

안물안궁 엔지니어링 3

헬리콥터의 비행원리

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

C군의 네버엔딩 스토리

지난 연재에서는 점점 빨라지는 항공기의 속도로 인해 날개에서 발생하는 문제점과 이를 해결하기 위해 개발된 기술에 관해 설명해 드렸습니다. 이번 연재에서는 또 다른 형태의 항공기인 헬리콥터의 비행원리를 간단히 설명해보도록 하겠습니다. 엔진의 추력으로 전진하며 그 속도를 이용해 날개로 양력을 발생시키는 고정익 항공기의 비행원리는 대중적으로 많이 알려져 있습니다. 이에 반해 회전익 항공기로 불리는 헬리콥터의 비행원리는 다소 복잡하고 직관적이지 않아서 많이 알려지지 않은 것 같습니다.

비행기의 경우 동체에 고정되어 공기를 가르며 날개를 통해 양력을 얻는다면, 헬리콥터는 기체 엔진이 회전익을 돌려 양력을 발생시킵니다. 그래서 일반적 비행기를 ‘고정익기’, 헬리콥터를 ‘회전익기’라고도 부릅니다. 많은 분이 헬리콥터의 회전익을 프로펠러라고 부르시는 경우가 있는데, 헬기의 회전익을 부르는 정확한 명칭은 로터(rotor)입니다. 헬리콥터는 로터를 회전시켜 양력을 발생시키므로 활주로가 필요 없고, 정지 비행이 가능한 특징이 있습니다.

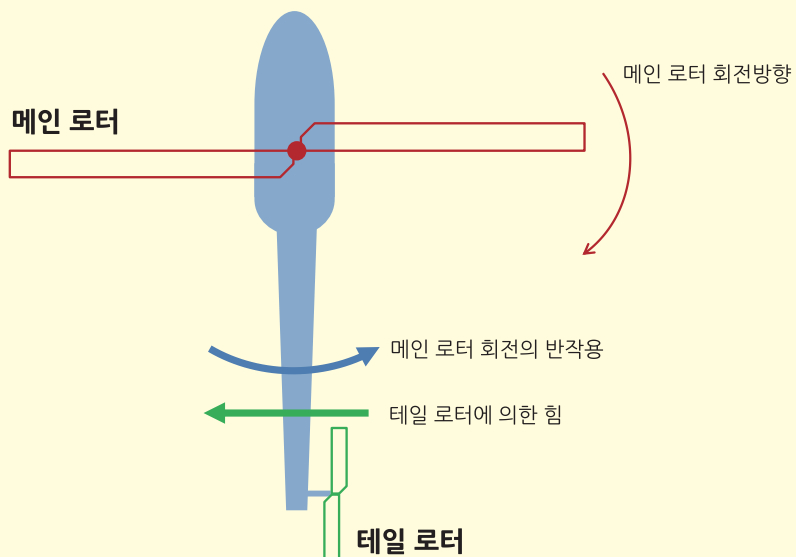


그림 1. 일반적 헬리콥터의 로터 구성

우선 헬리콥터의 가장 기본적 특성에 대해서 알아보겠습니다. 가장 일반적인 형태의 헬리콥터는 [그림 1]과 같이 고정익기의 날개 역할을 하는 ‘메인 로터(main rotor)’와 꼬리 날개 역할을 하는 ‘테일 로터(tail rotor)’를 가지고 있습니다. 메인 로터를 회전하여 양력을 발생시키므로 메인 로터 회전의 반작용에 의해 메인 로터 회전의 반대 방향으로 동체가 회전하려는 성질을 갖게 됩니다. 이 상태로는 우리가 원하는 정상적 비행이 불가하므로 테일 로터를 통해 메인 로터에 의한 동체 회전을 상쇄합니다. [그림 1]의 일반적 헬리콥터 구조와 달리 [그림 2]와 같이 테일 로터를 사용하지 않고 메인 로터 회전의 반작용을 상쇄하는 방식도 있지만 지면 관계상 가장 일반적인 형태의 헬리콥터의 비행원리만 설명하도록 하겠습니다.

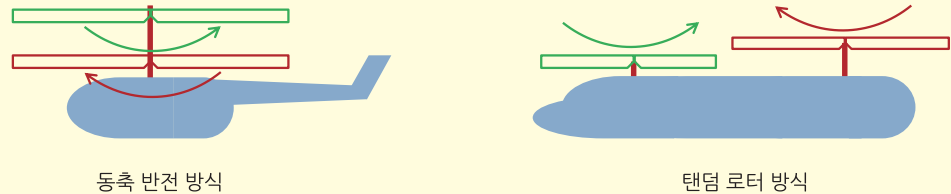


그림 2. 기타 헬리콥터의 로터 구성



그림 3. 모형 헬리콥터의 메인 로터 부분 사진

우리가 헬리콥터의 기계적 구조에 대한 지식이 없는 상태에서 비행을 상상해보면 [그림 1]로부터 헬리콥터가 상승하기 위해서는 메인 로터의 회전 속도를 높여 양력을 증가시키고, 높아진 메인 로터의 회전 반작용에 의한 동체의 회전을 상쇄하기 위해 테일 로터의 회전 속도를 높여야 할 것으로 보입니다. 헬리콥터가 하강하기 위해서는 상승 시와 반대로 메인 로터의 회전 속도를 낮춰 양력을 감소시키고, 테일 로터의 회전 속도도 감소시켜야 할 것으로 보입니다. 또한, 좌측으로 기수를 회전하기 위해서는 테일 로터 회전수를 높여서 [그림 1]의 녹색 화살표로 표시된 힘을 증가시키고, 우측으로 기수를 회전하기 위해서는 테일 로터 회전수를 낮춰서 녹색 화살표로 표시된 힘을 감소시키면 될 것으로 보입니다.

하지만 실제 헬리콥터의 상승과 하강, 좌우 회전은 메인 로터나 테일 로터의 회전수 하나로 제어되는 것이 아니라 상황에 따른 적정 회전수와 로터 날개의 각

도 조절을 통해 이루어집니다. 로터의 흥미로운 점은 바로 [그림 3]과 같이 로터 날개의 각도를 위치에 따라 변화시킬 수 있다는 점에 있습니다. [그림 3]은 C군이 사놓고 10년 넘게 방치 중인 모형 헬리콥터의 메인 로터 부분 사진입니다. 모형이지만 실제 기체와 그 원리는 동일합니다. [그림 3]의 녹색 화살표는 로터의 회전 방향이고 붉은색 화살표는 로터의 각도입니다. 보시는 것과 같이 오른쪽 로터 날개는 회전 방향에 대한 날개의 각도가 예각이고, 왼쪽 로터 날개는 회전 방향에 대한 날개의 각도가 둔각입니다. 이렇게 로터 날개의 위치에 따라 각도를 변화시키는 것은 [그림 4]의 ‘스와시 플레이트(swash plate)’라는 기구를 통해서입니다.

[그림 4]의 왼쪽은 메인 로터와 스와시 플레이트 전체를, 오른쪽은 스와시 플레이트만을 확대해서 보여주고 있습니다. 오른쪽의 녹색 화살표는 스와시 플레이트 상부를, 붉은색 화살표는 하부를 가리키고 있습니다. 스와시 플레이트의 상부와 하부는 베어링으로 연결되어 상부는 메인 로터와 같이 회전하고 하부는 정지된 상태로 헬리콥터의 조종간과 연결되어 높낮이와 기울기 조절이 가능합니다. 조종사가 조종간을 통해 스와시 플레이트 하부의 높낮이나 기울기를 조정하면, 베어링으로 연결된 상부는 하부의 높낮이와 기울기에 맞춰 로터와 같이 회전을 하게 되며, 스와시 플레이트 상부와 링크를 통해 연결된 메인 로터 날개는 [그림 3]과 같이 위치에 따라 각도가 변하게 됩니다.



그림 4. 스와시 플레이트와 메인 로터 연결 링크

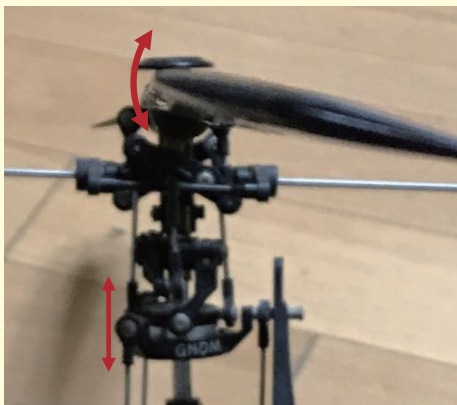


그림 5. 스와시 플레이트 높낮이와 메인 로터 날개 각도

엔진 회전수를 최적으로 고정하고 비행한다고 가정하면 헬리콥터의 상승이나 하강은 메인 로터 날개의 위치에 상관없이 날개의 각도가 똑같이 증가하거나 감소해야 하므로 [그림 5]와 같이 스와시 플레이트 높낮이 변화를 통해 제어하며, 전후좌우 이동은 로터 날개의 회전면을 원하는 진행 방향으로 기울여야 하므로 스와시 플레이트의 기울기 변화를 통해 제어하게 됩니다. 이는 [그림 4] 왼쪽에서 앞으로 기울어진 스와시 플레이트를 통해 로터 날개가 우측에서는 회전 방향에 대해 - 각도를, 좌측에서는 + 각도를 갖는 것을 통해 확인하실 수 있습니다.

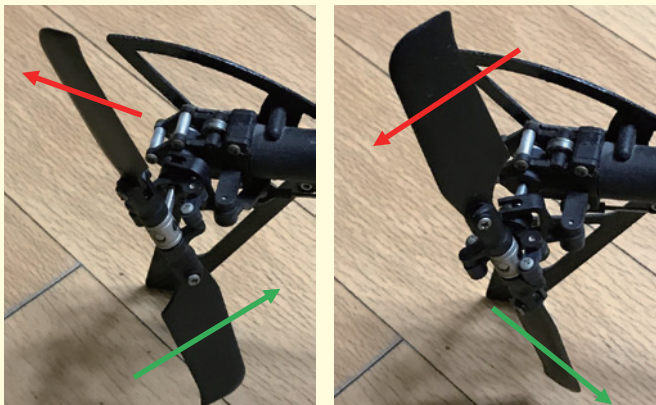


그림 6. 테일 로터 날개 각도 변화

마지막으로 기수의 좌우 회전은 [그림 6]과 같이 테일 로터의 날개 각도를 변화시켜 제어합니다. [그림 6]의 화살표는 회전 방향에 대한 테일 로터 날개의 각도를 보기 쉽게 표시한 것이며, 좌우 양쪽으로 각도를 변화시킬 수 있어서 메인 로터 회전에 의한 반작용을 상쇄하는 각도를 기준으로 좌우로 날개 각도를 더 꺾을 수 있어 기수를 양쪽으로 회전시키는 것이 가능합니다.

상승·하강, 기수 회전의 원리를 알게 되었으니 전후좌우로 비행하는 원리만 알면 헬리콥터의 비행원리를 대략 이해할 수 있게 됩니다. 사실 헬리콥터가 전후좌우로 비행하는 것에 대단한 원리는 없습니다. 생각보다 간단해서 메인 로터의 회전면을 원하는 비행 방향으로 기울이면 그 방향으로 비행할 수 있는데, 여기에 의외로 신기한 물리현상이 개입하게 됩니다. 바로 ‘**Gyroscopic Precession(자이로스코프 세차운동)**’이라는 것인데, Youtube에서 Gyroscopic Precession으로 검색하시면 [그림 7]과 같이 세로로 빠르게 회전하는 원반의 중심축 한끝을 천장에 줄로 매달면, 원반이 중력에 의해 줄에 수평으로 대롱대롱 매달려 회전하는 것이 아니라, 세로로 세워진 채 줄을 중심으로 회전하는 현상을 찍은 동

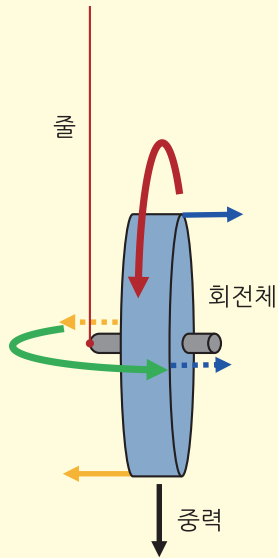


그림 7. Gyroscopic Precession

영상을 볼 수 있습니다. 설명에서 ‘자이로스코프 세차운동’ 대신 영어 표현을 사용하는 이유는 영어 표현으로 더 많은 자료를 인터넷에서 찾으실 수 있어, 추후 관심 있으신 독자들의 검색 편의를 위해서입니다.

Gyroscopic Precession이 일어나는 원인을 정리하면 다음과 같습니다. 빠르게 회전하는 원반의 회전축 한끝을 [그림 7]과 같이 천장에 줄로 매달면 줄의 장력과 지구의 중력에 의해 원반 위쪽은 파란색 화살표로 표시된 방향으로 힘을 받고, 원반 아래쪽은 노란색 화살표로 표시된 방향으로 힘을 받습니다. 그래서 원반이 수평으로 높게 될 것으로 우리는 모두 예상하지만, 회전하는 원반의 경우 힘의 작용 결과가 90도 회전 이후에 나타납니다. 그래서 파란색 실선으로 표시된 힘의 작용 결과는 원반이 90도 회전한 후의 위치에서 파란색 점선 방향의 이동으로 나타나고 노란색 실선으로 표시된 힘의 작용 결과는 원반이 90도 회전한 후의 위치에서 노란색 점선 방향의 이동으로 나타나게 되어 원반은 줄을 중심으로 녹색 화살표 방향으로 회전하게 됩니다. 왜 힘의 작용 결과가 90도 회전 이후에 나타나는지는 복잡한 역학 지식이 필요하므로 C군의 지적 한계로 인해 그냥 믿고 넘어가시기를 부탁드립니다. 이 부분 매우 죄송합니다.

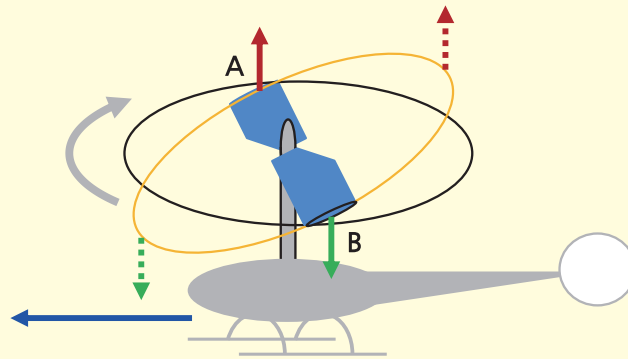


그림 8. Gyroscopic Precession과 헬리콥터의 비행

위 Gyroscopic Precession을 이용하여 헬리콥터의 전후좌우 비행원리를 설명하겠습니다. [그림 8]에서 조종사가 헬리콥터를 전진시키기 위해서 조종간을 조작하여 스와시 플레이트의 기울기를 조정하고, 이를 통해 회색 화살표 방향으로 검은색 원주를 따라 회전하는 메인 로터의 날개가 A 위치에서는 양의 각도를, B 위치에서는 음의 각도(로터 날개의 각도는 회전에 따라 연속적으로 변함)를 갖도록 했다고 가정합니다. 이 경우 메인 로터 날개가 A 위치에서는 위쪽(붉은색 화살표)으로, B 위치에서는 아래쪽(녹색 화살표)으로 힘을 받게 됩니다. 그런데 Gyroscopic Precession으로 인해 힘이 작용한 결과는 메인 로터가 90도 회전한 후인 붉은색 점선과 녹색 점선의 위치에서 나타나게 되어 메인 로터의 회전면이 노란색 원주를 따라 앞으로 기울게 되고, 기울어진 메인 로터 회전면에 의해 양력의 횡 방향 힘(헬리콥터의 뒤쪽을 향함)이 생기면서 파란색 화살표와 같이 전진하게 됩니다. 후진이나 좌우 비행도 같은 원리로 위치에 따라 메인 로터 날개의 각도를 변화시킴으로써 가능해집니다.

방치로 인해 먼지만 쌓이던 모형헬기의 사진까지 찍어서 대략적으로라도 헬리콥터의 비행원리를 알려드리려 노력했지만, 충분한 내용이 전달되었는지 모르겠습니다. 특히 소개해 드리고 싶었던 내용은 Gyroscopic Precession이라는 상식을 깨는 의외의 현상이었는데, 이 부분은 C군 자신의 지식 부족으로 현상의 본질을 꿰뚫는 명쾌한 설명해 드리지 못해 더욱 아쉽습니다. 앞으로도 꾸준히 노력하여 더욱 흥미로운 내용을 쉽게 소개해 드릴 수 있도록 분발하겠습니다. 🍀