

종이책 독서 시 종색수차에 따른 읽기속도와 순목횟수의 상관관계

김세일, 박미정, 김소라*

서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 01811

투고일(2015년 8월 13일), 수정일(2015년 9월 5일), 게재확정일(2015년 9월 8일)

목적: 본 연구에서는 종이책 독서 시 바탕색에 따른 읽기속도와 순목횟수의 변화를 측정하고 이들의 상관관계를 알아보려고 하였다. **방법:** 본 연구목적에 동의하고 안질환 및 안과적 수술경험이 없으며, 양안시가 가능한 성인 29명(남10, 여19)의 대상에게 백색, 적색, 녹색 및 청색바탕에 검은색 글씨로 구성되어 있는 소설을 각각 15분 동안 읽게 하였다. 독서 시 장당 읽기속도와 순목횟수를 측정하고 각 바탕색 별로 분석하였다. **결과:** 바탕색에 따른 장당 읽기속도는 백색과 녹색바탕에서는 독서시간이 경과함에 따라 빨라지는 경향을 보였으나, 청색바탕에서는 거의 변화가 없었으며, 적색바탕에서는 오히려 느려짐을 알 수 있었다. 반면, 장당 순목횟수는 모든 바탕색에서 독서시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타냈으나 적색바탕에서의 감소가 가장 적었다. 모든 바탕색에서 순목횟수가 감소할수록 읽기속도는 증가하는 상관관계를 보였으며, 녹색바탕의 경우 가장 높은 상관관계를 나타내었다. **결론:** 본 연구결과 동일한 조절 및 폭주요구량을 가지는 거리에서의 독서 시 순목횟수가 감소할수록 읽기속도는 빨라지는 상관관계를 가짐을 확인하였으나 주 파장에 따라 순목횟수와 읽기속도의 변화는 달라짐을 알 수 있었다. 이는 근업 시 주 파장의 차이에 따라 작업의 속도와 시각피로도가 달라질 수 있음을 의미하므로 요구되는 인지의 종류에 따라 작업환경과 조건의 조정이 이루어져야 함을 제안할 수 있다.

주제어: 종색수차, 독서, 순목횟수, 읽기속도, 시각피로도

서 론

현대사회는 디지털미디어 사회로 일컬어짐에도 불구하고 인쇄물을 통한 정보습득이 꾸준히 이루어지고 있으며, 과거에 비해 다양한 색채구현이 가능해짐에 따라 정보인지의 효과 또한 향상되었다.

독서와 같은 근거리 작업 시 생길 수 있는 안정피로^[1,2]와 관련된 증상으로는 읽기속도의 느려짐, 읽기의 반복, 두통이나 복시 발생 등을 들 수 있다.^[3,4] Sheedy 등의 선행연구에서는 안정피로의 유발조건을 내적증상과 외적증상으로 분류한 바 있는데 내적증상으로는 굴절, 조절 및 폭주이상에 의한 안구통증, 두통, 복시, 흐림 등을 들 수 있으며, 외적증상으로는 작업감, 안구건조, 자극감 및 유루를 들 수 있다.^[5] 이 중 안구건조는 비교적 유의하게 나타나는 외적증상으로 선행연구에 따르면 적은 순목횟수로 안구건조증이 유발될 수 있음이 밝혀졌다.^[6] 안구건조 시 눈물증발이 더 쉽게 일어날 수 있으므로 건성안 증상을 호소하게 되는데,^[7-10] 안구건조는 눈물막의 오스몰 농도를 증가시키며 안구표면의 복합요인에 기인한 불쾌감, 시력장애, 안구표면 염증 등^[11]을 동반할 뿐만 아니라 작업감,

이물감, 답답함, 뻑뻑함, 안구충혈, 쉽게 피곤해지고 흐려 보이는 등의 증상을 유발한다.^[12] Toda 등^[13]은 안정피로를 호소하는 환자의 51.4%에서 안구건조증이 있으며, 안구건조증 환자의 71.3%에서 안정피로를 느낀다고 보고한 바 있다. 순목횟수는 휴식 때보다 근거리 작업 시 감소되므로^[14,15] 집중도를 요하는 독서와 같은 인식요구작업이 있을 경우 안구건조가 유발되어 이러한 경향이 심해질 수 있다.^[7,16]

본 연구진은 선행연구에서 일정시간의 근거리 독서 시 동일한 조절 및 폭주량의 요구에도 불구하고 배경색의 파장에 기인한 종색수차로 조절과 폭주의 변화가 다르게 나타남을 보고한 바 있는데,^[17] 폭주 및 조절기능장애는 안구건조증과 더불어 정시안 또는 시력교정안에서는 안정피로의 원인이 될 수 있다.^[5] 망막으로 전달된 각기 다른 파장의 빛은 세 가지 형태의 추상체세포인 적원뿔세포(long wavelength sensitive cone, LWS, L-cone), 녹원뿔세포(medium wavelength sensitive cone, MWS, M-cone) 및 청원뿔세포(short wavelength sensitive cone, SWS, S-cone)의 감지 능력과 조합에 따라 망막 상의 이미지를 형성하는데 이 때 L/M의 추상체 대비비율에 의해 종색수차에 따른 조

*Corresponding author: So Ra Kim, TEL: +82-2-970-6264, E-mail: srk2104@seoultech.ac.kr

절반응이 일어나게 된다.^[18-20] 이는 마이켈슨 대비식 (Michelson contrast formula)에 따른 각 추상체 클라스의 자극강도에 따라 달라진다.^[21] 또한 종색수차는 빛의 간섭과 차등흡수에 의한 사물의 컬러케스트 영향으로 가장 주된 초점의 위치에도 영향을 미칠 수 있다.^[22] 이렇듯 종색수차는 최대대비 또는 최소흐림의 조절기전에 영향을 주게 되며 L/M 추상체 대비감도의 비율이 높을수록 글읽기가 어려워질 수 있다고 보고된 바 있다.^[21] 이에 본 연구에서는 인쇄된 바탕색에 의한 종색수차가 독서 시 안정피로의 외적증상인 순목횡수와 읽기속도에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고 이들의 상관관계를 밝히고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구에 동의하며 안질환 및 안과적 수술경험이 없고, 사시, 약시가 없어 양안시가 가능하며, 설문조사로 난독증 증상이 없음이 확인된 단안 교정시력 0.8이상, 양안교정시력 1.0인 19세~30세(평균연령 23.66 ± 2.80 세)의 성인남녀 29명(남10, 여19)을 대상으로 하였다. 굴절력 검사는 양안 개방형 자동굴절계(NVision-K 5001, Shin-Nippon Rexam CO., LTD, Japan)와 포토퍼(AV-9000, Pichina, 한국)를 사용하여 수행하였다.

2. 실험조건

실험대상자들에게 흰색, 적색, 녹색 및 청색의 바탕에 11pt의 검은색 글씨의 소설(어니스트 톰슨 시튼의 “시튼동물기”)을 무작위의 순서로 각각 15분 동안 눈 앞 50 cm거리에서 읽게 하였다. 각 바탕색마다 소설의 내용이 모두 동일하게 구성되지 않도록 하였으며, 각 장마다의 글자 수는 거의 동일하게 구성되도록 하였다. 독서시간 및 휴식시간, 조명, 실내환경 등을 포함한 모든 실험조건은 선행연구와의 비교를 위하여 동일하게 설정하였다.^[17] 즉, 한 바탕색의 소설을 읽은 후 다음 바탕색의 소설을 읽기 전에는 최소 30분이상의 휴식시간을 가지도록 하였으며, 바탕색의 순서에 따른 영향을 최소화하기 위하여 4가지의 바탕색을 무작위로 선택하여 읽게 하였다. 독서를 위한 실내(8 m × 7 m 크기)는 태양광의 직접조명을 배제하고 백색광의 발광다이오드(light-emitting diode: LED) 간접조명을 이용하여 한국공업규격조도기준(KS A 3011)에서 학습에 필요한 조도로 규정한 1,000 lux가 되도록 조정^[23]하였으며, 실험대상자가 독서 중에 받을 수 있는 방해물을 최소화하기 위하여 주변의 기기나 배치를 조정하였으며, 실내온도는 23°C로 설정하였다.

3. 순목횡수와 독서시간 측정

독서 시 실험대상자의 순목횡수와 장당 읽기속도의 측정은 비디오카메라(VPC-SH1, SANYO, Japan)로 녹화한 후 분석하였다.

4. 통계분석

본 실험은 바탕색이 다른 소설을 15분 동안 읽는 동안 순목횡수와 읽기속도를 측정하여 평균±표준편차로 표시하였다. 실험결과의 통계적 유의성은 SPSS 12.0K for Window를 이용하였으며, 바탕색에 따른 순목횡수와 읽기속도의 변화는 반복측정 분산분석(RM-ANOVA)으로 분석하였으며, 순목횡수와 읽기속도와의 상관관계분석은 선형회귀분석을 이용하였다. 이 때 신뢰수준을 95%로 하여 p값이 0.05미만일 경우 통계적으로 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 바탕색에 따른 읽기속도의 변화

바탕색이 다른 소설을 각각 15분 동안 독서하게 한 후 총 장수를 비교하여 본 결과 백색바탕의 경우는 총 평균 8.69 ± 1.71 장(최소 5장~최대 12장)을 읽은 반면, 적색바탕은 9.93 ± 2.22 장(최소 6장~최대 15장), 녹색바탕은 9.83 ± 2.38 장(최소 6장~최대 15장), 청색바탕은 9.10 ± 1.99 장(최소 5장~최대 14장)을 읽은 것으로 조사되었으나 바탕색에 따른 독서의 총 장수 차이는 통계적으로 의미있는 차이는 아니었다(data not shown).

이에 바탕색 별로 각 장마다 소요되는 독서시간을 측정하여 평균과 표준편차 값을 얻은 후 백색바탕의 소설을 읽은 총 장수인 12장을 기준으로 비교하였다(Fig. 1). 첫 장의 읽기속도(reading speed=sec/page)는 백색바탕의 경우 84.11 ± 27.43 초/장이었고, 적색바탕은 67.66 ± 19.88 초/장, 녹색바탕은 72.55 ± 26.40 초/장, 청색바탕은 78.07 ± 22.86 초/장으로 측정되었으며, 각 바탕색 간의 읽기속도의 차이는 통계적으로 유의하였다($p=0.001$ by RM-ANOVA). 본 연구조건에서 첫 장의 읽기속도는 청색바탕과 백색바탕에서 느리게 측정되었다. 독서 시 읽기속도는 글과 바탕의 대비감도가 높아질수록 빨라지게 되며, 지각속도는 S 추상체의 자극요구량이 커질 때 빨라지게 되지만 대비감도가 낮을 경우에는 S 추상체의 움직임은 느려져 읽기속도는 저하된다고 하였다.^[22] 청색바탕의 경우 다른 바탕색에 비해 S 추상체의 자극량이 커서 지각속도가 빠를 수 있음에도 불구하고 본 연구에서는 사용된 검정글자와의 배치에 따른 낮은 대비감도 때문에 상대적으로 읽기속도가 느렸던 것으로 생각되었다. 백색바탕의 경우는 이와는

대조적으로 글자와 바탕색 간의 높은 대비감도에도 불구하고 다른 바탕색과 검정글자와의 대비를 위하여 사용되었던 1,000 lux 조도의 조명으로 인한 눈부심 증상이 발생하여 읽기속도가 느렸던 것으로 판단되었다.

두 번째 장의 읽기속도의 경우 백색바탕은 81.90 ± 23.57 초/장이었고, 적색바탕은 79.48 ± 24.18 초/장, 녹색바탕은 83.38 ± 29.39 초/장, 청색바탕은 88.45 ± 24.50 초/장으로 측정되었다. 백색바탕의 경우 첫 장에 비해 두 번째 장의 읽기속도가 조금 빨라진 반면 그 외 바탕색은 모두 느려지는 경향을 나타내었다. 세 번째 장의 읽기속도는 백색바탕과 적색바탕은 각각 96.97 ± 26.36 초/장 및 82.34 ± 23.29 초/장으로 두 번째 장에 비해 느려진 반면, 녹색바탕과 청색바탕은 각각 81.86 ± 24.30 초/장 및 81.69 ± 19.40 초/장으로 다시 빨라짐을 알 수 있었다(Fig. 1). Portello 등은^[24] 독서를 시작하면 글의 아웃라인의 파악을 위해 집중을 하다가 이후에는 내용파악을 위하여 몰입하게 되면 인지체계에 부과되는 부하인 인지부하가 높아지게 되어 읽기속도가 다소 느려질 수 있다고 보고한 바 있다. 장당 평균 읽기속도를 비교한 본 연구결과 역시 바탕색에 따라 정도의 차이는 있었으나 독서초기에는 읽기속도가 느려졌다가 내용에 익숙해지고 글에 대한 인지부하가 낮아지면서 읽기속도가 빨라지는 것으로 나타났다(Fig. 1).

모든 바탕색에서 독서시간이 길어질수록 읽기속도가 빨라지는 경향을 보이는 음의 기울기를 나타내었다. 백색바탕의 경우 -3.31의 기울기를 보여 읽기속도의 향상이 가장 크게 나타났던 반면, 적색바탕의 경우는 -2.20의 기울기를 나타내어 읽기속도의 향상이 가장 더뎠음을 알 수

있었다(Fig. 1). 본 연구진의 선행연구결과^[17]에 따르면 동일한 독서조건에서 적색바탕의 경우는 가장 큰 조절피로를 나타낸 바 있다. 종색수차에 의해 장파장은 근업 시 가장 높은 조절을 요구하게 되며 협동안 운동으로 폭주도 함께 일어난다. 지속적인 강한 조절과 폭주는 피로를 유발하게 되는데 적색바탕의 글은 초기부터 지속적인 조절과 폭주를 더 요구받게 되므로 상대적으로 시각피로가 높아진 상태로 근업작업이 이루어진 것으로 판단되었다.

장당 읽기속도 평균값 분석을 통하여 바탕색에 따라 지각속도, 대비감도의 차이가 존재하여 인지부하를 극복하는데 소요되는 시간이 각각 다름을 알 수 있었으나 연구대상자마다의 읽기속도차이로 읽은 장의 수가 바탕색 별로 최소 5장~최대 15장으로 상이하였으므로 장당 평균 읽기속도와 별개로 연구대상자 개개인의 장당 읽기속도에 대하여 선형회귀분석을 시행하였다(Table 1). 백색바탕의 경우 5장을 읽은 대상자의 읽기속도변화에 대한 기울기는 9.600으로 독서시간이 증가할수록 읽기속도가 오히려 느려지는 경향을 보인 반면, 12장을 읽은 대상자의 읽기속도변화 기울기는 -0.346으로 읽기속도가 빨라짐을 알 수 있었으나 개인차가 크게 나타났다. 모든 대상자들의 읽기속도변화 기울기는 평균 -0.265 ± 3.222 로 독서시간이 증가할수록 읽기속도는 빨라지는 경향을 보였다. 적색바탕의 경우 가장 적은 6장을 읽은 대상자의 읽기속도변화 기울기는 8.943이었던 반면, 가장 많은 15장을 읽은 대상자의 읽기속도변화 기울기는 -0.464이었으며, 모든 대상자들의 읽기속도변화 기울기는 평균 0.246 ± 2.316 로 나타나 독서시간이 지남에도 불구하고 오히려 읽기속도가 약간 느려지는 경향을 보임을 알 수 있었다. 이렇듯 장당 평균 읽기속도 분석결과(Fig. 1)와는 상이하게 나타난 것은 각 장당 읽은 대상자의 수가 달랐기 때문인 것으로 생각되었다. 즉, 적색바탕의 경우는 1~5장까지 모든 대상자가 독서를 마쳤으나 10장까지는 16명이, 12장까지는 6명이, 15장까지는 단 2명이 독서를 마쳐 후반 장수로 갈수록 읽기속도가 빠른 대상자만 분석이 가능하였기 때문에 Fig. 1에서의 장당 읽기속도는 빨라진 것으로 분석되었다고 할 수 있겠다. 녹색바탕의 경우는 가장 적은 6장을 읽은 대상자의 읽기속도변화 기울기는 1.171이었던 반면, 가장 많은 15장을 읽은 대상자의 읽기속도변화 기울기는 -1.356이었으며, 모든 대상자들의 읽기속도변화 기울기는 평균 $-0.531 \pm$

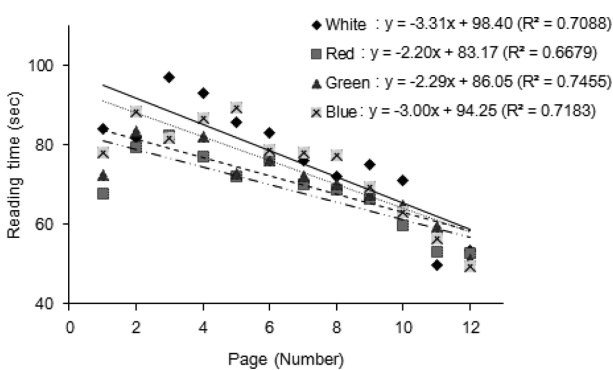


Fig. 1. Change of reading speed per page according to background colors and reading time.

Table 1. Lineal regression analysis of individual reading speed according to various background colors

	Slope	Background color			
		White	Red	Green	Blue
Individual reading speed	Mean ± SD	-0.265 ± 3.224	0.246 ± 2.316	-0.531 ± 2.348	0.071 ± 1.771
	Range	-7.238~9.600	-2.998~8.943	-6.929~3.339	-4.539~2.369

2.348로 나타나 독서시간에 따라 읽기속도가 빨라짐을 알 수 있었다. 장당 읽기속도 분석에서는 백색바탕의 독서 시 읽기속도가 가장 빨라졌으나 개인별 읽기속도변화에서는 녹색바탕에서 독서시간에 따라 읽기속도가 가장 향상되었음을 알 수 있었다. 청색바탕의 경우는 가장 적은 6장을 읽은 대상자의 읽기속도변화 기울기는 -4.539이었던 반면, 가장 많은 14장을 읽은 대상자의 읽기속도변화 기울기는 0.066이었고, 모든 대상자들의 읽기속도변화 기울기는 0.071 ± 1.771 로 나타나 독서시간에 따른 읽기속도변화가 크지 않음을 알 수 있었다.

2. 바탕색에 따른 순목횟수의 변화

장당 순목횟수는 각 장의 읽기속도에 영향을 받게 되므로 장당 순목횟수가 아닌 각각의 장마다 분당 순목횟수 (blinking rate=number/min)로 계산하여 백색바탕의 소설을 읽은 총 장수인 12장을 기준으로 비교하였다(Fig. 2). 각 바탕색 별로 첫 장의 분당 순목횟수를 비교하여 보면 백색바탕은 19.60 ± 10.32 번이었으며, 적색바탕은 16.85 ± 6.45 번, 녹색바탕은 18.47 ± 7.64 번, 청색바탕은 17.29 ± 6.84 번으로 나타나 백색바탕의 독서 시 분당 순목횟수가 가장 큰 것으로 나타났으나 장당 읽기속도의 경우와는 달리 각 바탕색 간의 순목횟수의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.260$ by RM-ANOVA). 이러한 결과는 낮은 대비감도에서 독서 시에는 순목횟수는 적어지고, 눈부심과 함께 굴절이상이가 증가되면 순목횟수가 증가될 수 있다는 선행연구결과와 부합된다.^[6,8] 두 번째 장 독서시의 분

당 순목횟수는 백색바탕의 경우는 18.38 ± 7.53 번이었고, 적색바탕은 17.42 ± 7.08 번, 녹색바탕은 19.13 ± 7.31 번, 청색바탕은 17.74 ± 7.02 번으로 나타나 백색바탕의 분당 순목횟수의 감소를 제외하고는 첫 장의 분당 순목횟수보다 모두 다소 증가한 것으로 나타났다. 세 번째 장 독서 시의 분당 순목횟수는 백색바탕의 경우는 17.07 ± 6.79 번이었고, 적색바탕은 16.80 ± 7.22 번, 녹색바탕은 18.71 ± 6.89 번, 청색바탕은 18.90 ± 8.32 번으로 나타나 청색을 제외한 모든 바탕색에서 분당 순목횟수는 감소로 전환되었다.

모든 바탕색에서 독서시간이 증가할수록 각 장마다 분당 순목횟수는 감소하는 경향을 보이는 음의 기울기를 나타내었다. 백색바탕의 경우 -0.49의 기울기를 보여 순목횟수의 감소가 가장 크게 나타났던 반면, 적색바탕의 경우는 -0.16의 기울기를 나타내어 순목횟수의 감소가 가장 작게 나타났음을 알 수 있었다(Fig. 2).

독서 시 순목은 시각과 인지조절에 관여하는데 Orchard와 Stern^[25]은 순목이 일반적으로 글의 줄을 바꿀 때 일어나며, 독서 시 시각피로가 생기게 되면 순목횟수 또한 피로에 따라 감소된다고 보고하였다. 독서와 같은 근거리 작업은 시각피로도를 유발하며 주어진 환경에 따라 그 정도가 달라질 수 있다. 본 연구에서도 이와 유사하게 독서시간이 경과할수록 분당 순목횟수가 감소하는 경향을 보였다. Nielsen 등은 어려운 내용의 글을 읽을 경우 시각컨디션이 높은 그룹과 낮은 그룹 간에 유의한 순목차이를 보고하였는데^[26] 이는 높아진 시각 스트레스가 인지부하를 상승시켜 순목에 영향을 준다는 것을 의미한다. 즉, 독서 초기에는 높았던 분당 순목횟수는 대상자가 내용과 환경에 익숙해지면서 글의 내용에 대한 인지부하가 낮아지게 되어 감소하였던 것으로 생각되었다. 따라서 본 연구에서 순목횟수는 시각피로도 뿐만 아니라 인지부하에도 영향을 받았던 것으로 판단되었다.

각 장마다의 분당 순목횟수를 분석으로 바탕색에 따른 시각피로도와 인지부하의 차이로 순목횟수의 변화정도가 다를 수 있음을 확인하였으나 개인별 읽기속도차이로 인한 읽은 장의 수가 바탕색 별로 상이하었으므로 각 장마다의 분당 순목횟수 분석과는 별개로 연구대상자 개개인의 분당 순목횟수에 대하여 선형회귀분석을 시행하였다(Table 2). 백색바탕의 경우 5장을 읽은 대상자의 순목횟수변화 기울기

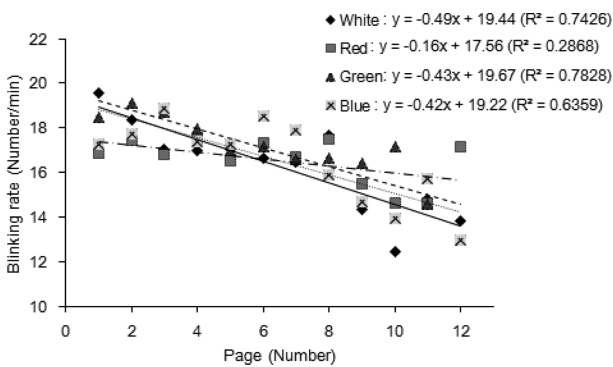


Fig. 2. Change of blinking rate per page according to background colors and reading time.

Table 2. Lineal regression analysis of individual blinking rate according to various background colors

	Slope	Background color			
		White	Red	Green	Blue
Individual blinking rate	Mean ± SD	-0.348 ± 0.873	-0.122 ± 0.576	-0.392 ± 0.550	-0.191 ± 0.620
	Range	-2.381~1.165	-1.333~1.209	-1.973~0.447	-1.118~1.399

는 -1.243 으로 독서시간이 증가할수록 순목횟수는 감소한 반면, 12장을 읽은 대상자의 경우는 -1.203 으로 나타났으며 모든 대상자들의 순목횟수변화 기울기는 평균 -0.348 ± 0.873 로 독서시간이 증가할수록 장당 순목횟수는 감소하는 경향을 보였다.

적색바탕의 경우 가장 적은 6장을 읽은 대상자의 순목횟수변화 기울기는 -0.632 이었던 반면, 가장 많은 15장을 읽은 대상자의 순목횟수변화 기울기는 0.201 이었으며, 모든 대상자들의 순목횟수변화 기울기는 평균 -0.122 ± 0.576 로 나타나 백색바탕에 비해 적은 순목횟수의 감소를 보였다. 적색바탕의 경우는 독서시간에 따라 개인별 읽기속도는 느려졌음에도 불구하고(Table 1)하고 장당 순목횟수는 감소한 것으로 나타났다. 녹색바탕의 경우는 가장 적은 6장을 읽은 대상자의 순목횟수변화 기울기는 -0.290 이었던 반면, 가장 많은 15장을 읽은 대상자의 경우는 0.239 이었고, 모든 대상자들의 순목횟수변화 기울기는 평균 -0.392 ± 0.550 로 독서시간 경과에 따른 순목횟수 감소는 백색바탕보다 컸다. 각 장마다의 분당 순목횟수 분석에서는 백색바탕 독서 시 순목횟수의 감소가 가장 컸으나 개인별 순목횟수변화는 녹색바탕에서 독서 시 가장 크게 나타났다. 청색바탕의 경우는 가장 적은 6장을 읽은 대상자의 순목횟수변화 기울기는 -0.562 이었던 반면, 가장 많은 14장을 읽은 대상자의 순목횟수변화 기울기는 -0.000 이었고, 모든 대상자들의 순목횟수변화

기울기는 평균 -0.191 ± 0.620 으로 나타나 읽기속도는 큰 변화가 없었음(Table 1)에도 불구하고 순목횟수는 감소함을 알 수 있었다.

이상의 결과로 개인별 장당 순목횟수는 읽기속도변화와 관계없이 독서시간에 따라 감소함을 알 수 있었다. Sheedy 등^[27]은 자발적으로 눈꺼풀을 쥐어짜는 듯한 행동이 유의하게 순목을 줄여준다고 보고하였다. 본 연구에서는 순목횟수 측정 시 완전순목만 측정하였고 쥐어짜는 듯한 형태인 반순목은 분석에서 배제하였으나 비디오 판독 시 연구대상자에 따라 반순목을 하는 경우도 있음을 확인할 수 있었다(data not shown). 반순목은 난제를 풀 때 눈을 가늘게 뜨는 행동과 비슷하게 작용되어 굴절이상과 같이 사물을 흐리게 만들 뿐만 아니라 2차적 정신행동방향에 영향을 주어 2차 인지 시 순목을 억제하거나 오히려 과다하게 하도록 만든다.^[28,29] 사물을 주시할 때 반사적인 정보습득이 아닌 읽고 생각하고 느끼는 2차적 정신행동방향으로 설정하게 되면 순목현상의 의미가 달라진다. 즉, 본 연구에서 첫 장 독서 시에는 평균 순목횟수에 비하여 상대적으로 많은 순목을 하다가 두 번째 장 독서 시에는 평균 순목횟수가 비슷하게 순목을 하는 대상자들이 있었는데, 이들 대상자들은 집중도가 높아졌을 때 완전순목을 하기보다는 눈을 쥐어짜는 듯한 반순목을 하면서 완전순목횟수가 감소하였던 것으로 생각되었다. 그러나 반순목이 반복된다면 사물의 흐림현상이 유도되고 이로 인한 조절

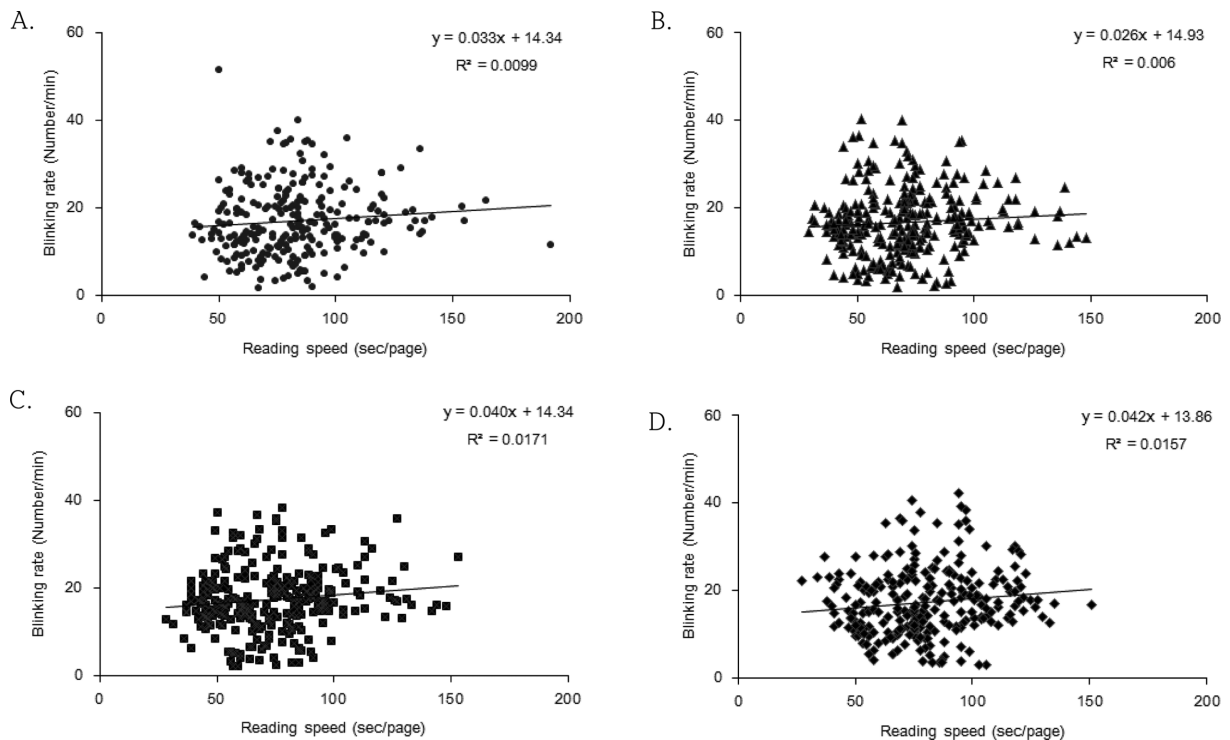


Fig. 3. Correlation between reading speed and blinking rate according to background color. A. White, B. Red, C. Green, D. Blue

요구량이 발생하므로 결과적으로 조절피로와 안정피로가 누적된다면 순목횟수가 감소될 수 있다.

3. 바탕색에 따른 순목횟수와 읽기속도와의 상관관계

바탕색에 따른 순목횟수와 읽기속도와의 상관관계를 알아보기 위해 독서시간 증가에 따른 시각피로도를 배제하고 분당 순목횟수와 읽기속도를 분산분석하였다(Fig. 3).

바탕색에 관계없이 한 장당 소요되는 독서시간이 증가할수록 즉, 읽기속도가 감소할수록 순목횟수도 증가하는 양의 상관관계를 보였다. 백색바탕의 경우 0.033의 기울기를 가졌고(Fig. 3A), 적색바탕은 0.026(Fig. 3B), 녹색바탕은 0.040(Fig. 3C), 청색바탕은 0.042의 기울기(Fig. 3D)를 나타내었다. 그러나 각 바탕에서의 기울기값이 의미하는 바는 다른 것으로 생각되었다. 즉, 백색바탕의 경우는 밝은 조명으로 인하여 많았던 첫 장의 순목횟수가 작업환경에 적응되면서 지속적으로 감소한 반면 인지부하의 변화로 읽기속도는 증가하였다가 감소하였기 때문에 0.033의 기울기를 보인 것으로 생각되었다. 적색바탕의 경우는 첫 장부터 요구되는 강한 조절로 인하여 순목횟수가 다른 바탕에 비해 높지 않았던 반면 인지부하의 감소에도 불구하고 지속적인 조절과 폭주에 따른 시각피로도로 읽기속도는 빨라지지 않아 가장 낮은 0.026의 기울기를 보인 것으로 생각되었다. 반면 녹색바탕은 시각피로도가 다른 바탕에 비해 높지 않아 순목횟수가 감소할수록 장당 읽기속도의 빨라지는 상관관계가 나타났던 것으로 생각되었다. 청색바탕의 경우는 적색바탕과 마찬가지로 초기 순목횟수가 다른 바탕에 비해 적었는데 이는 바탕과 글씨 간의 대비감도가 낮았기 때문인 것으로 생각되었으며, 시각피로도가 적색에 비해 높지 않아 독서 후반으로 갈수록 인지부하가 낮아지면서 읽기속도는 빨라져 가장 높은 0.042의 기울기를 보였던 것으로 판단되었다.

결 론

안정피로는 조절과 폭주의 불균형과 그로인한 내적증상과 외적증상의 수많은 관계가 역학적으로 연결되어 단편적으로 해석하기가 힘들다. 본 연구결과 동일한 조절 및 폭주요구량을 가지는 거리에서의 독서 시 순목횟수가 감소할수록 읽기속도는 빨라지는 상관관계를 가짐을 확인하였으나 주 파장에 따라 순목횟수와 읽기속도의 변화 정도는 달라짐을 알 수 있었다. 이는 근업 시 주 파장의 차이에 따라 작업의 속도와 시각피로도가 달라짐을 의미하므로 요구되는 인지의 종류에 따라 작업환경과 조건의 조정이 이루어져야 함을 제안할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Hayes JR, Sheedy JE, Stelmack JA, Heaney CA. Computer use, symptoms, and quality of life. *Optom Vis Sci.* 2007;84(8):738-744.
- [2] Borsting E, Chase C, Tosha C, Ridder WH 3rd. Longitudinal study of visual discomfort symptoms in college students. *Optom Vis Sci.* 2008;85(10):992-998.
- [3] Conlon EG, Lovegrove WJ, Chekaluk E, Pattinson PE. Measuring visual discomfort. *Visual Cogn.* 1999;6(6):637-663.
- [4] Borsting E, Chase CH, Ridder WH 3rd. Measuring visual discomfort in college students. *Optom Vis Sci.* 2007;84(8):745-751.
- [5] Sheedy JE, Hayes JN, Engle J. Is all asthenopia the same? *Optom Vis Sci.* 2003;80(11):732-739.
- [6] Gowrisankaran S, Nahar NK, Hayes JR, Sheedy JE. Asthenopia and blink rate under visual and cognitive loads. *Optom Vis Sci.* 2012;89(1):97-104.
- [7] Doughty MJ. Consideration of three types of spontaneous eyeblink activity in normal humans: during reading and video display terminal use, in primary gaze, and while in conversation. *Optom Vis Sci.* 2001;78(10):712-725.
- [8] Böös SR, Calissendorff BM, Knave BG, Nyman KG, Voss M. Work with video display terminal among office employees. *Scand J Work Environ Health.* 1985;11(6):475-481.
- [9] Yaginuma Y, Yamada H, Nagai H. Study of the relationship between lacrimation and blink in VDT work. *Ergonomics.* 1990;33(6):799-809.
- [10] Cho YA, Won JS, An GJ. The effect on the eye dryness of dye during VDT works. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1996;37(12):1991-1995.
- [11] Listed NA. The definition and classification of dry eye disease: report of the definition and classification subcommittee of the international Dry Eye Workshop. *Ocul Surf.* 2007;5(2):75-92.
- [12] Lee BJ, Hong JH, Jung DI, Park MJ. A study on the confidence of dry eye diagnosis methods. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2008;13(1):15-20.
- [13] Toda I, Fujishima H, Tsubota K. Ocular fatigue is the major symptom of dry eye. *Acta Ophthalmol* 1993;71(3):347-352.
- [14] Schlote T, Kadner G, Freudenthaler N. Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2004;42(4):306-312.
- [15] Himebaugh NL, Begley CG, Bradley A, Wilkinson JA. Blinking and tear break-up during four visual tasks. *Optom Vis Sci.* 2009;86(2):106-114.
- [16] Patel S, Henderson R, Bradley L, Galloway B, Hunter L. Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optom Vis Sci.* 1991;68(11):888-892.
- [17] Kim SI, Park M, Kim SR. Change of binocular vision induced by longitudinal chromatic aberration during near

- work. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(2):219-228.
- [18] Rucker FJ, Kruger PB. Accommodation responses to stimuli in cone contrast space. *Vision Res.* 2004;44(25):2931-2944.
- [19] Rucker FJ, Kruger PB. Cone contributions to signals for accommodation and the relationship to refractive error. *Vision Res.* 2006;46(19):3079-3089.
- [20] Rucker FJ, Osorio D. The effects of longitudinal chromatic aberration and a shift in the peak of the middle-wavelength sensitive cone fundamental on cone contrast. *Vision Res.* 2008;48(19):1929-1939.
- [21] Drew SA, Borsting E, Stark LR, Chase C. Chromatic aberration, accommodation, and color preference in asthenopia. *Optom Vis Sci.* 2012;89(7):E1059-1067.
- [22] Chase C, Dougherty RF, Ray N, Fowler S, Stein J. L/M speed matching ratio predicts reading in children. *Optom Vis Sci.* 2007;84(3):229-236.
- [23] An OH. *Living color design*, 1st Ed. Seoul: Hyungseul Publishing, 1997;45-47.
- [24] Portello JK, Rosenfield M, Chu CA. Blink rate, incomplete blinks and computer vision syndrome. *Optom Vis Sci.* 2013;90(5):482-487.
- [25] Orchard LN, Stern JA. Blinks as an index of cognitive activity during reading. *Integr Physiol Behav Sci.* 1991;26(2):108-116.
- [26] Nielsen PK, Sogaard K, Skotte J, Wolkoff P. Ocular surface area and human eye blink frequency during VDU work: the effect of monitor position and task. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103(1):1-7.
- [27] Sheedy JE, Gowrisankaran S, Hayes JR. Blink rate decreases with eyelid squint. *Optom Vis Sci.* 2005;82(10):905-911.
- [28] Recarte MA, Perez E, Conchillo A, Nunes LM. Mental workload and visual impairment: differences between pupil, blink, and subjective rating. *Span J Psychol.* 2008;11(2):374-385.
- [29] Ryu K, Myung R. Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. *Int J Ind Ergonom.* 2005;35(11):991-1009.

Relationship between Reading Speed and Blinking Rate according to Longitudinal Chromatic Aberration during Book Reading

Se-il Kim, Mijung Park, and So Ra Kim*

Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea
(Received August 13, 2015: Revised September 5, 2015: Accepted September 8, 2015)

Purpose: The current study was performed to estimate the changes in reading speed and blinking rate according to different background colors when reading paper book and further investigate their correlation. **Methods:** Twenty-nine adults (10 males, 19 females) who consented to the present study and had no ocular disease, ocular surgery history showing normal binocular vision were participated into the study. The subjects were asked to read the novels with black letter printed on white, red, green and blue background for 15 min, respectively. Then, the reading speed per page and blinking rate per page were measured during reading and analyzed according to background colors. **Results:** Reading speed per page according to the background color showed a tendency to accelerate in the white and green background as the reading time increased however, it was almost unchanged in the blue background and rather decelerated in the red background. On the other hand, the blinking rate per page tended to decrease in all background as the reading time was increased however, the smallest reduction was shown in the red background. There was a correlation that the reading speed increased as the blinking rate decreased in all backgrounds and the best correlation was shown in the green background. **Conclusions:** From the results, a correlation between the increasing reading speed and the reducing blinking rate while reading paper book with same demand on accommodation and convergence was confirmed however, the change in blinking rate and reading speed was varied depending on the main wavelength of light. It might mean that the working speed and visual fatigue can be varied depending on the difference of main wavelength when doing near work. Thus, it can be suggested that the adjustment of working environment and conditions should be made according to the kind of required perception.

Key words: Longitudinal chromatic aberration, Reading, Blinking rate, Reading speed, Visual Fatigue