C군의 B급 잡설, 色 : 第一篇

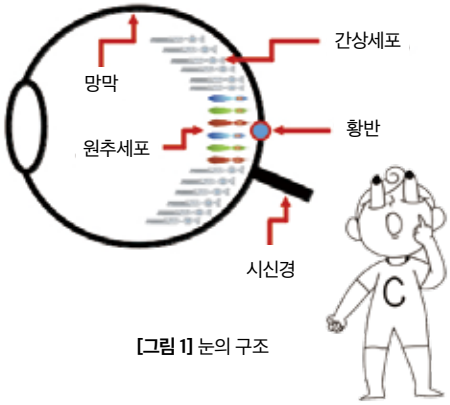
조인준 KBS 기술연구소 차장

꽃은 흐드러지고, 잎새가 산들바람에 흐느적거리니..... 옛 골목의 푸석한 시멘트 담벼락 같은 월급쟁이의 낯에도 발그레한 천연색으로 봄이 스미는 시절이 다시 돌아온 것 같습니다. 이 포근한 느낌이 따뜻하게 목구멍을 채우고 마음속까지 불쑥 들이대주면 좋으련만, 이런저런 민생고로 탁해지고 까칠해진 심사 탓에 봄과의 연애가 쉽지 않은 대한민국 직딩들의 아픔이 타인에 대한 배려와 공감이 넘치는 이 C군의 가녀린(?) 사지에 마디마디를 비트는 듯한 고통으로 절절히 박히고 있습니다.
(C군은 여러분의 의견과 상관없이 직딩들의 봄은 괴롭다고 멋대로 규정해버렸습니다. 그리고 이것이 이번 달 원고의 중요한 근간이므로 독자 여러분께서는 반론을 자제해주실 것을 부탁드립니다. ^^)

지난겨울의 무채색 풍경들이 질펀히도 알록달록해지는 봄을 보며, 그리고 그 현란한 봄을 망설이는 직딩들의 불구가 된 마음을 보며..... 이 C군, 가시보다 더 쓰라린 눈물로 아기처럼 뽀송뽀송한(?) 볼을 찰과상 보다 더 시뻘겋게 적시고 있습니다.

"계절에 상관없이 세상이 모두 잿빛으로 보인다면, 봄마다 직딩들을 괴롭히는 이 계절병이 평생 발병하는 일 없이 살아갈 수 있을까?

매달 뭐라도 써야하는 C군은 지금 뻔하고 유치한 질문을 대놓고 던지며, 억지로 색(色)에 관한 이야기를 어떻게라도 갖다 붙여 또 앞으로 몇 달을 연명해보려는 수작을 걸고 있습니다. 이왕 유치해진 전개에 더 솔직하게 이야기하겠습니다. 이번 호를 시작으로 당분간 인간이 어떻게 색을 인식하는지에 관해 연재를 이어가고자 합니다. 자동차 이야기가 심하게 신선도가 떨어져 가고 있다는 개인적 판단하에, 다른 소재로 입가심을 한 후 다시 자동차나 기타 화제로 돌아가 보려 합니다. 막무가내식 무원칙 연재에 심심한 사과의 말씀 드립니다. ^^;

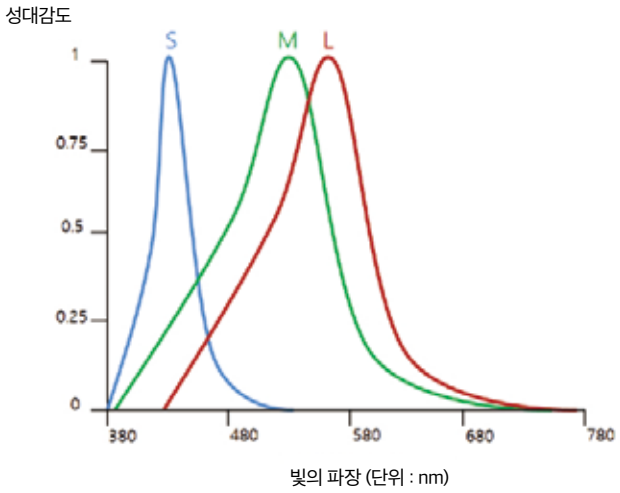


[그림 1] 눈의 구조

[그림 1]은 시각과 관련된 눈의 중요한 부분들을 요약하고 있습니다. 인간의 눈에 들어온 빛은 망막에 맺히고, 이를 시세포가 감지하여 시각을 형성합니다. 이 빛의 감지과정에 두 가지 중요한 세포가 관여하게 되며 이들을 간상세포(Rod Cell)와 원추세포(Cone Cell)라고 합니다. 이들 세포의 이름은 각기 그 모양에서 따온 것으로, 자료마다 그 수에 차이가 있지만 인간은 보통 1억 2000만~3000만 개의 간상세포, 700만~800만 개의 원추세포를 가지고 있다고 합니다.
간상세포는 망막의 주변부에 많이 분포하며 매우 약한 빛에도 민감하게 반응하는 특성이 있어서 어두운 곳에서도 빛을 잘 감지합니다. 하지만 빛의 양이 증가할수록 간상세포가 뇌에 보내는 신호는 점점 약해지며 빛이 일정 밝기를 넘어서면 간상세포는 더 이상 뇌에 신호를 보내지 않습니다. 간상세포의 이러한 특성으로 인해 인간은 어두운 곳에서 약간의 빛만으로도 사물을 식별할 수 있습니다. 하지만 종류가 하나뿐인 간상세포는 색을 구분하는 능력이 없어서 감지한 빛의 밝기에 대한 정보만을 줄

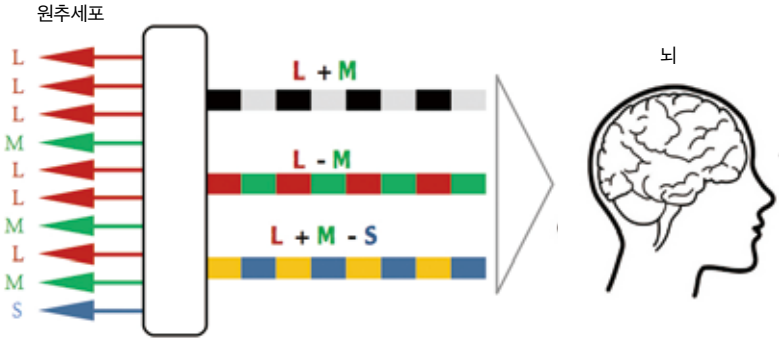
뿐, 색과 관련된 정보를 주지 못합니다.

원추세포는 망막 전체에 걸쳐 분포하지만 그 밀도는 위치에 따라 다릅니다. 눈의 초점이 모이는 황반은 모두 원추세포만으로 채워져 있지만 황반의 바깥으로 가면 원추세포의 수는 급격히 감소하여 분포밀도가 크게 떨어집니다. 원추세포는 간상세포와 달리 빛에 대한 민감도가 떨어져 활성화되려면 적당량 이상의 빛이 필요합니다. 이 때문에 간상세포가 야간에 쓰이는 것에 비해 원추세포는 주간에 쓰이게 됩니다. 간상세포와 달리 원추세포는 [그림 2]처럼 L, M, S의 3가지 종류가 있으며 이것이 인간이 색을 감각할 수 있는 원리가 됩니다.



[그림 2] 빛의 파장에 따른 L, M, S 원추세포의 상대감도

[그림 2]의 L 원추세포는 장파장(Long Wavelength)의 적색 주변의 색들, M 원추세포는 중파장(Medium Wavelength)의 녹색 주변의 색들, S 원추세포는 단파장(Short Wavelength)의 파란색 주변의 색들을 인식합니다. 감각하는 빛의 파장이 서로 다른 L, M, S 세 종류의 원추세포는 인간이 빨강, 초록, 파랑의 3원색을 통해 다양한 색의 빛을 표현하고 느낄 수 있는 원리가 됩니다. 망막에 존재하는 L, M, S 원추세포의 분포비율은 약 6:3:1로 추정이 되고 있습니다. S 원추세포의 수가 매우 적은 것은 단파장의 빛이 망막에 도달할 때 이미 광학적으로 선명도가 많이 떨어진 상태이므로 S 세포의 수가 많은 것이 시각에 별 도움이 되지 않기 때문인 것으로 추측되고 있습니다.



[그림 3] 원추세포와 뇌전달 색신호의 상관관계

조인준
KBS 기술연구소 차장

하지만 L, M, S 원추세포는 간상세포와 함께 뇌와 직접 연결되어 있지 않습니다. 모자이크처럼 망막에 존재하는 원추세포와 간상세포의 신호는 망막에서 어느 정도 서로 묶여 처리된 상태로 뇌에 전달됩니다. 이는 전체 원추세포와 간상세포를 합친 개수보다 훨씬 적은 약 80만 개의 가닥으로 뇌와 연결된 시신경 다발을 보면 알 수 있습니다. 전체 세포 수보다 적은 수의 신경 가닥을 통해 뇌로 전달되는 시각 신호를 생성하기 위해 L, M, S 원추세포의 신호들은 [그림 3]과 같이 망막에서 서로 더해지거나 빼지며 그 내용은 아래와 같습니다.

- **L 원추세포의 신호와 M 원추세포의 신호의 합은 뇌에 휘도신호를 전달**
- **L 원추세포 신호와 M 원추세포 신호의 차는 뇌에 적-녹 신호를 전달**
- **L, M 원추세포 신호의 합과 S 원추세포 신호의 차는 뇌에 황-청 신호를 전달**

눈치와 응용력이 뛰어난 독자라면 여기서 뭔가 스멀스멀 올라올 것입니다. '색맹'이 어떻게 일어나는지에 관한 뭔가 알 듯한 느낌말입니다. 안과의사가 아닌 C군은 정확한 지식이 없는 관계로 인터넷을 뒤져서 색맹에 관한 사실들을 조각조각 모아봤습니다. 색맹의 원인에 관한 아래의 정보가 정확하지 않을 수 있으니 너무 믿지는 마시고 그냥 재미로 읽어보시기 바랍니다.

- 색을 전혀 느낄 수 없는 사람 : 원추세포가 없음
- 한 가지 색만 느끼는 사람 : 한가지 원추세포만 가지고 있음

- 적록색맹
  - L 또는 M 원추세포의 완전 결핍
  - L 원추세포가 M 원추세포에 가까운 파장에 반응하는 경우, 또는 그 반대

- 황청색맹
  - S 원추세포의 완전결핍
  - S 원추세포가 정상적인 파장을 벗어나서 반응하는 경우

그런데 말입니다..... 아무리 잡스러운 이야기에 가깝더라도 이 정도까지 깊이감 있게 전개되니 뭔가 보람지고 고급진 기분이 들지 않습니까? 봄 이야기로 시작한 되도않던 화제조달 수작으로부터 불과 몇 분이 지났을 뿐인데 인간의 시각에 관한 놀랍고 경이로운 진도를 빼고 있는 지금! 숨막히도록 아름다운 이 순간에!

소박하고 신실한 진정성의 C군..... 공명심과 현학적 허세에 빠져들기 보다 '방송기술인'으로서의 사명을 언제나처럼 소중히 떠올리며 정말 피가 되고 살이 될 궁극의 방송기술 고급지식(?)을 여러분께 전해드리고자 심기일전하여 다시 키보드를 폭풍강타하겠습니다. 이제 이번 호의 절정, 분수령, 클라이맥스, 대단원!

여러분..... 놀라지 마십시오. 원추세포의 신호를 조합해서 뇌로 전달되는 휘도, 적-녹, 황-청 신호는 그 수가 동일하지 않습니다. 가장 밀도가 높은 신호는 휘도신호이고, 그다음이 적-녹 신호, 마지막으로 황-청 신호입니다.

자! 여기서 여러분이 진정한 방송기술인이라면 뭔가 빡(!) 왔을 겁니다.

4:2:0 빡(!!!) 4:2:2 빡(!!!)

우리는 입사 이래 말로만 수없이 인간의 눈이 색에 비해 휘도에 민감하다고 들었을 뿐, 대체적으로 왜 그런 줄은 모르고 살아왔습니다. (물론, 이미 알고 계셨던 독자께는 얄팍한 지식으로 깨방정을 떨어서 죄송할 뿐입니다.)

$$Y = 0.213\,RGB + 0.175G + 0.072B$$
$$C_b = 128 - (0.169R + 0.331G + 0.499B)$$
$$C_r = 128 + 0.499R - 0.418G - 0.0813B$$

[표 1] BT.709 YC_bC_r변환식 (16~235 Norminal Range)

요약하자면, 빛으로부터 눈을 통해 인간의 뇌로 전달되는 신호 중에 가장 많은 것은 휘도신호이고, 적-녹 또는 황-청의 색차신호는 그 수가 휘도신호보다 적다는 과학적 사실(?)에 기반해서 4:2:0 또는 4:2:2 YC_bC_r 신호를 쓰고 있습니다. 뇌로 가는 신경가닥의 수가 많아서 뇌가 민감하게 반응하는 휘도정보는 최대한 보존하고, 신경가닥의 수가 상대적으로 적어서 둔감한 색차정보는 일부 생략해도 인간의 뇌가 잘 알아채지 못하는 것을 방송신호에 이용한 것입니다.

더욱이, 이 YC_bC_r 신호와 *RGB* 신호의 관계식은 눈에서 뇌로 전달되는 L, M, S 원추세포의 휘도, 적-녹, 황-청 신호와 매우 닮아 있습니다. 앞서 설명되었듯 각 원추세포가 반응하는 빛의 파장에 따라 L 원추세포를 *R*(빨강), M 원추세포를 *G*(녹색), S 원추세포를 *B*(파랑)로 관련지어 [그림 3]의 뇌전달 신호와 [표 1]의 휘도 및 색차신호 식을 비교하면 다음과 같은 특성이 발견됩니다.

[표 1]의 휘도식을 보면 파란색이 포함되어 있지만 0.072라는 계수가 말해주듯 파란색이 주는 영향이 매우 작습니다. 거의 무시할 수 있는 파란색의 영향을 고려하면 [표 1]의 휘도식은 [그림 3]의 L + M 신호와 매우 유사합니다. [표 1]의 C_r식도 매우 작은 *B*의 계수를 고려하면 [그림 3]의 L - M 신호와 비슷합니다. 마지막으로 [표 1]의 C_b 또한 [그림 3]의 L + M - S와 같은 형태를 가지고 있습니다. 정확한 히스토리를 아직 추적해보지 않았지만 [표 1]에서 [그림 3]과 다르게 *B*가 *Y*(휘도)와 C_r(적-녹 색차)에 작게나마 포함되어 있는 것은 원추세포가 감각하는 파장 영역과 BT.709에서 정의하는 *RGB* 원색의 파장 영역 차이에서 오는 것이 아닌가 추측해봅니다. 어디까지나 추측이며, 추후 정확한 이유가 파악 되는대로 본 연재를 통해 지식공유를 하겠습니다. 하지만 게으른 C군의 성격상 언제일지 약속을 드리지 못하는 점 송구스럽게 생각합니다.

이제 여러분은 인간의 시각이 어떻게 이루어지는지 이해하셨고, 이를 방송영상 신호포맷과 연결시킬 수 있는 아주 체계적(?)이지는 않지만 그런대로 원-투가 있는 것 같은 지식을 얻으셨습니다.

비록 본 연재가 부실함이 덕지덕지 묻어나는 얕은 정보의 나열임을 부정할 수 없지만, 과학적 증거에 기반한 치밀한 논리전개가 없어도 심증만으로 굳은 믿음을 서로 나눌 수 있는 신용사회를 표방하는 C군 연재의 기본 정신을 독자 여러분께서도 공유해 주실 것을 당부드리며, 다음 호에서 더욱 파란만장하게 펼쳐질 色의 과학을 기대해주세요.

P.S.

C군의 잡설은 귀동냥에 근거하여 재구성된 것이므로 사실과 다를 수 있음을 항상 유념해주세요.