

안물안궁 엔지니어링 6

요트의 전진 원리

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

C군의 네버엔딩 스토리

무더위에 지쳐가는 몸과 마음을 시원한 바닷바람과 파도 소리로 청량하게 씻어내고 싶은 7월이 되었습니다. 코로나로 인해 올해도 마음껏 즐길 수 없는 바다이지만 백신의 도움으로 내년에는 꼭 여름 바다를 갈망하는 모든 사람이 마음껏 자유를 즐길 수 있게 되기를 바랍니다.



그림 1. 요트와 삼각돛 / 출처 : www.marineinsight.com

여름 바다 이야기를 꺼낸 것은 [그림 1]의 삼각돛을 단 요트에 관해 이야기를 해보기 위해서였습니다. 강과 바다에서 가끔 삼각돛이 옆으로 달린 요트들이 유유히 물살을 헤치며 우아한 항해를 하는 모습을 봅니다. 그런 모습을 보면서 누구나 한 번쯤은 ‘어떻게 돛을 옆으로 달고 배가 앞으로 나

갈 수 있을까' 하고 궁금해 해본 적이 있었을 것 같습니다. 한 번은 스쳐 지나갔을 그 의문에 대한 대답이 될 수 있는 이야기를 지금부터 시작하겠습니다. [그림 2]는 바람이 앞 또는 뒤에서 불 때 요트의 삼각돛이 어떻게 반응하는지를 보여줍니다. [그림 2]의 좌측은 바람이 뒤에서 부는 경우이며, 좌우로 일정 범위를 회전할 수 있는 삼각돛들은 앞쪽을 향하며 뒤에서 부는 바람을 받아 배를 전진시킵니다. 그러나 우측의 그림과 같이 바람이 앞에서 부는 경우 배의 삼각돛은 바람을 받지 못하고 펄럭이며 배를 전진시키지 못합니다.

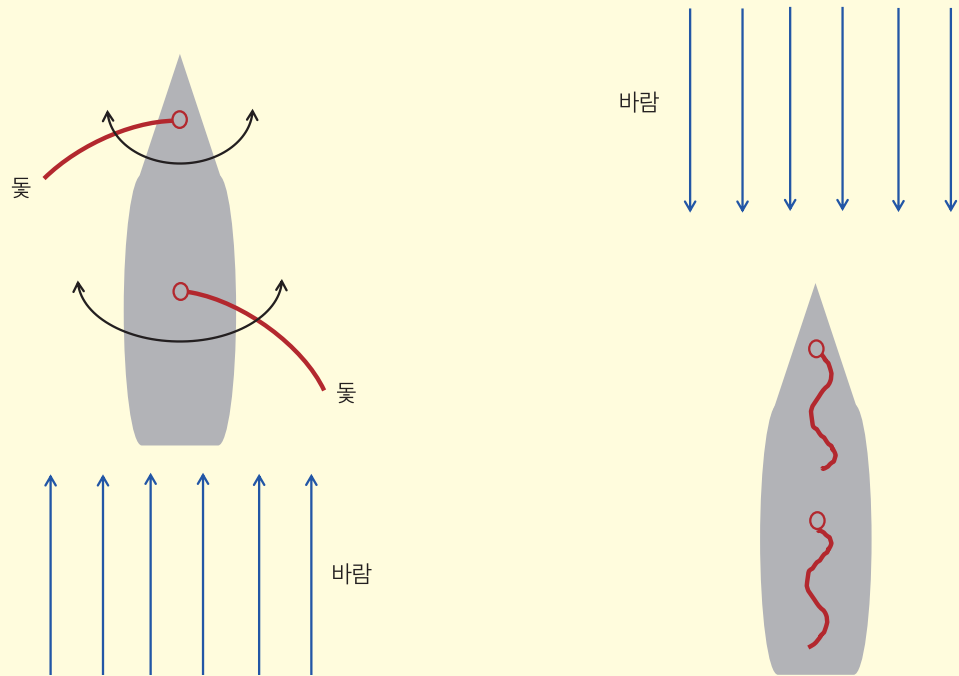


그림 2. 요트의 삼각돛과 바람

그런데 [그림 2]에서 나타난 삼각돛의 모양은 우리가 사진이나 영상에서 보던 [그림 1]과 같이 옆쪽을 향해 펼쳐진 삼각돛의 모양은 아닌 것 같습니다. 바람이 뒤에서 불 때는 삼각돛은 옆을 보기보다는 앞을 보는 모양에 가깝고, 바람이 앞에서 불면 제대로 펴지지도 않고 펄럭이고 마는 모습이라서 측면에서 보았을 때 [그림 1]과 같이 온전한 삼각형 모양은 아닌 것 같습니다. 측면에서 배를 봤을 때 [그림 1]과 같이 삼각돛도 배의 옆을 향하는 모양이 되려면 바람이 옆에서 불어야 할 것 같은데, 어떻게 옆에서 부는 바람에 배가 앞으로 나갈 수 있을까요? 이에 대한 답을 하나씩 풀어보겠습니다. [그림 3]은 측면의 바람을 이용해서 배가 전진하는 대략의 원리를 보여주고 있습니다. 배의 측면으로 부는 바람은 돛에 의해 굴절되며 돛에 힘(force) F_{wind} 을 가합니다. 이 F_{wind} 은 $F_{전진}$ 과 $F_{측면}$ 성분으로 분해될 수 있는데, 이 $F_{전진}$ 성분에 의해서 배가 앞으로 가속되게 됩니다. 힘이 0이 아니라는 것은 $F = ma$ 에 의해 가속도 a 가 0이 아니라는 것이며 이는 가속이 이루어진다는 것이므로, $F_{전진}$ 성분이 존재하고 이 성분이 물의 저항보다 크면 배의 속도는 점점 증가하게 됩니다. 일단 여기까지 배가 앞으로 나가는 것에는 별다른 의문이 없을 것 같습니다. 그런데 $F_{측면}$ 은 분명 존재하는 힘 같은데 왜 배를 옆으로 움직이지 못하는 걸까요? 이는 [그림 4]에 녹색 타원으로 표시된 물에 잠겨 보이지 않는 용골(Keel)이라는 부분과 관련이 있습니다. 분명 [그림 3]의 $F_{측면}$ 에 의해 배는 옆 방향으로도 힘을 받지만 [그림 4]의 용골이 측면으로 밀리는 것을 막는 물의 저항력으로 $F_{측면}$ 이 상쇄되어 배가 옆으로 가지는 않는다고 합니다. 실제로는 완벽히 옆 방향 움직임이 억제되기보다는 상당 부분 감소한다고 보는 쪽이 맞을 것 같습니다.

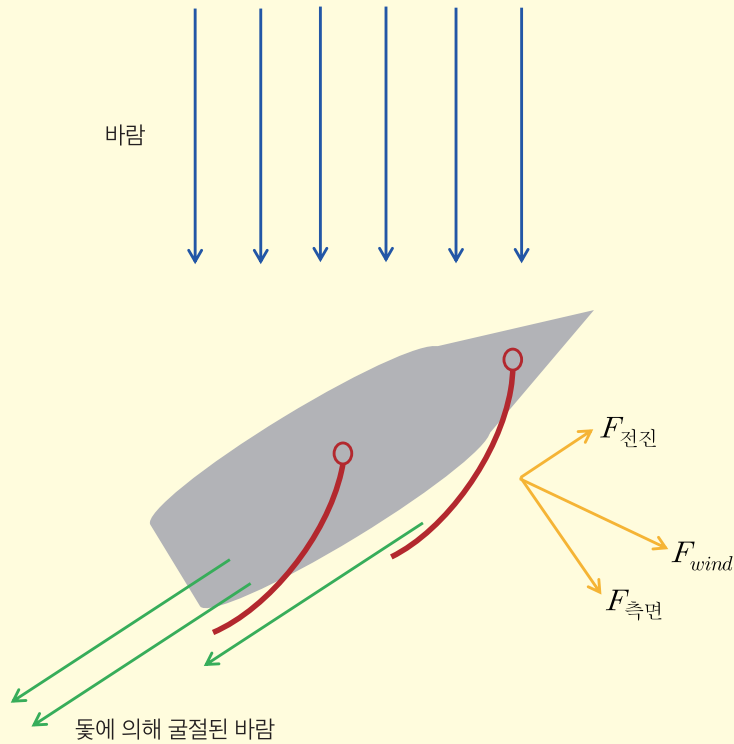


그림 3. 바람의 굴절과 배에 작용하는 힘



그림 4. 용골(Keel) / 출처 : www.sailmagazine.com

지금까지 대략 옆에서 부는 바람에도 삼각돛을 이용하여 배가 전진하게 되는 원리를 알아보았습니다. 그렇다면 이제 한 가지 더욱 흥미로운 사실을 알려드리겠습니다. 옆 방향으로 달린 삼각돛을 이용한 요트는 경우에 따라 바람보다 더 빨리 물살을 가를 수 있다고 합니다. 바람의 힘으로 가는 돛단배가 어떻게 바람보다 빨리 움직이는 것이 가능한지 좀 이상한 생각이 들기도 하지만 진짜인 것 같으니 이어지는 설명을 읽어보시기 바랍니다.

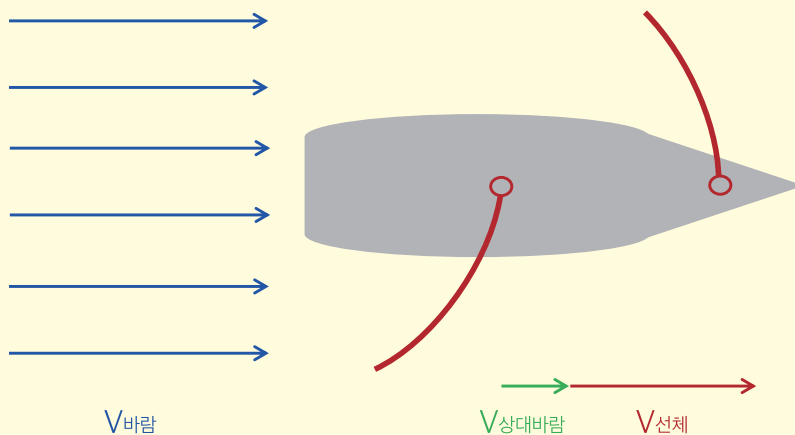


그림 5. 뒤에서 부는 바람과 선체에 작용하는 상대바람

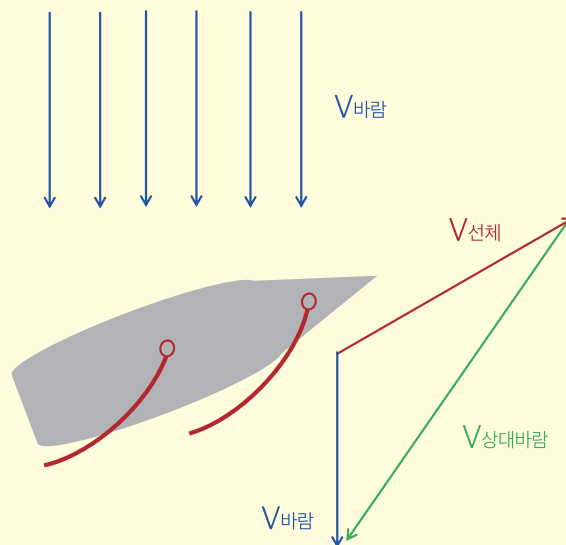


그림 6. 측면에서 부는 바람과 선체에 작용하는 상대바람

[그림 5]와 같이 바람이 선체 뒤에서 불어오는 경우 바람에 의해 선체가 가속될수록 선체의 속도 $V_{\text{선체}}$ 가 증가하고 바람의 속도인 $V_{\text{바람}}$ 과 선체의 속도 사이의 관계식인 $V_{\text{바람}} = V_{\text{선체}} + V_{\text{상대바람}}$ 를 통해서 배의 돛에 상대적으로 작용하는 바람의 속도인 $V_{\text{상대바람}}$ 은 지속적으로 감소합니다. 물의 저항 등을 무시하더라도 $V_{\text{선체}}$ 가 $V_{\text{바람}}$ 과 같아지는 순간 선체에 상대적으로 작용하는 $V_{\text{상대바람}}$ 이 0이 되어 배는 더 이상 가속할 수가 없습니다.

하지만 [그림 6]과 같이 바람이 옆에서 부는 경우 선체의 속도 $V_{\text{선체}}$ 가 증가할수록 [그림 5]의 뒤에서 부는 바람과 달리 돛에 상대적으로 작용하는 바람의 속도 $V_{\text{상대바람}}$ 또한 커지고, $V_{\text{상대바람}}$ 을 통해 돛에 작용하는 힘을 선체의 진행 방향과 측면방향으로 분해했을 때 선체의 진행 방향 성분이 0보다 큰 값을 갖는 한, 배는 계속 진행 방향으로 가속될 수 있습니다. 물론, 물에 의한 저항이 있어서 이 저항력과 진행 방향으

로 작용하는 힘이 같아질 때 가속은 멈추고 속도를 유지할 것입니다. 이렇듯 어떤 조건에서는 우리의 고정관념을 벗어나 바람보다 더 빨리 돛단배가 항해할 수 있다는 것은 매우 흥미로운 것 같습니다.

지금까지 6개월 동안 ‘안물안궁 엔지니어링’을 통해 매우 익숙하지만 그 원리를 별로 생각해보지 않았던 기술적 작품들을 다루며 공학적 창의성을 조금 더 깊이 들여다보는 시간을 가져봤습니다. 생업이나 학업에 직접 연관되지는 않더라도, 소개된 기술들에 대한 각자의 통찰로 기술인으로서의 직업적 삶에 조금이라도 도움이 되길 바라는 마음으로 소재를 찾고 원리를 조사하여 부족하지만 설명을 드렸습니다.

다음 연재부터는 방송과 직접적으로 연결될 수 있는 기술적 소재들을 중심으로 새로운 시리즈를 이어가 보도록 하겠습니다. 독자 여러분, 무더위에 건강 유의하시기 바랍니다. ☺