복합재연소관과 노즐의 결합부위에대한 응력 및 파손해석

● 한국 과학기술원(KAIST)
항공우주공학과
– 洪昌善, 金容完, 朴志祥
● 국방과학연구소 (ADD)
– 趙源晩, 鄭 渤, 黃泰耿
(以上 6명 공동연구)

복합재 연소관과 노즐을 기계적 체결방법으로 결합하면 결합부위에서 재료의 불연속성과 기하학적 불연속성으로 인한 높은 응력집중이 발생해 구조적으로 매우 취약하게 됩니다. 복합재 연소관의 경우에는 내압을 받는 원통형 구조물이므로 기존의 평판에 대한 연구결과를 그대로 사용할수 없으므로, 이 글에서는 복합재 셀 구조물의 응력 및 파손 해석을 수행할수 있도록 1차전단변형 셀 이론을 이용한 유한요소해석 프로그램을 개발하였습니다. 기계적체결부위의 모델링에 대해 검토하였으며 복합재료의 파손평가에 사용되는 여러가지 파손식을 적용해 비교하였습니다. 이 해석방법을 이용해 복합재 연소관의 적층각, 볼트직경, 연소관의 끝단까지의 길이 등이 파손하중에 미치는 영향을 제시하였습니다 (필자 주)

복합재료의 제조기술이 향상되고 여러가지 연구를 통해 복합재료에 대한 신뢰성이 점차 높아짐에 따라 하중을 많이 받고 복잡한 부위에 대한 복합재료의 응용이 증가하게 되었습니다.

이러한 맥락의 일환으로서 기존의 금속재 연소관을 복합재 연소관으로 대치해 구조적인 성능을 높이기 위한 연구가 진행되고 있습니다.

그러나 연소관 자체를 복합재료로 설계하는 것도 중요한 문제이지만, 취약한 부위인 복합재 연소관과 노즐의 결합부위에도 기존의 설계개념을 그대로 응용할 수가 없습니다.

따라서 이에 관한 연구가 절실히 필요하게 되고 복합재 구조물의 경우에는 많은 설계인자의 영향을 실험적으로 규명하는 것은 방대한 시간과 비용을 요구함을 감안하면, 이론적으로 혹은 수치적인 방법으로 해석을 할수 있는 도구가 필요해 이번 연구가 수행되었습니다.

복합재 구조물의 기계적 체결부위를 설계할 때는, 기존의 금속재의 기계적체결부위 설계에서 고려한 사항 이외에도 강화재와 모재의 특성, 적층순서, 섬유방향 등의 인자를 고려해야 하며, 외부 하중에 대한 거동과 파손양상도 다양하게 나타나므로 이를 고려해야 합니다.

복합재 구조물의 기계적체결부위에 대한 연구도 복합재료가 구조물에 응용되기 시작한 것과 때를 같이해 진행되어 왔지만, 대부분 평판에 대한 결과이거나 단순한 하중상태에 대한 결과입니다.

응력 및 파손 해석

• 응력 해석

복합재 연소관은 비교적 두꺼운 셀 구조물이므로 두께 대 곡률반경의 비가 크거나 이방성이 큰 복합재 구조물의 거동을 비교적 정확히 해석할수 있는 1차전단변형 셀 이론을 사용하였습니다.

이는 변형전에 중립면에 대해 수직인 평면은 평면으로 남지만 횡전단변형에 의해 회전한다

는 가정하에 변위장을 두께의 1차함수로 근사하며, 두께가 비교적 두껍지 않다는 가정이 이용됩니다.

두께 대(對) 반경비(比)에 따른 이 이론의 적용 범위에 대해서는 이번 연구에서 검증이 수행되었습니다.

유한요소 해석은 8절점 요소를 사용하였으며 응력값은 각 층별로 요소의 적분점에서 전체 좌표계 성분과 재료 주축방향으로 구해 임의의 좌표로 내삽, 외삽하여 파손해석에 이용됩니다.

• 파손 해석

복합재 구조물의 기계적체결부위는 비교적 낮은 하중상태에서 모재균열, 층간분리등과 같은 거시적인 파손이 발생한 후에 이들이 상호 영향을 미치면서 부품파손에 이르게 됩니다.

기계적체결부위의 파손은 체결부위가 더 이상 결합부위로서의 기능을 수행할수 없는 시점을 의미합니다.

이러한 관점에서 체결부위파손은 하중과 수직인 방향으로 인장하중에 의해 파단되는 인장파손, 전단하중에 의한 전단파손, 볼트나 핀이 하중을 전달하는 위치에서 적층판에 발생한 압축하중에 의해 발생하는 압축파손, 그리고 볼트나 핀이 적층판에 하중을 전달하는 위치에서 인장하중에 의해 발생하는 벽개파손 등이 있습니다.

이외에도 면외하중이나 굽힘하중 등에 의해 볼트나 핀이 적층판의 면외방향으로 빠져 나가는 형태의 파손과 볼트나 핀 자체의 파손도 기계적체결부위의 파손양상으로 분류됩니다.

실제로는 몇가지의 파손양상이 조합되어 분명히 구분할수 없는 경우도 많습니다.

파손 판정은 최대응력 파손식, 최대변형률 파손식, 그리고 Yamada-Sun 파손식을 사용하여 비교했습니다. 복합재 연소관과 노즐의 결합부위의 파손판정에는 Yamada-Sun 파손식을 사용하였습니다.

처음에는 결합부위가 복합재료로 제작된 연소관과 두꺼운 금속재 노즐로 구성되었으나 설계압력에 비해 너무 낮은 압력에서 파손이 되어, 결합부위를 금속재(철) 원통으로 보강하였습니다.

하중은 내압을 받고 있는 상태이며 볼트가 원주방향을 따라 주기적으로 배열되어 있습니다. 결합부위가 볼트의 갯수만큼 주기를 가지는 축대칭 형태의 구조물이므로 한 주기의 절반만을 모델링 하였습니다.

복합재 연소관과 기계적 체결부위 모델링

유한요소 모델링을 한 축방향길이는 여러번 계산을 한 후에 응력 및 변형상태에 영향을 미치지 않을만큼 충분히 길게 하였습니다.

금속재 원통이 보강된 경우를 해석할 때에, 금속재 원통과 복합재 연소관은 완전 결합되어 있다고 가정했습니다. 그리고 금속재 원통과 연소관의 접착결합부위는 별개의 3차원해석을 통해 조사하였습니다.

맺 는 말

복합재 연소관과 노즐의 기계적 체결부위에 대해 응력 및 파손 해석을 할수 있는 프로그램을 개발하고, 이를 이용한 해석을 수행해 다음과 같은 결론을 얻었습니다.

복합재 연소관의 경우에는 섬유방향을 변경할수 있는 층이 제한되어 있으므로 섬유방향의 변화는 파손하중과 양상에 큰 영향을 미치지 않았습니다.

동일한 직경을 가지는 볼트를 여러개 사용하는 것에 비해 직경이 큰 볼트를 적게 사용하는 것이 다소 기계적 체결부위의 파손하중을 높일수 있습니다.

연소관의 끝단까지의 길이 대 볼트직경의 비가 증가하면 파손하중이 증가하였으나 비가 3이상되면 포화하여 일정한 파손하중값을 가졌습니다.

금속재로 보강했을때 전단응력은 금속재가 끝나는 부위에서 가장 높게 작용했습니다. *