Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 2 pp.21-33, May 2007

휘도대비가 가독성에 미치는 영향에 대한 실험 연구*

- 화면 크기와 가독량을 고려한 휘도대비 가이드라인 -

이 수 진[1] · 김 진 우[2]

[1]홍익대학교 시각디자인과 / [2]연세대학교 경영학과

An Experimental Study on the Impacts of Luminance Contrast Upon Readability in VDT Environments

Sujin Lee[1], Jinwoo Kim[2]

[1]Department of Visual Communication, Hongik University, Seoul, 121-791
[2]School of Business, Yonsei University, Seoul, 120-749

ABSTRACT

The study investigates the effects of luminance contrast, which is the contrast between text color and background color, on readability in VDT environments. Our research goals are to prove that the relationship between luminance contrast and readability is not linear and to explore the best luminance contrast level for optimal readability. We conducted two pretests before the main experiment to determine the operational readability and luminance contrast levels. We also conducted a controlled main experiment, in which luminance contrast, reading amount and screen size were tested in terms of its relation with readability. The results of the main experiment indicate that the readability has a non-linear relation with luminance contrast, and the optimal readability is obtained when the contrast is equal to 0.951. Furthermore, the non-linear function and optional point stay constant regardless of screen size and reading amount. The paper ends with implications of the results that maximal contrast does not always mean the optimal readability.

Keyword: Luminance contrast, Readability, Fatigue, Optimal point

1. 서 론

가독성은 많은 연구자에 의해 오래 전부터 최근에 이르기까지 꾸준하게 다루어지는 연구주제 중의 하나이다 (Askwall 1985, Baldwin and Bailey 1971, Buckler 1977, Clauer 1977, Cocklin, et al., 1984, Cornog and Rose 1967, Cushman 1986, Douglas and James 1982, Duchnicky and Kolers 1983, Fabrizio, et al., 1967, Gould 1985, Gould 1986, Gould and Grischkowsky 1984, Granaas, et al., 1984, Hodge 1963, Kak 1981, Kolers, et al., 1981, Paterson and Tinker 1931, Potter, et al., 1980, Rambally 1986, Reynolds 1982, Rudnicky and Kolers 1984, Shurtleff 1974, Shurtleff 1980, SMITH 1979, SMITH

*본 연구는 한국과학재단의 지원으로 진행되고 있는 국제공동연구(과제번호: F01-2004-10345-0)입니다.
교신저자: 김진우
주 소: 121-791 서울시 마포구 상수동 72-1, 전화: 02-2123-2528, E-mail: jinwoo@yonsei.ac.kr

1982, Taylor 1934, Tinker 1955, Tinker 1963a, Trollip 1986, Tullis, et al., 1995, Vartabedian 1970, Wright and Lickorish 1983, Zachrisson 1965). '읽기'라는 것은 사전적인 의미로는 단순히 '글을 본다'는 것을 일컫지만 '읽기'에 있어 그 쉬운 정도를 측정하는 가독성은 이보다 더 복잡하고 다차원적인 개념을 다룬다. 가독성이라는 것은 텍스트와 관련된 판단 기준의 하나로서 단어, 문장, 문서처럼 의미 있는 문자 또는 숫자군으로 표현된 정보 내용을 효과적으로 인식할 수 있는 품질을 의미한다(Sanders and Cormick 1998). 즉 가독성은 위치의 파악과 같은 단순한 시각 정보처리와 관련된 속성일 뿐만 아니라, 의미 파악과 같은 복잡한 정보처리 과정에 대한 속성 중에 하나로도 간주되고 있다(이수정 1993). 이러한 가독성의 연구는 초기 인쇄 매체를 이용한 가독성 연구로부터(Baldwin and Bailey 1971, Hodge 1963, Paterson and Tinker 1931, Shurtleff 1974, Taylor 1934, Tinker 1955, Tinker 1963a, Tinker 1963b, Vartabedian 1970, Zachrisson 1965) 최근에는 다양한 종류의 VDT(Visual Display Terminals)를 이용한 가독성 연구에 이르기까지 그 연구의 방향과 방법이 날로 다각화되고 체계화 되어 가고 있다(Karkkainen and Laarni 2002, Laarni and Kojo, Rahman and Muter 1999).

읽기라는 활동 자체가 글자색과 배경색 간의 대비를 전제로 글자색을 인식함으로써 가능한 활동이라는 점을 감안할 때(Knoblauch 1991, Legge 1990) 가독성의 연구에 있어 색 대비가 차지하는 중요성은 매우 크다고 볼 수 있다. 색 대비는 크게 색상대비와 휘도대비 두 가지가 있다(Legge 1990, Legge 1987, Tinker 1931). 색상대비란 붉은 바탕에 초록 글씨와 같이 색상의 차이에 의한 대비를 지칭하며, 반면에 휘도대비란 흰 바탕의 검은 글씨와 같이 휘도의 차이에 의한 대비를 말한다. 이 두 가지 대비 중에서도 휘도대비가 가독성에 더 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Bruce and Foster 1982, Cole, et al., 1990, Gegenfurtner and Kiper 1990, Knoblauch, et al., 1988, Legge 1990, Legge 1987, Naoya, et al., 2003, Radl 1980, Rivlin, et al., 1990, Rubin and Legge 1989, Shieh and Lin 2000, Tinker 1963a). 예를 들어, Knoblauch와 동료들의 연구(Knoblauch, et al., 1988, Knoblauch 1991)에 의하면 가독성에 있어 휘도대비는 큰 영향을 미치고 있으나 색상대비의 경우는 휘도대비에 비해 상대적으로 미약한 영향을 미치는 것으로 밝혀졌으며 Legge와 동료들의 연구(1987)에서도 비록 휘도대비와 색상대비가 가독성에 미치는 영향의 패턴은 비슷하다고 하여도 그 강도에 있어서는 휘도대비가 월등히 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

그러나 본 연구에서는 지금까지의 일반적인 연구 결과와는 달리 글자색과 바탕색 간의 휘도대비를 최대로 높였을 때 가독성이 최대가 아닐 수 있다는 새로운 주장을 제기하고자 한다. 이러한 주장은 시각적 탐색(visual search)에서 발생하는 두 단계의 정보처리 과정(Scotte 1993, Wolf 1994)과 이 두 단계 과정에서 지나친 휘도대비가 초래할 수 있는 시각적 노이즈(visual noise) 현상을(Albers 1975, Clarke 2003, Hall and Hanna 2004, Shubin, et al., 1996) 근거로 하고 있다. 이에 글자색과 배경색 사이의 휘도대비가 일정 수준에 이르기 까지는 가독성이 증가하지만, 휘도대비가 일정 수준을 넘어서면 오히려 가독성이 떨어진다는 주장을 펼치고자 한다. 이는 즉, 휘도대비와 가독성 간에 정비례한 선형 관계가 아닌 비선형적 관계가 존재한다는 가설이다. 따라서 본 연구는 이와 같은 가설을 실험을 통해 검증하고, 과연 휘도대비의 최적치 값이 어디에서 나타나는지를 탐색적으로 살펴보기 위해서 두 차례에 걸친 사전 실험과 본 실험을 실시하였다. 그리고 실험의 결과를 바탕으로 실제 디자인 제작 과정에서 활용될 수 있는 실증적인 디자인 가이드라인을 제시하였다.

2. 휘도대비와 가독성의 관계에 대한 기존 연구

지금까지 휘도대비에 대한 가독성의 연구에서 일반적으로 받아 들여 지고 있는 전통적인 견해는 글자색과 배경색 사이의 휘도대비를 최대한 높여야만 가독성이 최대가 된다는 것이다. 이와 같은 견해는 과거 인쇄 매체에서의 가독성 연구로부터 최근 VDT 환경에서의 가독성 연구, 그리고 각종 가독성과 관련된 가이드라인 등에서 쉽게 찾아 볼 수 있다.

첫째, 인쇄 매체를 대상으로 한 대다수의 가독성 연구에서는 명도 대비[1]가 최대일 때에 가독성이 최적이라는 연구결과를 제시하고 있다(Bouma 1980, Ohlsson, et al., 1981, Tinker 1963a, Tinker 1931). 이러한 연구 중의 한 예로 Tinker와 Paterson(1963)의 연구를 살펴보면, 가독속도는 바탕색과 인쇄된 글자색의 명도대비에 의해 주로 결정되고, 명도대비가 높을수록 가독성이 증가한다는 사실을 보여 주고 있다. Bruce와 Foster(1982)의 연구와 Ohlsson과 동료들의 연구(1981)에서도 이와 유사한 결과를 볼 수 있다.

둘째, VDT 환경에서의 가독성에 대한 연구에서도 인쇄 매체에서의 명도대비와 마찬가지로 글자색과 배경색 사이의 휘도대비를 높이면 가독성이 높아 진다는 연구가 대다수를

[1] 밝기의 차이라는 점에서는 '휘도대비'와 '명도대비'는 동일한 개념이지만 Luminance의 존재 여부에 따라서 두 개념이 차이가 있기 때문에 본 논문에서 VDT 환경에서는 '휘도대비'를 사용하는 반면, 종이 인쇄 매체에서는 '명도대비'를 사용하였다.

차지하고 있다(Bouma 1980, Bruce and Foster 1982, Knoblauch 1991, Legge 1990, Legge 1987, Naoya, et al., 2003, Radl 1980, Shieh and Lin 2000, Wilson and Gelb 1984). 이러한 견해를 보여 주는 실험의 예로써 Shieh와 Lin(2000)의 연구를 살펴 보면 참가자의 시각 탐색 작업을 통하여 12개의 색조합을 비교한 결과 글자색과 배경색 사이의 휘도대비가 최대치인 흰색 바탕에 검정색 글자의 색조합인 경우에 가장 높은 가독성을 보였다. 이외에도 휘도대비와 가독성 간의 관계를 체계적으로 분석한 연구로 Legge와 그의 동료들에 의해서 이루어진 일련의 연구를 들 수 있다(Legge 1990, Legge 1987). Legge(1990)는 정상 시력을 가진 피험자를 대상으로 한 실험에서, 바탕색을 흰색으로 고정하고 글자색의 휘도를 8단계로 세분화하여 휘도대비와 가독성 간의 관계를 살펴보았다. 그 결과 휘도대비가 높을수록 가독성이 높아졌으며, 최종적으로 휘도대비가 최대일 때, 즉 흰색 바탕에 검정색 글자를 제시하였을 때에 가장 높은 가독성을 보였다.

마지막으로 인간공학 분야와 HCI 분야에서 가독성과 관련한 대부분의 가이드 라인들도 가독성을 높이려면 글자색과 배경색 사이의 휘도대비를 최대화하라고 제안하고 있다. 인간공학 분야에서의 가이드라인의 예로, Sanders와 Mc-Cormick(1995)은 가독성을 높이려면 글자색과 바탕색 간의 대비를 높여야 한다고 했으며 최적의 가독성을 위해서는 글자색을 검은색으로 바탕색을 흰색으로 하여 휘도대비를 최대로 할 것을 권고하고 있다. HCI 분야에서도 글자색의 사용에 있어서는 글자색과 바탕색의 휘도대비를 최대로 할 것을 권하고 있다(Nielsen 2000, Rivlen, et al., 1990).

결론적으로, 인쇄 매체나 VDT 환경에서의 가독성과 관련된 대부분의 실증적 연구들과 인간공학 분야와 HCI 분야에서 대부분의 가이드라인들은 모두 글자색과 바탕색의 휘도대비가 증가할수록 가독성이 증가하며 휘도대비의 최대와 가독성의 최고가 일치하고 있음을 주장하고 있다.

3. 휘도대비와 가독성의 관계에 대한 새로운 견해

그러나 본 연구에서는 지금까지의 일반적인 연구 결과와는 달리 글자색과 바탕색 간의 휘도대비를 최대로 높였을 때 가독성이 최대가 아닐 수 있다는 새로운 주장을 제기하고자 한다.

이러한 주장은 최근 들어 목격되는 몇 가지 연구 결과들과 부합되는 점이 있다(Hall and Hanna 2004, Hill 1997). 예를 들어, Hill과 Scharff(1997)는 웹사이트에서 목표 글자를 탐색하는 과정에서 반응시간을 가독성으로 측정하였다. 이때 글자색을 검정색으로 고정한 뒤 바탕색을 네 가지 색으로(white, lights gray, medium gray, dark gray) 각기 다르게 제시하였는데, 실험의 결과로는 중간 회색, 짙은 회색으로 된 배경색이 흰색의 배경색(글자색과 바탕색의 휘도대비가 최대인 경우)보다 더 높은 가독성을 보였다. 이 연구들은 글자색과 배경색간의 대비값을 체계적으로 통제하지 않거나(Hill 1997) 또는 휘도대비와 색상대비를 혼용하여 사용하였기 때문에(Hall and Hanna 2004) VDT의 휘도대비를 체계적으로 검증한 실험 연구는 아니나 이 연구들은 글자색과 배경색 사이의 휘도대비가 최대일 때 가독성이 최고가 아닐 수 있다는 가능성을 제시하고 있다.

위의 선행 연구들 외에도 본 연구의 주장을 뒷받침하는 현상 중의 하나로, 인터넷 웹 페이지에 사용되고 있는 본문의 글자색을 들 수가 있다. 디자인에 대한 피드백이 비교적 빠르고 제작이 손쉬운 웹 페이지의 디자인에 있어 글자색과 바탕색 간의 휘도대비값이 최대치가 아닌 경우, 즉 배경색이 흰색일 때 글자색이 검정색이 아닌 경우를 주요 기업의 웹사이트에서 흔하게 볼 수가 있다. 예를 들면 www.IBM.com의 경우 웹사이트의 본문에 사용하고 있는 글자색과 바탕색의 휘도대비값을 0.945로 하고 있으며 www.pizzahut.com의 경우도 역시 비슷한 휘도대비값을 사용하고 있다. 그리고 www.nike.com의 경우는 글자색과 바탕색의 휘도대비값을 0.808로 하고 있다. 이런 예에서도 알 수 있듯이 현재 웹 페이지에 구현되고 있는 글자색과 바탕색의 휘도대비의 값은 디자이너의 경험과 관찰에 의해 임의로 정해지는 경향을 보이고 있다(Campbell and Maglio 1999, Shneiderman 1997, Streveler and Wasserman 1984). 그러나 이 값들은 휘도대비가 최대치가 아닌 경우가 대다수를 차지하고 있다. 따라서 앞에서 언급한 선행 연구나 현재 웹사이트에서 보여지는 현상은 휘도대비가 최대인 점이 반드시 가독성이 최적인 점이 아닐 수도 있다는 점을 시사하고 있으며 본 연구의 주장과 일치한다고 하겠다.

4. 연구 모형

본 연구는 시각 탐색과 관련된 2단계 이론(Scotte 1993, Wolf 1994)과 대비 효과에 대한 디자인 이론(Albers 1975, Clarke 2003, Hall and Hanna 2004)을 기반으로 하고 있다. 본 연구에서는 이러한 두 가지 이론을 기반으로 휘도대비와 가독성 간의 관계가 정비례하지 않는 관계가 존재한다고 하는 연구 가설을 제시하고자 한다.

VDT 환경에서의 인간의 시각적 정보처리는 기본적으로

두 가지의 상호 연관된 과정을 거치게 된다(Scotte 1993, Wolf 1994). 첫 번째 단계는 시각계의 주변 시스템(peripheral sub-system)을 통해서 이루어 진다. 이 단계에서는 화면상의 정보와 그 위치를 전반적으로 파악하고, 현재 시각적 주의를 주는 정보와 다음에 주의를 줄 응시점 간의 거리를 미리 확인한다. 이러한 과정에서 안구는 두 지점 간을 빈번하게 왕복하는 단층적 움직임을 보인다(이수정 1993, Fiser J. et al., 2003). 이 과정에서는 화면상에 나타난 전반적인 정보들의 시각적 현저성(visual conspicuity)이 정보처리 성과에 중요한 영향을 미치게 된다. 이때 시각적 현저성이란, 대상물이 주변 환경과 비교하여 어느 정도 눈에 띄게 보이는 지를 나타내는 지표로서(Nygren 1996, Pearson and van Schaik 2003) 대상물과 주변 환경의 색상이나 크기 또는 형태와 같은 시각적 요인들에 의해서 영향을 받는 것으로 밝혀졌다(Pearson and van Schaik 2003). 예를 들어, Nygren의 연구(1996)에서 시각적 현저성을 높인 목표 자극을 탐색하는데 걸리는 시간은 현저성이 낮은 자극보다 83% 이상 단축되는 것을 볼 수 있었다. 두 번째 단계는 시각계의 중심 시스템(foveal sub-system)을 통해서 이루어 진다. 이 단계에서는 좀 더 복잡한 과정을 수행하게 되는데 응시점을 확인하고, 그 지점에 있는 대상을 파악한 다음에 그 대상의 의미를 해석하게 된다.

지나치게 높은 휘도대비가 위에서 설명한 시각적 정보처리의 두 단계에 미치는 영향은 디자인 분야에서 주장하는 대비 효과(contrast effect)를 통해서 설명할 수 있다(Albers 1975, Clarke 2003, Hall and Hanna 2004). 여기서 '대비 효과'란 시각적 대비가 지나치게 큰 대상들이 너무 가까운 위치에 존재하는 경우에 그 대상들 간에 '시각적 떨림(visual vibration)'이 나타나는 현상을 말한다. 즉 두 대상들 간의 대비가 지나치게 높으면 두 대상의 경계 부분에서 떨림 현상(Vibration edges, Vibrating boundaries)이 발생한다는 것이다. 경계 떨림 현상은 실제로는 대상물 간의 경계가 고정되어 있음에도 불구하고, 시각적으로는 그 대상물들이 잦은 반복 운동을 하는 것처럼 지각되는 현상이다. 이러한 경계 떨림 현상이 지속되면 시각적 노이즈(visual noise)를 발생시켜서 사용자의 눈에 불편함을 초래하고 더 나아가 시각적인 피로도를 높이는 것으로 밝혀졌다(Shubin, et al., 1996).

이러한 경계 떨림 현상과 그 결과로 나타나는 노이즈 현상은 시각적 정보처리의 두 단계 모두에 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 첫 번째 단계에서는 지나치게 높은 휘도대비에서 나타나는 대비 효과에 의해 대상물간의 경계 떨림을 발생하게 되어 결과적으로 전체 화면에서의 시각적 현저성을 떨어뜨리는 결과를 초래할 것으로 예상된다. 즉, 시각적 노이즈로 인하여 각 대상물의 경계가 불명확하게 됨으로써 주변 환경과 비교해서 해당 대상물의 시각적 현저성이 떨어지게 되고, 결과적으로 시각적 현저성에 민감하게 영향을 받는 1단계 시각 정보처리 과정의 성과가 낮아질 것으로 예상된다. 두 번째 단계에서 적정 수준 이상의 과도한 휘도대비는 시각적 노이즈를 발생시킴으로써 다음 응시점의 경계가 모호해 지고, 결과적으로 이 대상을 확인하는 단계를 어렵게 한다. 또한 비록 응시점이 확인되었다고 할지라도 그 응시점에 있는 대상의 경계가 떨리기 때문에 해당 대상을 인식하는 과정에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 휘도대비가 지나치게 높아지면 경계 떨림 현상과 이로 인한 시각적 노이즈가 발생하고, 이 시각적 노이즈는 시각적 정보처리의 두 단계에 공히 부정적인 영향을 미치기 때문에 지나치게 높은 휘도대비에서는 오히려 가독성이 떨어진다고 예상할 수 있다. 따라서 이러한 이유 때문에 아래와 같이 본 연구의 가설을 설정하였다.

H1: 글자색과 바탕색 간의 휘도대비와 가독성 간에는 비선형적 관계가 존재한다.

아래 그림 1에서는 이와 같은 연구 가설을 도형으로 설명하고 있다. 글자색과 바탕색 간의 휘도대비가 증가함에 따라 가독성도 향상되지만, 최적치를 넘어가게 되면 오히려 가독성이 떨어지게 된다. 결과적으로 휘도대비의 최대치와 가독성의 최적치가 일치하지 않게 됨을 알 수 있다.

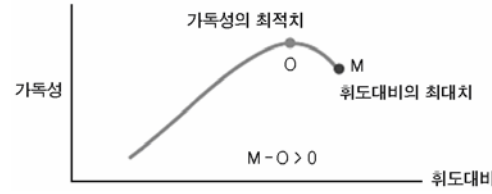

그림 1. 실험의 가설에 대한 도형적 설명

5. 연구 방법 및 실험 설계

본 연구는 글자색과 바탕색의 휘도대비를 달리하여 제시함으로써 글자색과 바탕색의 휘도대비와 가독성 간의 관계를 실험적으로 살펴보고자 한다. 이때 글자색과 바탕색의 휘도대비 이외에도 가독성에 영향을 미치는 요인들은 여러 가지 존재한다. 그러한 요인들은 크게 두 가지로 나누어진다. 첫 번째 범주의 요인들은 시스템을 개발하는 과정에서 개발자가 임의로 결정할 수 있는 요인들로서 예를 들어 글꼴이나 글자크기 그리고 자간과 행간 등을 포함한다. 본 실험에서는 이러한 요인들은 과거 연구 결과를 토대로 최적치 값을 선험적으로 결정하여 통제변수로 실험 자극에 적용하였다. 두 번째 범주의 요인들은 사용자의 필요에 따라 결정되는 요인들

로 화면 크기나 가독량을 들 수 있다. 이러한 요인들은 개발자가 임의로 정할 수 있는 요인들이 아니기 때문에 본 실험에서도 독립변인으로 채택하여 여러 가지 다양한 경우를 실증적으로 검증하였다. 따라서 본 연구에서는 독립변인으로 글자색과 바탕색의 휘도대비, 가독량 그리고 화면 크기 등 총 세 가지 변인을 사용하였으며, 독립변수는 모두 피험자내 변인으로 처리하였다. 모든 변수를 피험자내 변인으로 처리한 이유는 가독성에서 개인차가 미치는 영향이 상당할 것으로 예측하였기 때문이다. 이 절에서는 먼저 연구에 사용된 독립변수와 종속변수에 대해서 언급하고, 그 다음 실험 절차와 실험 기구를 설명하고자 한다.

5.1 독립변인

본 절에서는 연구에서 사용된 세 가지의 독립변인과 그 독립변인의 수준을 결정한 사전 연구에 대해서 설명하겠다.

5.1.1 글자색과 바탕색의 휘도단계

우선 글자색과 바탕색의 휘도대비단계는 다음과 같은 기준을 가지고 제작하였다. 현재 우리나라의 공업규격으로 제정되어 사용되고 있으며 또한 교육용(교육부 고시 제312호)으로도 채택된 표색계인 먼셀 표색계를 실험 자극 제작에 있어 기준으로 채택하였다(Munsell 1905). 먼셀 색상환의 좌표계에서 보면 검정색을 0, 흰색을 10으로 하여 그 사이를 등간격으로 하여 명도축을 11단계로 나누었다. 따라서 본 실험의 글자색과 바탕색의 휘도단계는 바탕색의 흰색을 포함하여 모두 11단계를 기준으로 하였다. 글자색의 휘도단계인 10단계는 연구 결과의 활용성을 고려하여 제작 실무 과정에서 자주 사용되는 그레이 스케일(gray scale)를 이용하였다. Gray scale이란, 백색에서 흑색까지를 단계적으로 나누어 밝기의 정도를 나타낸 척도로써 일반적으로 흰색에 검정색을 증감하는 형식으로 사용한다. 본 실험에서는 흰색에 검정색을 10퍼센트씩 증가시켜 각각 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 글자색의 휘도단계를 결정하였다. 이렇게 결정된 글자색의 휘도값은 일반적으로 색의 대비를 다루는 연구에서 많이 쓰이는 미켈슨 정의에 따라서 휘도대비값인 C값으로 변환하였다.[2]

본 실험에 사용한 모니터에서 측정한 물리적인 색의 값은 다음 표1 과 같다. 표 1은 자극에 사용된 휘도단계를 검정색 백분율값과 이를 RGB값으로 변환한 값 그리고 이를 C값으로 환산한 값과 색채색차계(CS-100A)로 측정한 값을 각각 보여 주고 있다.

표 1. 휘도대비단계

Grayscale (검정색 백분율 %)	RGB값	미켈슨 정의에 의한 C값	색차계 측정치 (cd/m^2)	Color
0	255	0	81.95	
10	230	0.102	66.88	
20	205	0.284	45.61	
30	181	0.382	36.62	
40	154	0.527	25.34	
50	129	0.685	15.27	
60	102	0.808	8.68	
70	75	0.915	3.63	
80	48	0.951	2.02	
90	19	0.958	1.72	
100	0	0.959	1.70	

위와 같은 총 10단계의 휘도대비단계 중 본 실험에서 피험자들이 거부감 없이 실험에 참가할 수 있는 C값의 범위를 정하기 위해 사전 실험을 실시하였다. 사전 실험은 20대 남녀 5명이 참가하였다. 사전 실험에서는 실험의 객관성을 검증하기 위해 동일한 휘도대비에 대해서 두 번씩 다른 텍스트를 제시하고, 각 경우에 가독성을 측정하여 그 평균값을 계산하였다. 또한 실험을 마친 후에 실험 자극에 대한 의견을 수렴하였다. 그 결과, C값이 낮은 0.102, 0.284, 0.382, 0.527의 경우는 글자색과 바탕색의 휘도대비와 가독성 간에 정비례한 관계를 볼 수 있었으나 이 구간에서는 피험자들이 불편을 호소하거나 실험 자체를 거부하는 등의 실험에 많은 어려움이 있었다. 따라서 사전 실험의 결과를 바탕으로 피험자들이 거부감 없이 본 실험에 응할 수 있는 글자색의 C값의 범위로 휘도대비 독립변수는 총 6수준(0.685, 0.808, 0.915, 0.951, 0.958, 0.959)으로 결정하였다. 본 연구에서 검정색 백분율 100% 자극이 C값 1이 아니라 0.959로 나온 것은 주변 조도, 표면 반사광 등의 여건 때문에 기술적으로 1값을 만들 수 없었기 때문이다.

5.1.2 가독량

본 실험의 두 번째 독립변인인 가독량은 VDT 권장 사용시간을 기준으로 총 가독시간을 60분으로 휴식시간은 15분으로 하였다(이동후 1991). 이 가독시간 60분을 여섯으로 나누어 10분마다의 가독성의 변화를 측정하기 위해 평균적으로 10분 동안 읽을 수 있는 분량만큼의 자극을 제시하고자 하였다. 10 분 동안의 평균 가독량을 측정하기 위해 20대 남녀 3명을 대상으로 제2차 사전 실험을 실시하였다.

[2] 미켈슨 정의는 다음과 같다. $C = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$, C는 contrast, L_{max}는 배경색의 휘도(Luminance), Lmin는 글자색의 휘도(Luminance)이다 (Kelly, 1983; Mullen, 1985; Legge. & Parish., 1990).

20대의 남녀 3명으로 구성된 실험 참가자들은 실험에 대한 간략한 설명을 들은 후 C값이 최대인 휘도대비로 제작된 자극물을 제시 받았다. 피험자들은 평소와 마찬가지로 읽되 가능한 빨리 그 뜻을 이해하면서 읽도록 지시 받았다(정찬섭 1993, Legge 1989). 그리고 10분 경과 후 읽었던 위치를 표시하였다. 그 결과 10분 동안 읽는 평균 문자의 수는 공백을 포함하여 평균 6,866자로 밝혀졌다. 이러한 사전 실험 결과를 기초로 하여 본 실험에서는 10분 동안 읽는 분량을 7,000자로 가독량을 설정하였다. 따라서 결과적으로 가독량 독립변수는 총 6수준으로(7,000, 14,000, 21,000, 28,000, 35,000, 42,000) 결정하였다.

5.1.3 화면 크기

나머지 독립변인인 화면의 크기와 그에 따라 결정되는 글줄길이는 다음과 같이 두 가지 수준으로 나누어 살펴보았다. 첫째, 가장 일반적인 VDT 가독 환경에서의 글자색과 바탕색의 휘도대비를 살펴보기 위해 PC 화면 크기(17인치 모니터 기준)를 기준으로 하였다. 가로와 세로를 각각 320×245mm로 하였으며 일반 PC화면일 때 최적의 글줄길이로 알려진 120mm로 실험 자극을 제작하였다(이수정 1993). 둘째, 다양한 VDT 기기를 사용함으로써 화면 크기가 달라질 때 글자색과 바탕색의 휘도대비가 어떻게 달라지는가를 살펴보기 위해 작은 화면에서의 가독성도 살펴 보기로 하였다. 이때 이 화면의 크기는 실제 일반적인 모바일 폰 크기를 기준으로(모델명 LGLP-ADWS의 액정) 가로세로 각각 30×40mm로 하였다. 글줄길이는 실제 모바일의 글줄길이를 참고로 27mm로 하였다. 따라서 결과적으로 화면 크기라는 독립변수는 2수준(32×24.5cm-큰 화면, 3×4cm-작은 화면)으로 결정하였다.

결론적으로 본 연구는 휘도대비와 화면 크기 및 가독량에 따라서 6(휘도대비단계)×2(화면 크기)×6(가독량)의 피험자내 설계로 실험을 디자인하였다.

5.2 종속변인

본 실험에서 종속변인으로는 전통적인 가독성 측정의 척도인 가독시간(reading time)과 VDT의 특성을 반영하여 피로도(fatigue)를 측정하였다. 피로도를 가독성을 측정하는 변수로 결정한 이유는 VDT 화면에 표시된 글자나 도형이 빠른 속도로 켜졌다 꺼졌다 하는 과정을 반복하는데, 이 과정을 작업자가 비록 느끼지 못한다고 하더라도 이러한 상태가 작업자의 시각적 피로에 영향을 미칠 가능성이 높기 때문이다(Grandjean and Vigliani 1979, Simonsen and Enzer 1941). 그리고 피로도가 높아지면 가독성을 포함한 전반적인 성과가 떨어지기 때문에, 종래의 연구에서도 피로도는 가독성을 측정하는 척도로 사용되어 왔다 (Rey and Meyer 1980). 본 연구에서는 피로도를 주관적 피로도(subjective fatigue-survey)와 객관적 피로도(objective fatigue-flicker)로 나누어 측정하였다. 주관적 시각피로도는 기존의 선행 논문을 바탕으로 피로도를 측정하는 12개의 설문문항을 채택하였다(이수진 2003, Heur 2003). 객관적인 피로도를 측정하기 위해서는 피로도 측정기(flicker value)를 사용하였다(Kolers, et al., 1981).

5.3 피험자

본 실험에 참가한 피험자는 남자 5명, 여자 12명 총 17명으로 대학교 및 대학원에 재학중인 남녀학생으로 구성되어 있으며 실험 전에 시각검사를 실시한 결과 이들은 모두 색각이나 난시 등이 없는 정상 시력이었으며 교정시력 0.8 이상이었다.

5.4 실험 자극

본 실험에서는 C^{++}를 이용하여 실험 자극의 바탕을 흰색으로 고정하고 글자색과 바탕색의 휘도대비단계를 무선적으로 제시하고 가독시간을 측정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 실험의 원활한 진행을 위해 일부 키를 제외한 나머지 자판의 사용을 제어하였다. 또한 글자색과 바탕색의 휘도대비와 글자꼴, 자간, 행간, 글자색의 정확한 구현을 위해 각각의 페이지를 별도의 이미지로 제작하였다. 실험 자극의 제작에 있어 글꼴과 같은 경우를 제외한 나머지의 경우는 국제규격을 기준으로 선행 연구를 통해서 검증된 적정치를 따랐다. 실험 자극에 사용된 컨텐츠의 내용은 고등학교 1학년 수준의 수필 내용 중에서 선정하여 글의 난이도를 일관되게 통제하였으며(김철중 1991), 글자크기는 시각(visual angle) 20분에 해당하는 12 포인트로(김철중 1992, Mills and Weldon 1987)하였으며 글자꼴은 가독성이 높은 굴림체(정재우 1997)로, 자간은 10%(김대영 2001, 김창희 1994, Sanders and McCormick 1998), 행간은 110%(정재우 1997)로 하여 자극을 제작하였다.

큰 화면에 제시되는 실험 자극은 10분 분량의 경우 8페이지씩 한 휘도단계에서 48페이지, 그리고 모든 휘도단계에서는 총 288(8×6×6) 페이지에 나누어 읽게 된다. 그리고 작은 화면에서의 가독성을 측정할 경우, 한 휘도단계에서 읽을 분량은 큰 화면에서와 마찬가지로 42,000자를 읽게 되나 이를 제시할 때는 10분 분량마다 140페이지씩 한 휘도단계에서 840페이지, 그리고 모든 휘도단계에서는 총 5,040(140×6×6)페이지로 나누어 읽게 된다.

5.5 실험장치

자극은 1024×768의 해상도와 32비트 트루칼라를 지원하는 LG 프래트론 740FT 17인치 모니터에 제시되었다. 자극제시와 반응은 인텔 펜티엄4를 장착하고 마이크로소프트 윈도우XP를 OS로 사용한 컴퓨터에 의해 통제되었다. 실험실의 조명은 375lux로 통제하였으며, 그리고 실험 참가자의 눈과 모니터와의 거리를 일정하게 유지하기 위해 턱받이로 머리를 고정하였다. 자극과 피험자와의 거리는 턱받이로 머리를 고정한 상태에서 눈과 모니터까지의 거리를 50cm로 하였다(이수정 1993).

그리고 글자색과 바탕색의 휘도대비에 따른 가독성의 변화를 제외한 다른 요인으로 인한 오염을 막기 위해 큰 화면에서의 가독성 실험과 작은 화면에서의 가독성 실험 모두를 한 컴퓨터로 진행하였다. 또한 실험의 엄밀성을 위하여 모든 피험자는 동일한 컴퓨터만을 사용하였다. 따라서 작은 화면에서 자극을 제시할 경우 그림 3과 같이 모니터의 프레임색과 유사한 색과 재질로 제작된 판에 30×40mm 크기의 창을 내어 모니터에 부착하여 자극을 제시하였다.

그림 2. 큰 화면에서의 실험 자극과 측정

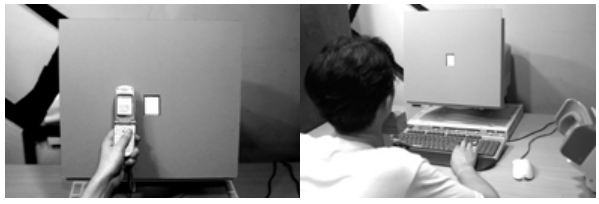

그림 3. 작은 화면에서의 실험 자극과 측정단락의 글자 색

5.6 실험과정

최초 7,000자을 읽은 후 휴식시간을 갖게 하였고 나머지 35,000자 분량을 쉬지 않고 읽게 하였다. 이때 7,000자를 읽기 전과 후에 두 번에 걸쳐 피로도 측정기로 측정하고 화면설문은 7,000자 자극을 보고 난 후에만 실시하였다. 그리고 나머지 35,000자를 읽으면서 10분량마다 즉, 14,000자, 21,000자, 28,000자, 35,000자, 42,000자마다 화면설문을 실시하였다. 그러나 객관적 피로도인 피로도 측정기(flicker)의 경우 측정시 발생하는 시야의 순응을 우려하여 시작전과 마지막 42,000자 가독 후에만 측정하였다. 모든 실험을 마치고 난 후에는 피험자에게 실험 자극에 사용된 지문을 읽었던 적이 있었는지 확인하였다. 그리고 읽은 내용에 대해 간단한 내용 요약을 지시하였다. 실험 자극의 제시 순서를 정리하면 아래의 그림 4와 같다.

그림 4. 실험 과정

6. 결 과

한 피험자당 총 가독시간의 평균은 휴식시간 포함 7시간이었다. 그리고 trend analysis로 세 가지의 종속변수에 대한 데이터를 분석한 결과는 다음과 같았다.

6.1 가독시간(reading time)

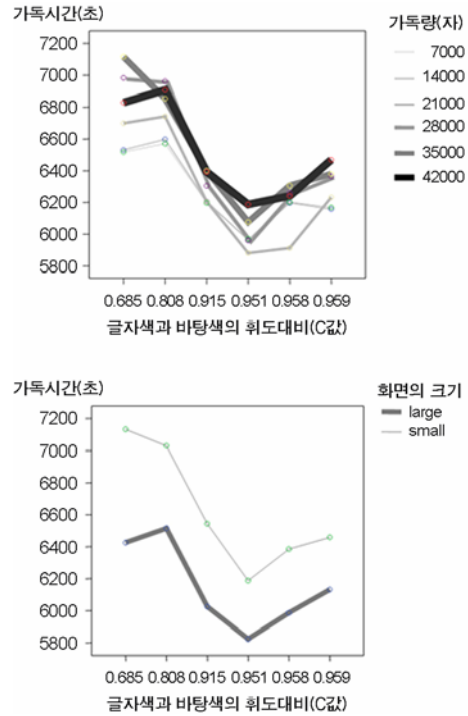

그림 5. 글자색과 바탕색의 휘도대비에 따른 가독시간의 변화

그림 5에서 보는 바와 같이 글자색과 바탕색의 휘도대비가 증가함에 따라 가독성은 이차 추세(quadratic trend)가 있는 것으로 나타났다($F(1,16)=10.588$, $p<.05$). 그리고 C값이 0.951일 때 가독성이 가장 높게 나타났다. 이는 휘도대비가 최대일 때(C=0.959) 가독성이 최대가 아니며 오히려 C값이 0.951일 때 보다 가독성이 떨어짐을 의미한다. 한편 가독량이 늘어남에 따라 가독시간은 선형 추세(linear trend)를 보였다($F(1,16)=21.333$, $p<.05$). 이는 가독량이 많을수록 즉 오래 읽으면 가독시간이 오래 걸려 가독성이 떨어진다는 것을 의미한다. 화면 크기에 따른 가독시간의 변화도 선형 추세(linear trend)를 보였다. 이는 작은 화면보다 큰 화면에서 가독시간이 적게 걸려 가독성이 높게 나왔다($F(1,16)=12.115$, $p<.05$). 한편 휘도대비와 다른 두 요소 간의 2차 상호작용을 살펴 보면 휘도대비와 화면 크기 간의 2차 상호작용은 유의미한 결과를 보이지 않았으며($F(1,16)=0.379$, $p>.05$), 마찬가지로 휘도대비와 가독량 간의 2차 상호작용도 유의미한 결과가 나오지 않았다($F(1,16)=2.314$, $p>.05$). 그리고 휘도대비와 화면의 크기 및 가독량 간의 3차 상호작용도 유의미하지 않은 것으로 밝혀졌다($F(1,16)=0.000$, $p>.05$). 따라서 이 결과를 종합하면 휘도대비와 가독시간 간의 관계는 화면의 크기나 가독량과 상관없이 항상 2차 함수의 관계를 가지며 만곡점은 C값 기준 0.951인 것을 알 수 있었다.

6.2 주관적 피로도(survey)

글자색과 바탕색의 휘도대비와 주관적 피로도 간의 관계에 있어 휘도대비가 증가하면 주관적 피로도가 그림 6과 같이 이차 추세(quadratic trend)를 보였다($F(5,80)=7.487$, $p<.05$). 또한 가독성 곡선과 마찬가지로 C값이 0.951일 때 주관적 피로도가 가장 적게 나타났다. 이는 휘도대비가 최대일 때 피로도가 최소가 아니며 C값 0.951가 적정치임을 의미한다. 가독량이 변화함에 따라 주관적 피로도는 선형 추세(linear trend)를 보였다($F(1,16)=29.683$, $p<.05$). 이는 가독량이 많을수록 주관적 피로도가 높아진다는 의미이다. 화면 크기에 있어서는 유의미한 결과가 나타나지 않았다($F(1,16)=1.110$, $p<.05$). 한편 휘도대비와 다른 두 요소 간의 2차 상호작용을 살펴 보면 휘도대비와 화면 크기 간의 2차 상호작용은 유의미한 결과를 보이지 않았으며($F(1,16)=0.070$, $p>.05$), 마찬가지로 휘도대비와 가독량 간의 2차 상호작용도 유의미한 결과가 나오지 않았다($F(1,16)=0.978$, $p>.05$). 그리고 휘도대비와 화면의 크기 및 가독량 간의 3차 상호작용도 유의미하지 않은 것으로 밝혀졌다($F(1,16)=1.285$, $p>.05$). 이 결과를 종합하면 휘도대비와 주간적 피로도 간의 관계는 앞서 가독시간과의 관계와 마찬가지로 화면의 크기나 가독량과 상관없이 항상 2차 함수의 관계를 가지며 만곡점은 C값 기준 0.951인 것을 알 수 있었다.

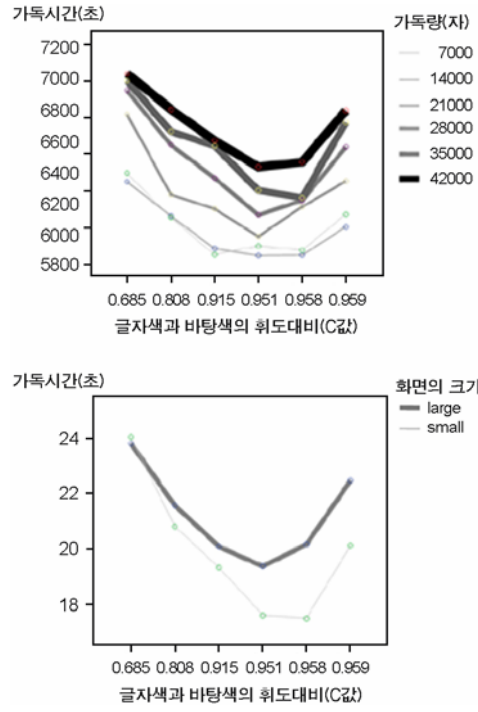

그림 6. 글자색과 바탕색의 휘도대비에 따른 주관적 피로도의 변화

6.3 객관적 피로도(flicker value)

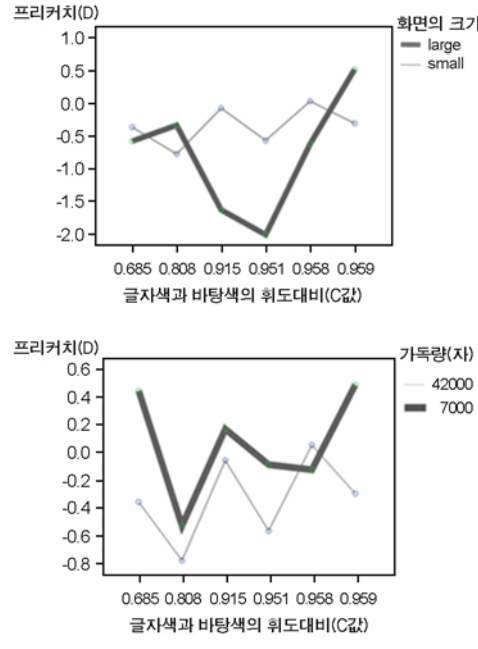

그림 7. 글자색과 바탕색의 휘도대비에 따른 객관적 피로도의 변화

글자색과 바탕색의 휘도대비와 피로도 간의 관계에 있어 휘도대비가 높아짐에 따라 객관적 피로도는 그림 7과 같이 이차원의(quadratic) 관계가 있는 것으로 나타났다($F(1, 16)=5.099$, $p<.05$). 그리고 주관적 피로도와 같이 C값이 0.951일 때 객관적 피로도도 가장 높게 나타났다. 가독량은 객관적 피로도에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌으며($F(1, 16)=2.976$, $p>.05$), 화면 크기도 유의미한 차이를 나타내지 않았다($F(1, 16)=1.816$, $p>.05$). 한편 휘도대비와 다른 두 요소 간의 2차 상호작용을 살펴 보면 휘도대비와 화면 크기 간의 2차 상호작용은 유의미한 결과를 보이지 않았으며($F(1,16)=3.319$, $p>.05$), 마찬가지로 휘도대비와 가독량 간의 2차 상호작용도 유의미한 결과가 나오지 않았다($F(1,16)=0.630$, $p>.05$). 그러나 휘도대비와 화면의 크기 및 가독량 간에는 유의미한 3차 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다($F(1,16)=6.698$, $p<.05$). 이러한 상호작용은 아래와 같은 현상으로 설명할 수 있다. 화면 크기에 있어서 객관적인 피로도는 작은 화면의 경우에는 0.808에서 낮은 피로도를 보인 반면 큰 화면일 경우는 0.951에서 낮은 피로도를 보였다. 그런데 이러한 객관적 피로도 현상은 가독량에 따라서도 영향을 받는데 처음 7,000자를 가독할 때에는 명확한 최적점이 보이지만 나중에 42,000자를 뚜렷한 최적점이 보이지 않았다.

7. 결론 및 토론

본 연구는 글자색과 바탕색 간의 휘도대비와 가독성 간의 비선형적인 관계가 있음을 밝히고 이 관계가 가독량과 화면의 크기에 따라서 어떻게 달라지는지를 살펴 보았다. 이를 위해서 글자색과 바탕색의 휘도단계를 전체 10단계 중 6단계로 선별하였고, 가독량을 10분씩 6단계로 나누었으며 화면의 크기가 클 때와 작을 때로 나누어 가독시간과 객관적 및 주관적 피로도라는 세 가지의 종속변수를 측정하였다. 그 결과 세 가지 종속변수 모두에서 휘도대비와 가독성 간에 이차 함수의 관계가 있음이 밝혀졌으며, 가독성이 최적인 휘도대비의 C값은 0.951로 밝혀졌다. 이러한 휘도대비와 가독성 간의 관계는 화면의 크기나 가독량에 상관없이 일관되게 나타났다.

그렇다면 기존의 대다수 가독성 연구에서는 왜 휘도대비와 가독성 간의 이차 함수 관계를 발견하지 못한 것일까? 이 질문에 대한 답으로 크게 두 가지 이유를 제시할 수 있다. 첫째, 가독성에 대한 기존의 연구들은 독립변수로 사용한 휘도대비 단계의 갯수가 너무 적었다(Bouma 1980, Bruce and Foster 1982, Knoblauch, et al., 1988, Knoblauch 1991, Naoya, et al., 2003, Ohlsson, et al., 1981, Radl 1980, Rivlin, et al., 1990, Shieh and Lin 2000, Shurtleff 1980). 즉 한 실험에서 두 세 개 정도의 휘도대비만을 변화시키면서 휘도대비의 변화에 따른 가독성을 측정하고, 나머지 부분은 이 두 세 개의 지점만을 이용해서 추측(extra-polate)하였기에, 지나치게 적은 데이터를 가지고 전체 함수의 변화를 추측하여야 하기 때문에 본 실험에서 발견된 것과 같은 만곡점을 파악하기 힘들었다. 예를 들어, Bouma (1980)의 연구를 살펴보면 VDT 환경에서의 가독성에 대한 실험에서 글자의 휘도대비단계를 어두운 경우와 밝은 경우 두 가지로만 나누어 가독성을 측정하였기 때문에 회색 부분에 있어서의 만곡점을 찾아볼 수 없었다. 둘째, 비록 많은 단계의 휘도대비를 사용하였다고 할지라도 사용자의 관점에서 의미 있는 부분을 정밀하게 측정하지 못한 경우에도 만곡점을 발견하기 어렵다. 예를 들어, 휘도대비의 최근 연구로 실험이 비교적 체계적이고 정밀했던 Legge의 실험을 살펴 보면(Legge 1990, Legge 1987) 피험자에게 제시되었던 글자색과 바탕색의 휘도대비 C값은 9단계였고 각 단계에서 사용된 C값은 최대값 0.96를 기준으로 대비값을 0.1 log unit씩 등간격으로 나누었다. 그러나 본 연구에서는 자극의 제작기준을 다르게 설정하였다. 글자의 휘도대비단계를 C값을 기준하여 등간격으로 나누지 않고 디자인의 활용성을 고려해 글자색의 단계를 먼저 회색의 gray scale로 10%씩 나누어 글자색을 먼저 정한 뒤에 이 값을 C값으로 변환하였다. 이로 인해 VDT의 속성에 따라서 글자색이 검정색에 가까울수록 즉 글자색과 바탕색 간의 휘도대비 C값이 클수록 자극의 단계가 더 촘촘히 나누어지게 되는 결과를 갖게 되었다. 그리하여 Legge의 실험에서는 휘도대비 C값 0.5과 0.96 사이를 단지 세 단계로 나누어 실험한 구간을 본 실험에서는 휘도대비 C값 0.685, 0.808, 0.915, 0.951, 0.958, 0.959로 6단계로 세분화하여 살펴볼 수 있었다. 따라서 Legge의 실험에서 미쳐 관측되지 못한 결과가 본 실험을 통해 나타난 것으로 보여진다.

본 연구의 결과를 일반화 함에 있어 다음과 같은 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 우선, 이 실험의 자극을 제시함에 있어서 바탕색으로 사용한 흰색의 휘도값을 81.95cd/m^{2}으로 고정하고 이를 기준으로 검정색을 10%씩 점진적으로 증가하여 글자색의 휘도단계를 결정하였다. 추후 다양한 바탕 휘도값에 대한 탐색이 추가적으로 진행되어야 할 것이다. 둘째, 실험 자극은 모두 CRT모니터를 기반으로 표준 적정치 값을 이용하여 만들어졌으며 그 값이 최근 들어 널리 사용되기 시작한 LCD 모니터에서도 동일하게 적용된다고 장담할 수 없다. 본 연구에서는 알아보고자 하는 변인 이외에 가독성에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인들을 모두 통제하기 위해서 선행 연구가 상당히 진행되어 있는 CRT모니터를 이용하여

실험의 자극을 제작하였다. 비록 본 연구에서는 LCD 모니터에 대한 관련 연구 부족으로 LCD 모니터를 대상으로 실험을 실시할 수는 없었으나. 향후에 LCD 모니터에 대한 기초 연구가 충분히 이루어지고 나면 LCD 환경에서의 글자색과 바탕색의 휘도대비에 대한 연구가 별도로 진행되어야 할 것이다. 셋째, 본 실험에서 객관적인 피로도를 측정하는 데에 사용한 프리커보다 좀 더 정밀한 측정장비를 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 프리커의 경우 눈의 피로도를 측정하는데 있어 측정장비가 눈의 변화를 바로 측정하는 것이 아니라 눈에서 느껴지는 변화를 손으로 피험자가 직접 입력하기 때문에 피험자별 또는 자극별로 반응속도의 차이가 있어 실험의 결과에 오염요인으로 작용할 수 있다. 또한 프리커의 작동 원리가 비교적 간단하여 실험의 측정장치 사용에 익숙해진 피험자가 본인의 의도에 따라 피로도의 결과를 조작할 가능성도 있다. 넷째, 본 논문에서는 휘도대비에 초점을 맞추어서 이와 상관 관계를 가질 수 있는 요인들로 가독량과 화면 크기만을 고려하였다. 그러나 가독성의 관점에서 휘도대비와 상호작용 관계를 가질 수 있는 변수들이 더 많이 있을 수 있다. 예를 들어, Scharff and Ahumada (1992)의 연구에서는 transparency나 배경 화면의 pattern이 휘도대비와 상호작용을 갖는 것으로 알려졌다. 따라서 추후 연구에서는 이렇게 다양한 요인들을 좀 더 넓게 탐색하는 실험이 실시 되어야 할 것이다.

이러한 제약 사항에도 불구하고 본 연구의 시사점은 아래와 같다. 첫째, 현재까지의 휘도대비와 가독성 간의 관계는 항상 정비례한다는 기존 연구의 통념을 깨고 이 둘 간에 이차 함수의 관계가 성립한다는 이론적인 설명을 제시하고, 그 결과를 통제된 실험을 통해서 실증적으로 입증하였다. 둘째, 디자인 과정에서 글자색과 바탕색 간의 휘도 차이를 결정함에 있어서 제작자의 직관에 의한 제작관행을 벗어나 실증적 연구를 바탕으로 한 구체적 수치를 제시할 수 있었다. 즉, 글자로 되어 있는 컨텐츠를 VDT로 보여 줄 때는 글자색과 바탕색 간의 휘도대비를 무조건 최대화시키는 것이 아니라, C값이 0.951인 지점을 기준으로 맞추라는 것이다. 그리고 이러한 결과는 화면의 크기나 가독량과 상관없이 항상 일정하다는 것도 이 연구의 결과가 실용적으로 활용될 수 있는 가능성을 높여준다. 특히 과거의 가독성 연구들이 주로 한정된 화면 크기와 가독량에 집중된 반면에, 본 연구에서 최근 들어 활용도가 높아지고 있는 핸드폰 화면의 크기와 다양한 가독량을 고려하였다는 것도 이 연구의 실용적 가치를 높여주는 부분이라고 하겠다.

인터넷과 모바일 기기들이 우리 일상 생활에 확대되면서 VDT 환경에서의 가독성에 대한 중요도가 한층 더 높아지고 있으며, 휘도대비는 이러한 가독성을 결정하는 가장 중요한 요소로 간주되고 있다. 그러나 이러한 중요도에도 불구하고 지금까지는 휘도대비와 가독성 간에 단순한 선형 관계만이 존재한다고 하던 기존의 통념을 깨고, 이 둘 간에 2차 함수 관계가 있다는 것을 밝혀낸 본 연구는 가독성과 휘도대비 간의 관계를 좀 더 정밀하게 이해하는 데에 중요한 단서를 제공하였고 더 나아가 VDT 환경에서의 가독성을 향상시킬 수 있는 실질적인 가이드라인을 제공하였다고 볼 수 있다.

참고 문헌

김대영, 박범, Web상에서 한글의 글꼴, 자간에 따른 수행도에 관한 연구, 인간과 컴퓨터의 상호작용 학술대회, *한국정보과학회*, 8(1), 751-757, 1999.

김창희, 한글 인식 과정에서의 안구운동 특성 비교, 동아대학교 석사논문, 부산, 1994.

김철중, VDT workstation의 인간공학적 설계 및 평가기술에 관한 연구 (1차년도), 과학기술처, KSRI-91-069-IR, 1991 1991.

김철중, VDT workstation의 인간공학적 설계 및 평가기술에 관한 연구 (2차년도), 과학기술처, KSRI-92-070-IR, 1992.

백승엽, 조암, 자동차 번호표(보통 번호표) 수자의 가독성에 대한 연구, *대한인간공학회지*, 7(1), 13-20, 1988.

이동후, 시각피로를 기준으로한 VDT 작업시간의 결정, 동아대학교 석사논문, 부산, 1991.

이수진, 화면 크기와 밝기대비에 따른 가독성의 변화, 인간과 컴퓨터의 상호작용 학술대회, *한국정보과학회*, 2003.

이수정, 한글의 글자꼴과 글줄길이가 가독성에 미치는 효과, 연세대학교 석사논문, 서울, 1993.

정재우, 영상매체에 구현되는 한글의 가독성에 관한 연구, 한성대학교 석사논문, 서울, 1997.

정찬섭, 한글의 글자꼴과 문장의 가독성, *제 5회 한글 및 한국어 정보처리 학술발표논문집*, 207-216, 1993.

황우상. 한글 VDT화면의 설계특성 및 가독성 요인의 인간공학적 연구, 동아대학교 박사논문, 부산, 1997.

Albers, Josef, *Interaction of Color*, Yale University Press; Revised edition, 1975.

Askwall, S., Computer supported reading vs. reading text on paper: A comparison of two reading situations, *International journal of man-machine studies*, 22, 425-439, 1985.

Baldwin, T. S. and Bailey, L. J., Readability of technical training materials presented on microfiche versus offset copy, *Journal of Applied Psychology*., 55, 37-41, 1971.

Bouma, H., "Visual reading processes and the quality of text displays," Proceedings of the In *Ergonomic aspects of visual display terminals*, 101-114, 1980.

Bruce, M. and Foster, J. J., The visibility of colored characters on colored backgrounds in view data displays, *Visible Language*, 16, 382-390, 1982.

Buckler, A. T., "A review of the literature on the legibility of alphanumerics on electronic displays," (NTIS AD A040625), U.S. Army Engineering

Laboratory, 1977.

Campbell, C. S. and Maglio, P. P., Facilitating navigation in information spaces: road-signs on the World Wide Web, *International Journal of Human-Computer Studies*, 50, 4, 309-327, 1999.

Clarke, J., *Building accessible web sites*, Boston, MA: New Riders, 2003.

Clauer, C. K., CRT display legibility with reduced character size, IBM Human Factors Center, 1977.

Cocklin, T. G., Ward, N. J., Chenand, H. and Juola, J. F., Factors influencing readability of rapidly presented text segments, *Communications of the ACM*, 45, 10, 127-131, 1984.

Cole, F. R., Stromeyerand, C. F. III. and Kronauer, R., Visual interactions with luminance and chromatic stimuli, *Journal of the Optical Society of America* A, 7, 128-140, 1990.

Cornog, D. Y. and Rose, F. C., *Legibility of Alphanumeric Characters and Other Symbols*. II, National Bureau of Standards Miscellaneous Publication, 1967.

Cushman, W. H., Reading from microfiche, a VDT, and the printed page: subjective fatigue and performance, *Human Factors*, 28, 1, 63-73, 1986.

Douglas, R. M. and James, L. P., "Computer-based readability indexes.," *Proceedings of the ACM '82 conference*, 1982.

Duchnicky, R. L. and Kolers, P. A., Readability of text scrolled on visual display terminals as a function of window size, *Human Factors*, 25, 683-692, 1983.

Fabrizio, R., Kaplanand, I. and Teal, G., Readability as a function of the straightness of right-hand margins, *Journal of Typographic Research*, 1, 90-95, 1967.

Fiser, J., Bex, P. J. and Makous W., Contrast conservation in human vision. *Center for Visual Science*, USA., 2003.

Gegenfurtner, K. and Kiper, D., Contrast detection in luminance and chromatic noise, *Journal of the Optical Society of America* A, 9, 1880 -1888, 1992.

Gould, J. D., *Why do people read more slowly from CRT displays than from paper?, Paper presented at the meeting of the Software Psychology Society*, Washington, D.C., 1985.

Gould, J. D. & Grischkowsky, N., Does visual angle of a line of characters affect reading speed?, *Human Factors*, 28, 165-173, 1986.

Gould, J. D. and Grischkowsky, N., Doing the same work with hard copy and with cathoderay tube (CRT) computer terminals., *Human Factors*, 26, 323-337, 1984.

Granaas, M. M., Mckay, T. D., Lanham, R. D., Hurtand, L. D. and Juola, J. F., Reading moving text on a CRT screen, *Human Factors*, 26, 97-104, 1984.

Grandjean, E. and Vigliani, E., "Fatigue in industry", *British Journal of Industrial medicine*, 36, 3, 175-186, 1979.

Hall, R. H. and Hanna, P., The Impact of Web Page Text-Background Color Combinations on Readability, Retention, Aesthetics, and Behavioral Intention. *Behaviour & Information Technology*., Special Issue on HCI in MIS, 23, 3, 2004.

Heur, H., et al., Equivalent Luminance Contrast for Evaluating Visibility of Chromatic Document; the influence of the character color, background luminance and luminance contrast of documents on readability., 2003.

Hill, A. L. and Scharff, L. V., "Legibility of computer displays with various foreground/background color combinations, font styles, and font types.," *Proceedings of the Eleventh National Conference on Undergraduate Research*, pp. 724-746, 1997.

Ho, J. and Tang, R., "Towards an optimal resolution to information overload: an infomediary approach," *Proceedings of the Proceedings of the 2001 International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work*, Boulder, Colorado, USA., 2001.

Hodge, D. C., Legibility of a uniform-strokewidth alphabet: II. Some factors affecting the legibility of words, *Journal of Engineering Psychology*, 2, 55-67, 1963.

Kak, A. V., "Relationship between readability of printed and CRT-displayed text," *Proceedings of the In Proceedings of the Human Factors Society* 25th Annual Meeting, Santa Monica, California., 137-140, 1981.

Karkkainen, Lari and Jari Laarni, "Designing for small display screens," *In Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-Computer interaction* (Aarhus, Denmark, October 19-23, 2002). Nordi CHI '02, New York, NY, 227-230, 2002.

Knoblauch, K., Arditiand, A. and Szlyk, J., Reading rate depends on luminance contrast but not chromatic contrast, *Investigative Ophthalmology and Visual Science* (Suppl.), 29, 44, 1988.

Knoblauch, K., Arditi, A., & Szlyk, J., Effects of chromatic and luminance contrast on reading, *Journal of the Optical Society of America* A, 8, 428-439, 1991.

Kolers, P. A., Duchnickyand, R. L. and Ferguson, D. C., Eye movement measurement of readability of CRT displays, *Human Factors*, 23, 517-527, 1981.

Laarni, J. and Kojo, I., "Reading financial news from PDA and laptop displays," *Proceedings of the Systems, Social and Internationalization Design Aspects of Human-Computer Interaction*, Mahwah, NJ, Vol. 2 of Proceedings of HCI International 2001, 109-113, 2001.

Legge, G. E., Parish, D. H., Luebker, A. & Lee, H. W., Psycholphysics of reading: Comparing color contrast and luminance contrast, *Journal of Optical Society of America* A, 7, 10, 2002-2010, 1990.

Legge, G. E., Ross, J. A., Maxwell, K. T. & Luebker, A., Psychophysics of reading. VII. Comprehension in normal and low vision, *Clinical Vision Sciences*, 4, 51-60, 1989.

Legge, G. E., Rubin, G. S. & Luebker, A., Psychophysics of reading. V. The Role of Contrast In Normal Vision, *Vision Research*, 7, 1165 -1177, 1987.

Mills, C. B. and Weldon, L. J., Reading text from computer screens, *ACM Computing Surveys (CSUR) archive*, 19, 4, 329-357, 1987.

Munsell, A. H., *A color notation*, Munsell Color Co., Baltimore, 1905.

Naoya, HARA, NAMBA Lchiroand NOGUCHI arow., Equivalent Luminance Contrast for Evaluating Visibility of Chromatic Document; the influence of the character color, background luminance and luminance contrast of documents on readability, *COMMISSION INTERNATIONALE DE L ECLAIRAGE CIE*, 152, 4, 90-93, 2003.

Nielsen, J., *Designing web usability: The practice of simplicity*, IN: New Riders Publishing, Indianapolis, 2000.

Nygren, E., From paper to computer screen: *Human information-processing and user interface design*., Almqvist & Wiksell International, Stockholm, 1996.

Ohlsson, K., Nilssonand, L. and Ronnberg, J., Speed and accuracy in scanning as a function of combinations of text and background colors, *International Journal of Man-Machine Studies*. 14, 215-222, 1981.

Paterson, D. G. and Tinker, M, A., Studies of typographical factors influencing speed of reading: VI. Black type versus white type, *Journal of Apptied Psychology*., 15, 241-247, 1931.

Pearson, R. and van Schaik, P., The effect of spatial layout of and link colour in web pages on performance in a visual search task and an interactive search task., *International Journal of Human-Computer Studies*, 59, 3, 327-353, 2003.

Potter, M. C., Krolland, J. F. and Harris, C., "Comprehension and memory in rapid sequential reading. *In Attention & Performance* VIII," 395-418), Erlbaum, Hillsdale, N.J., 1980.

Radl, G. W., "Experimental investigations for optimal presentation-mode and colours of symbols on the crt-screen," *Proceedings of the In Ergonomic aspects of visual display terminals*, 127-136, 1980.

Rahman, T. and Muter, P., Designing am Interface to Optimize Reading with Small Display Windows., *Human Factors*, 41, 106-117, 1999.

Rambally, G. K., The influence of color on program readability and comprehensibility, ACM SIGCSE Bulletin, *Proceedings of the seventeenth SIGCSE technical symposium on Computer science education SIGCSE '86*, 18, 1, 1986.

Rey, P. and Meyer, J. J., "Visual impairments and their objective correlates," 77-83, 1980.

Reynolds, L., "Display problems for Teletext. In The Technology of Text: Principles or Structuring, Designing, and Displaying Text," 415-437, Englewood Cliffs, 1982.

Rivlin, C., R. Lewisand Davies-Cooper. R., *"Guidelines For Screen Design."* Blackwell Scientific Publications. Oxford, 1990.

Rubin, G. S. and Legge, G. E., Psychophysics of reading. VI. The role of contrast in low vision, *Vision Research*, 29, 79-91, 1989.

Rudnicky, A. I. and Kolers, P. A., Size and case of type as stimuli in reading, *Journal of Experimental Psychology in Human Perception and Performance*, 10, 231-249, 1984.

Sanders and Mc Cormick, The Human factors in engineering and design, McGraw-Hill, 1998.

Scharff, L. V. & Ahumada, A. J. Contrast measures for predicting text readability., *Human Vision and Electronic Imaging* VIII. Edited by Rogowitz, Bernice E.; Pappas, Thrasyvoulos N. Proceedings of the SPIE, 5007, 463-472, 2003.

Scotte, D., Visual search in modern human -computer interfaces, *Behavior and Information Technology*, 12, 3, 174-189, 1993.

Shieh, K. and Lin, C., Effects of screen type, ambient illumination, and color combination on vdt visual performance and subjective preference, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26, 527-536, 2000.

Shneiderman, Ben, Designing information-abundant web sites: issues and recommendations, *International Journal of Human-Computer Studies*, 47, 1, 5-29, 1997.

Shubin, H. and Falckand Johansen, D., Exploring color in interface design, *interactions*, 3, 4, 36-48, 1996.

Shurtleff, D. A., *Legibility research*, Proc. SID, 15, 41-51, 1974.

Shurtleff, D. A., *How to Make Displays Legible*, Human Interface Design, La Mirada, Calif., 1980.

Simonsen, E. and Enzer, N., Measurements of flicker frequency of flicker as a test of fatigue of the central nervous system, *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*., 23, 83-89, 1941.

Smith, S. L., Letter size and legibility., *Human Factors*, 21, 661-670, 1979.

Smith, S. L., User-system interface design for computer-based information systems, MITRE, Bedford, Mass., 1982.

Streveler, D. J. and Wasserman, A. I., Quantitative measures of the spatial properties of screen designs, *Proceedings of Interact '84 Conference on Human Computer Interaction*, International Federation for Information Processing, London, 125-133., 1984.

Taylor, C. D., The relative legibility of black and white print., *Journal of Educational Psychology*, 25, 8, 561-578, 1934.

Tinker, M. A., Prolonged reading tasks in visual research, *Journal of Applied Psychology*, 39, 444-446, 1955.

Tinker, M. A., Legibility of Print, The Iowa State University Press, Ames, Iowa., 1963a.

Tinker, M. A. Influence of simultaneous variation in size of type, width of line, and leading for newspaper type., *Journal of Applied Psychology*, 47(6), 380-382, 1963b.

Tinker, M. A. & Paterson, D. G., Studies of typographical factors influencing speed of reading: VII. Variations in color of print and background, *Journal of Applied Psychology*, 15, 471-479, 1931.

Trollip, S. R., and Sales, G., Readability of computer generated fill-justified text, *Human Factors*, 28, 159-163, 1986.

Tullis, Thomas S. and Jennifer L., Boyntonand Harry Hersh, "Readability of fonts in the windows environment.," *Proceedings of the Conference companion on Human factors in computing systems*, 1995.

Vartabedian, A. G., Effects of parameters of symbol formation on legibility., *Information Display*, 5, 23-26, 1970.

Wilson, H. R. and Gelb, D. J., Modified line-element theory for spatial-frequency and width discrimination, *Journal of the Optical Society of America* A, 1, 124-131, 1984.

Wolf, J. M., Guided search 2.0: a revised model of visual search, *Psychonomic Bulletin and Review*, 1, 2, 202-238, 1994.

Wright, P. and Lickorish, A., Proofreading texts on screen and paper, *Behaviour and Information Technology*, 2, 227-235, 1983.

Zachrisson, B., *Studies in the Legibility of Printed Text*., Almqvist & Wiksell, Uppsala, Sweden., 1965.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 이 수 진 ❖ thecolor@yonsei.ac.kr
연세대학교 인지과학 석사
현 재: 홍익대학교 시각디자인과 박사과정
(연대 HCI랩 연구원)
관심분야: Human Computer Interaction, Color Interface Design

❖ 김 진 우 ❖ jinwoo@yonsei.ac.kr
Carnegie Mellon Univ. Ph.D
현 재: 연세대학교 경영대학 부학장
(연대 HCI랩 연구소장)
관심분야: Human Computer Interaction

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 07월 07일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 02월 21일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 05월 10일