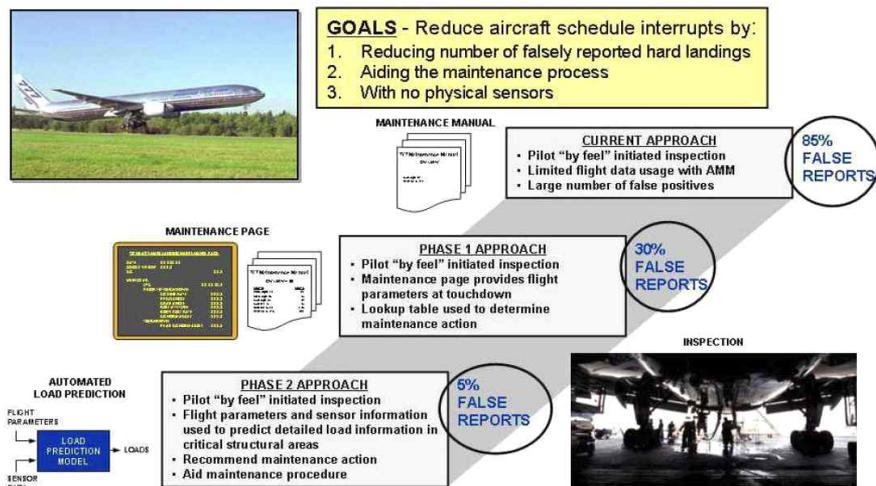


그림 2. 하드랜딩 탐지기술 발전에 따른 효율성 개선 예상

2. 연구 내용

항공기의 구조취약부를 판단하기 위해서는 다양한 착륙조건에 대하여 해석을 수행할 필요가 있으며 이를 위해서는 해석에 소요되는 시간이 짧을수록 보다 많은 해석을 수행할 수 있다. 항공기는 내부를 구성하고 있는 구조물이 상당히 복잡하며 착륙장치 내부에는 완충을 위한 공기와 오일, 오리피스 등이 있으며 타이어는 고무와 공기압으로 구성되어 있어 항공기 전체를 유한요소모델로 구성하기는 상당히 어렵고 해석에 시간이 많이 소요된다.

따라서 본 논문에서는 모델구축 및 해석에 소요되는 시간을 줄이기 위해 단순히 항공기 유한요소모델을 지면에 떨어뜨리는 비선형 해석이 아니라 다물체 동역학 프로그램 및 관성력 대체 방법(Extended inertia relief method)을 이용한 순차적인 해석을 통해 구조취약부를 판단할 수 있는 해석 모델을 개발하였다. 이러한 과정을 그림 3에 도시하였다.

먼저 다물체 동역학 프로그램을 이용하여 항공기의 오레오 댐퍼 및 타이어 모델을 구축하였고 이를 병합하여 착륙장치 모델을 구성하였다. 또한 항공기 상세모델을 구축한 후 이로부터 확보한 관성모멘트, 무게중심점의 위치 등의 정보를 이용하여 강체모델을 구축하였으며 착륙장치 모델과 함께 착륙 시물레이션을 수행하였다. 이 때 착륙장치로부터 발생하는 충격하중 및 기체의 관성력을 계산하게 된다.

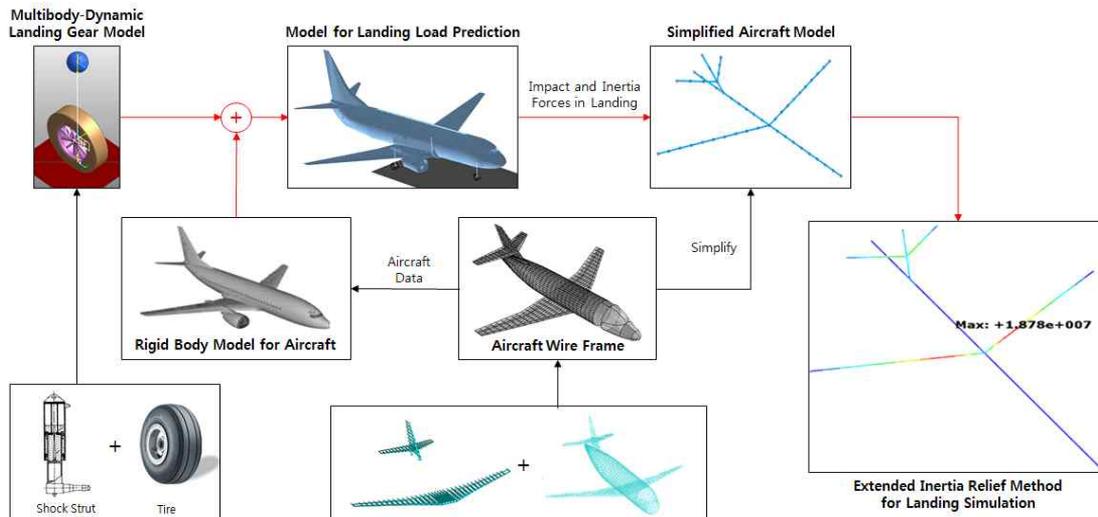


그림 3. 구조취약부 판별을 위한 항공기 착륙 해석모델 개념도

마지막으로 앞서 구한 충격하중 및 관성력을 단순화 된 항공기의 유한요소모델에 적용하여 기체의 구조해석을 수행하게 된다. 이 때 해석시간을 단축시키기 위해 관성력 대체 방법을 이용하여 선형 동적해석을 수행하였다.

오레오 댐퍼는 크게 single-acting shock strut과 double-acting shock strut으로 구분된다. 일반적으로 사용되는 single-acting shock strut과는 달리 double-acting shock strut은 거친 지면에서의 조향성을 증가시키는 효과가 있어 주로 전방 착륙장치에 사용된다. 보다 실제적인 해석결과를 얻기 위해 본 논문에서 주 착륙장치는 single-acting shock strut, 전방 착륙장치는 double-acting shock strut으로 구성을 하였다. 또한 해석시간 절감을 위해 유한요소모델로 오레오 댐퍼를 구성하지 않고 베르누이방정식, 연속방정식 등을 통해 오레오 댐퍼 방정식을 유도하였다.

타이어는 그 재료가 비선형 특성을 가지는 고무이며 타이어 내부에 공기압이 있으므로 유한요소모델을 이용하기보다는 이미 개발된 타이어모델의 운동방정식을 이용함으로써 모델구축 및 해석에 소요되는 시간을 절감하였다. 항공기는 착륙 시 코너링 등 복잡한 거동은 미미하므로 비교적 단순한 Fiala 타이어모델을 이용하였으며 기존 Fiala 타이어모델의 선형관계를 비선형으로 변경한 modified Fiala 타이어모델을 모델에 적용하였다.

앞서 구축한 완충장치와 타이어를 결합하여 착륙장치 모델을 구성하였으며 항공기 강체 모델과 결합하여 착륙시뮬레이션을 수행하였다. 이때 보다 실제적인 해석을 위하여 타이어와 지면간의 마찰 및 착륙장치의 탄성으로 인해 발생하는 spring back현상을 고려하였다.

항공기 착륙 시뮬레이션으로부터 착륙 시 항공기 기체가 착륙장치로부터 받는 하중 및 기체의 관성력을 계산하게 되며 이를 이용하여 구조해석을 수행하게 된다. 이때 특별한 가정이 없다면 비선형 충돌해석을 수행해야 하는데 이는 해석에 많은 시간이 소요되므로 관성력 대체 방법을 이용한 선형 구조해석을 수행하였다. 관성력 대체 방법은 변형

률이 크지 않다는 가정 하에 기하학적인 비선형을 제거시켜 선형 방정식을 구성하는 방법이다. 관성력 대체 방법을 이용한 해석의 타당성을 검증하기 위해 일반적인 비선형 해석과 관성력 대체 방법을 이용한 해석 결과 값을 비교하였으며 이는 그림 4와 같다.

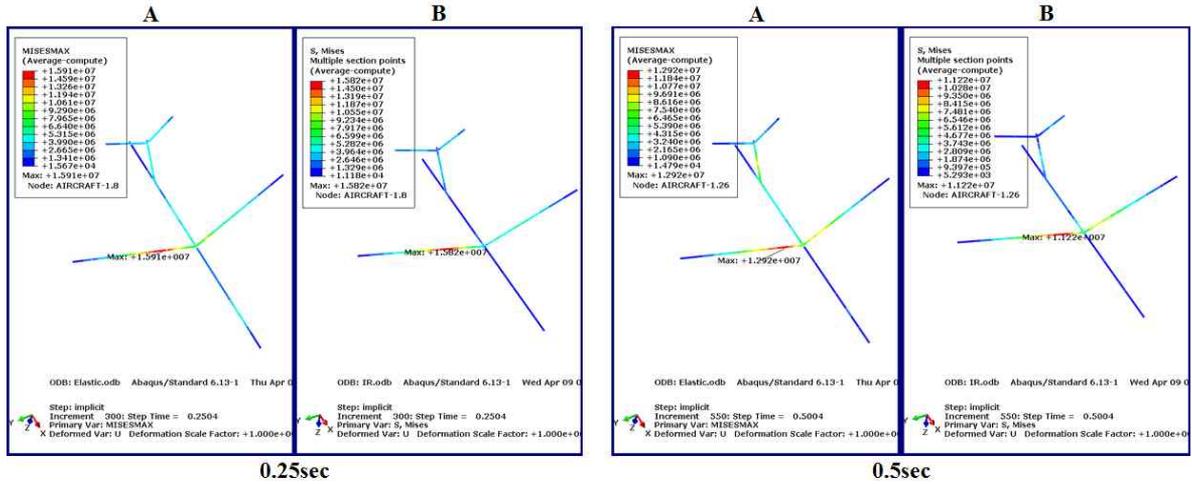


그림 4. 비선형 해석과 관성력 대체 방법을 이용한 선형 해석의 결과 비교(0.25s, 0.5s)

그림 4는 0.25초와 0.5초에서 두 해석방법의 최대응력 값 및 위치를 나타낸 것으로 A는 비선형 해석, B는 관성력 대체 방법을 이용한 선형해석 결과를 나타낸다. 몇 가지 경우에 대하여 해석을 수행한 결과 최대 응력 값은 미미한 차이가 발생하였지만 최대응력이 발생하는 위치가 모두 일치하였으므로 본 논문에서 개발한 해석 모델이 구조취약부를 판별하는데 있어서 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다.

3. 결론

하드랜딩은 항공기 사고 중 가장 빈번하게 일어나는 사고이지만 현재 하드랜딩 판단에 있어서 객관적인 가이드라인이 제시되어 있지 않으므로 이로 인해 발생하는 시간적, 경제적 손실이 크다. 따라서 이러한 손실을 줄이기 위해 항공기의 구조취약부를 판별하는 것이 필요하지만 실제 항공기의 하드랜딩을 통해 구조취약부를 판별할 수는 없으므로 해석모델을 통해 구조취약부를 판별하고자 한다. 일반적인 유한요소해석을 수행할 경우 해석에 많은 시간이 소요되므로 본 논문에서는 다물체 동역학 해석 및 관성력 대체 방법을 이용한 순차적인 해석모델을 개발하였다.

해석결과 본 논문에서 제시한 해석모델이 구조취약부를 정확히 판단하는 것을 확인하였으며 해석에 소요되는 시간이 적으므로 보다 다양한 착륙조건에 대한 해석 수행이 가능하다. 이를 통해 다양한 해석 결과를 데이터화 하게 되면 향후 하드랜딩 시 착륙조건 만으로도 구조적 파손이 의심되는 부위를 바로 식별할 수 있으며 나아가 항공기 착륙조건에 따른 하드랜딩 발생여부를 판별할 수 있는 기준도 제시 가능할 것으로 기대된다.