

## Exploring Reading Ability Diagnostic Assessment Using Eye Tracking Methodology

Sook-Ki Choi\*

Korea National University of Education

### <ABSTRACT>

The aim of this study was to develop reading ability test using eye-tracking technology. This study was to analysis and categorize the reading ability assessment constructs and eye movement variables to detect reading disability or reading problem. Reading ability assessment constructs were decoding and reading comprehension. Decoding construcs had three subconstrucs: 1) phonemic awareness, 2) word recogntion, 3) reading fluency. Reading comrehension construcs had three subconstrucs: 1) literal comrehension, 2) Inferencial comprehension, 3) critical comprehension. Reader's eye movement were measured to diagnose and detect reading problems using eye-tracker technology. When decoding ability is measured, reader(subject) see print stimuli, then read aloud and eye-tracker measure eye-voice span, fixation of correct target(ex. letter or word) in presented text. When reading comprehension ability is measured, reader(subject) read questions and reading passage(or text), then they reread to find correct answer. At this time, eye-tracker measured reader(subject)'s fixations, saccadesin, regressions in AOI(Area of Interest) which involved important informantion or evidences to judge correct answers.

**Key words** : reading abiliy, diagnostic assessment, reading disability, eye-movement, eye-tracking

### Introduction

읽기(reading)란 인간의 지적 진화(intellectual evolution)을 이끄는 핵심적 기제이다. 인류는 오랜

시간에 걸쳐 수많은 지식들을 당대의 특정한 문자 체계를 통해 텍스트로 기록하였다. 텍스트 속에 입력된(coding) 지식들은 읽기라는 해독(decoding)의 과정을 거쳐 후대의 인류에게 전수되어 왔다. 지식을 문자 체계로 입력하고 다시 해독하는 일련의 과

---

\* Corresponding Author : Sook Ki Choi, [agrement@knue.ac.kr](mailto:agrement@knue.ac.kr)

Received Mar 31, 2018; Reviewed Apr 26, 2018 Accepted June 2, 2018; Published June 29, 2018

© 2018. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

정을 우리는 문식 행위(literacy acts)라 하는 데 우리는 이러한 문식 행위를 통해 현재의 지적 진화를 이루어낸 것이다.

이러한 읽기의 본질을 규명하기 위한 연구는 1870년대 구조주의 관점에서 심리 연구를 진행한 독일의 Wilhelm Wundt와 그의 조교인 J.M. Cattell에 의해 실시되었다. 이들의 연구는 읽기의 인지적 과정에 대한 연구들로 단어에 대한 재인, 읽기 폭(reading span)과 같은 독자의 주의 집중(attention)에 관한 것들이 주를 이루었다(Venezsky, 1984). 읽기의 인지 과정을 연구한 또 다른 연구는 파리 대학의 Emile Javal에 의해 실시되었다. Javal은 프랑스인 안과의사 겸 교수로 눈동자 움직임(eye movement)을 통한 읽기 연구를 수행하였다(Roper-Hall, 2007).

Javal은 눈동자의 움직임과 읽기의 관계를 탐색함으로써 읽기의 인지 과정을 보다 더 가시적으로 규명하게 되었다. 그의 연구는 읽기가 이루어질 때 독자의 눈동자는 텍스트를 순차적이고 연속적으로 읽는다는 그간의 상식을 깨뜨리면서 실제로 독자의 눈동자는 아주 짧게 멈추어 읽는 고정(fixations)과 급작스럽고 재빠른 도약(saccades)을 통해 읽기를 수행한다는 사실을 규명하였다. 19세기 후반 Javal로부터 비롯된 눈동자 움직임을 통한 읽기의 인지적 과정을 탐색하는 연구는 1950년대 읽기와 관련한 인지 처리과정에 대한 연구가 촉발되면서 다시금 주목받기 시작했다.

그러나 그 시기까지도 눈동자 움직임을 측정하는 기술의 발달이 충분하지 못했기 때문에 읽기의 인지적 과정을 탐색하기 위한 연구 방법은 사고 구술 프로토콜(think-aloud protocols)과 같은 내성법에 의존할 수 밖에 없었다. 사고 구술 프로토콜(think-aloud protocols)과 같은 내성법(introspection)은 독자의 읽기 처리 과정, 읽기를 수행하는 동안에 사용하는 기능이나 전략을 탐색할 수 있도록 하는 유일한 방안 중 하나였다(Allan, 1992; Cordon & Day, 1996; Langer, 1987; Li, 1992). 일반적으로 사고 구술은 자신이 수행하고 있는 읽기 과제(task)와 관련하여 자신이 보거나, 생각하거나, 느낀 바를 피험자가 구두로 소리 내어 표현하는 방식이다.

그러나 이 방식은 읽기의 인지 과정을 연구하는

데 크나큰 제약을 지니고 있었다. Afflerbach & Johnston(1984)의 연구에서 일부 참여자들은 자신의 읽기 과정에 대한 상위인지 인식이 충분하지 않아 인지 처리 과정의 일부를 누락하여 보고하였고 또 다른 참여자들은 자동화되어 처리된 읽기 과정에 대해 보고하는 능력이 부족한 것으로 나타났다. 더욱 큰 문제는 사고구술 방법이 읽기 과정 자체를 방해함으로써 실제적 읽기 과정의 본질을 침해시켜 연구 자체가 온전히 수행되지 못하는 데서 발생하였다(Alderson, 2000; Ericsson & Simon, 1984).

이러는 가운데 눈동자 추적(Eye-tracking) 기술의 발달로 인해 눈동자 움직임을 활용한 읽기 과정을 탐색한 연구가 폭넓게 수행되기 시작하였다(Rayner, 1998; Rayner et al., 2012). 이 방법론은 읽기 연구를 수행하는 데 있어 특정한 읽기 기능에 대한 보고가 누락될 이유도 없을 뿐더러, 읽기 과정 자체를 방해하지 않는 비침습적 연구 방법으로서의 강점을 지니고 있다. 눈동자 추적 데이터는 실시간(on-line)으로 독자의 읽기 처리 과정에 대한 정보를 제공해주기 때문에 실제 읽기의 본질에 가장 근접한 정보를 획득할 수 있도록 해준다.

이러한 장점으로 인해 읽기 분야에서 폭넓게 적용되어 왔던 눈동자 움직임 연구는 읽기 능숙도나 읽기 부진을 진단하기 위한 주요한 방법론으로 다루어지기 시작했다(Lefton et al., 1979; Hyönä et al., 2002; Hyönä & Nurminen, 2006; Schoot et al., 2008; Rello & Ballesteros, 2015; Nilsson Benfatto et al., 2016). 눈동자 움직임 연구는 읽기 부진이나 읽기 능력을 진단하는 읽기 속도의 문제, 하위 정보에서 상위 정보로 독해를 처리하는 과정에서 발생하는 어휘 처리의 문제나 문장 간 결합, 문단 내에서의 주요 정보 추출, 글 전체에 대한 정보 탐색 읽기에 대한 세부 과정들을 눈동자 움직임을 통해 실제 측정 결과를 제공해준다. 이는 결과 중심의 지필 평가로 측정할 수 없는 독자의 독해에 관한 인지 처리 과정에 대한 정보를 제공받을 수 있어 독해의 인지 처리 과정과 읽기의 문제를 연계할 수 있는 주요 자료를 제공해준다는 점에서 장점이 있다는 것이다.

결과 중심의 읽기 평가는 읽기 능력에 대한 하위 능력 구인에 대한 진단 점수와 표준화된 진단 특성

진술만 제공해 줌으로써 개별적인 독자의 읽기 능력 수준이나 읽기 문제를 진단하는 데 한계가 있다. 반면에 읽기에 대한 인지 처리 과정에 대한 눈동자 움직임 연구는 그간 지필 평가로는 탐색할 수 없었던 읽기 과정에 대한 개별화된 정보를 제공해 줌으로써 기존의 읽기 능력 진단 평가의 방안을 보정해준다는 데 의의가 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 읽기 능숙도나 읽기 부진을 진단하는 읽기 결과 중심의 지필 평가(paper and pencil test) 방식을 보완하기 위한 방안으로 눈동자 추적 방법에 기반한 읽기 진단 평가의 평가 변인을 도출하고 이러한 평가 변인을 측정할 수 있는 평가 방안을 탐색해보고자 한다.

## Materials and Methods

읽기 능숙도나 읽기 부진을 진단하기 위한 눈동자 움직임의 주요 변인은 [Figure 1]과 같이 고정(Fixation), 도약(Saccade), 회귀(Regression) 등이 있다. 이 변인들의 개념과 이러한 주요 변인별 읽기 진단적 특성을 살펴보았다.

### 1. Concept of fixation variable and reading diagnostic characteristic

고정이란 독자가 글을 읽을 때 한 단어에 눈동자가 일시적으로 멈추는 때, 혹은 멈추어 있는 동안의 시간을 통해 측정되는 지표이다. 이러한 고정 시간은 0.01초부터 몇 초에 이르기까지 지속된다. 일반적으로 고정을 통해 우리가 측정하고자 하는 것은 독자의 집중(attention)에 대한 것이다(Holmqvist et al., 2011). 고정을 측정하기 위한 구체적인 방법은 고정의 횟수(Fixation count), 고정의 비율(fixation rate), 고정 지속 시간(fixation duration)과 같은 지표를 활용하는 것이다.

고정 횟수는 관심 영역(area of interest)에 해당하는 부분에 고정이 이루어진 횟수를 의미한다. 고정 비율은 일반적으로 초 단위로 고정 횟수를 일반화하는 방식으로 특정한 시간 단위 당 고정된 수

(number of fixations)가 얼마인지를 계산하여 산출된 값을 의미한다. 고정 지속 시간은 고정이 이루어진 전체 시간 단위를 의미한다.

일반적으로 고정이 측정되면 독자는 특정한 부분에 대해 인지적으로 주의 집중하고 있다고 볼 수 있고, 이러한 고정 지속 시간이 길면 길수록 독자는 더욱 깊은 수준의 인지 처리 활동을 수행하고 있거나 혹은 인지적 주의 집중을 위한 노력을 기하고 있다고 볼 수 있다.

이러한 이유로 특정한 한 단어에 대해 고정이 자주 이루어진다고거나 혹은 고정 지속 시간이 길다는 것은 독자가 이에 대한 특정하게 인지적인 활동을 수행하기 위해 주의 집중하고 있다고 해석할 수 있다. Lefton et al.(1979)은 초등학교 5학년을 대상으로 하여 읽기 능력별 고정 시간을 비교한 결과를 도출하였는데, 이에 따르면 능숙한 독자들보다 미숙한 독자들이 고정 시간이 더욱 길다는 사실을 보고하였다. Rayner(1998)의 난독증 피험자를 대상으로 한 실험에서 역시 일반인 피험자에 비교할 때 눈동자의 고정 시간이 훨씬 더 긴 결과가 동일하게 나타났다. 독일의 13세 난독증 아동을 대상으로 한 Hutzle & Wimmer(2003)의 연구에서도 눈동자 고정 시간이 난독증의 특성을 진단하는 유의한 변인으로 활용되었다. 일반적으로 읽기 속도와 읽기 성취 간의 유의한 정적 관계를 고려할 때, 읽기 수행 시 독자가 인지 처리 속도가 느리다면 낮은 읽기 성취를 예측할 수 있게 될 것이다.

그러나 고정과 관련한 측정 변인을 단일하게 해석하는 것에 대해서도 신중할 필요가 있다. 예컨대, 고정 시간이 길다는 것은 텍스트들 정보 들 중에 고정하고 있는 구간의 정보가 보다 더 중요한 정보이므로 주의 집중하기 위한 것으로도 해석할 수 있고 더욱 깊은 수준의 독해를 위해 주의 집중하는 것으로도 해석할 수 있다.

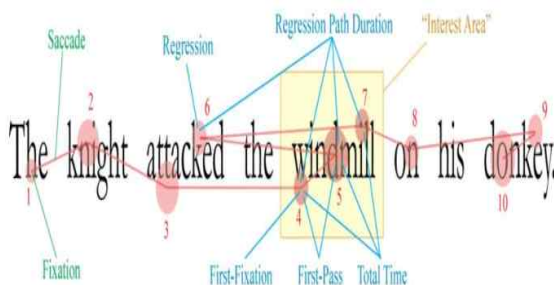
van der Schoot et al.(2008)은 10세부터 12세 학생들을 대상으로 연구를 실시하였는데, 그 결과 능숙한 독자일수록 중요 단어나 핵심어에 더욱 집중하였고 다른 단어에 비해 이에 대한 고정 시간이 더욱 긴 것으로 나타났다. 반면 미숙한 독자는 이에 비해 중요 단어나 핵심어를 변별하지 못했고, 고정 시간에 있어 중요 단어와 그렇지 않은 단어 간에 유의한 차

이 역시 나타나지 않았다. Hyönä et al.(2002)나 Hyönä & Nurminen(2006)에서 역시 능숙한 독자들은 미숙한 독자에 비해 중심 정보가 포함된 글의 특정 부분을 읽을 때 눈동자를 고정하는 빈도가 높았고 고정 시간도 더 긴 것으로 나타났다.

이는 독해가 이루어지는 과정에서 능숙한 독자는 중요성의 수준을 요소별로 변별하고 이에 집중함으로써 중요 정보에 대한 회상력을 높이는 것과 관련 깊다(Kaakinen et al., 2002, 2003; Reynolds, 2000). 특히, 핵심어나 중요 정보를 판별하고 이에 대해 선택적인 주의 집중을 하는 독자의 전략 수행은 거시 정보를 파악하기 위한 것과 관련 깊고 세부적으로는 정보에 대한 중요도 평정이나 요약하기 전략 수행과 밀접한 관련을 맺고 있다(Brown & Day, 1983; Kintsch & van Dijk, 1978).

이를 고려할 때, 고정 변인을 독자의 읽기 능력 수준을 진단하는 변인으로 삼을 수 있을 것이다. 이러한 고정 변인을 통해 측정하고자 하는 구인은 1) 시간 당 소요되는 전체 고정 시간(total fixation duration)과 2) 핵심어나 중요 단어 혹은 중요 정보 부분에 대한 고정 시간에 대한 것으로 볼 수 있다. 1)에 대한 측정은 전체 읽기 속도에 대한 비교를 통해 읽기 능력을 진단하고자 함이고, 2)에 대한 측정은 독자의 텍스트 정보에 대한 중요도 평정과 상위 인지적 전략 수행의 양상을 측정하기 위함이다.

## 2. Concept of saccade variable and reading diagnostic characteristic



[Figure 1] An example of eye-tracking indicators in reading experiment using eye-tracking(Cusimano, 2012)

도약은 한 단어에 대한 고정과 다른 단어에 대한 고정 사이의 빠른 움직임을 의미한다. 단어와 단어 간의 눈동자 움직임에 대한 정보를 의미하는 것이다. Saccade(도약)이라는 단어는 급작스러운 움직임을 의미하는 프랑스어로부터 도출된 단어이다. 눈동자 움직임을 통해 독자의 도약에 관한 행위가 발견되기 이전까지도 글을 읽는 독자들은 자연스럽게 순서대로 글을 읽어갈 것이라 생각되었다. 일반적으로 도약은 30-80ms 정도의 속도로 수행된다.

도약은 읽기 과제의 난이도에 따라 차이를 보이는데, 일반적으로 읽기 과제가 어렵고 인지적 부담이 증가할 때 도약 비율은 감소하게 된다(Nakayama, 2002). 반면에 읽기 과제로 제시된 텍스트의 함축성이나 모호성 수준이 낮은 텍스트일수록, 즉 정보 전달이 명료한 텍스트일수록 도약 비율은 증가한다.

도약 지속(Saccade duration)이란 두 고정 지점 사이를 이동하는 데 걸리는 시간 등으로 추정할 수 있다. 도약 지속 시간은 대개 시각적 수용(visual intake) 혹은 시각적 입력 수행이 별도로 이루어지지 않는 때를 의미한다. 도약 진폭(Saccade amplitude)은 고정이 이루어진 한 지점에서 고정이 이루어진 또다른 지점까지 도약이 이루어진 총 거리를 의미한다. 이 도약 진폭의 단위는 일반적으로 시각적 정도성에 기반한다. 글을 읽는 동안에 이러한 도약 진폭은 시각적 읽기 폭(visual span)에 제한된다.

일반적으로 도약은 텍스트의 난이도(text difficulty)에 영향을 크게 받지만, 미숙한 독자의 경우 텍스트를 읽는 능력 수준이 낮기 때문에 도약 거리가 짧은 특성을 보인다(Rayner, 1998). 반면에 능숙한 독자는 도약 거리가 긴데 이는 전략적으로 정보를 선정하는 읽기를 수행하고 있기 때문이다(Pang, 2008).

도약 거리에 영향을 미치는 독자의 전략 수행은 추론적 독해 전략인 예측하며 읽기 전략이거나 디지털 매체 읽기 전략 중 하나인 훑어읽기(scanning) 전략과 관련 깊다. 예측하며 읽기란 독자가 미리 글의 내용이나 구조를 추론하며 읽기를 수행하는 것을 의미한다. 효율적 독해를 위해 독자는 글의 구조나 내용을 항상 자신의 배경 지식을 활용하여 예측하는 기능을 수행하는 데 이러한 이유로 글에 제시된 모

든 정보에 주목하기보다 어떤 내용이 이어질 것이라든지, 글의 구조에 따라 어떤 정보가 어떤 방식으로 제시될 것인지를 추론하며 읽게 된다. 이러한 전략을 수행하는 능숙한 독자인 경우 도약 거리는 커지게 된다.

Holmqvist et al.,(2011)나 Holsanova et al., (2006)의 연구들에서 인터넷 신문 기사를 읽는 독자가 전통적인 종이로 인쇄된 신문 기사를 읽는 독자에 비해 전체 내용을 모두 읽기보다 필요 정보가 읽는지를 찾아 보는 읽기 전략을 더욱 많이 수행한다는 특징이 드러났다. 이때 주요 측정 방법이 도약 거리에 해당하는 것이었다. 만약 읽기 능력에 대한 진단을 단지 인쇄 기반의 선조적 텍스트에 제한하지 않고 하이퍼텍스트가 기반이 되는 디지털 텍스트까지를 포괄한다면 읽기 능력 진단에 있어 도약 진폭은 찾아 읽기 전략을 수행하며 읽는지를 보여줄 수 있다.

이를 고려할 때, 도약(Saccade) 변인을 독자의 읽기 능력 수준을 진단하는 변인으로 삼을 수 있을 것이다. 이러한 도약 변인을 통해 측정하고자 하는 구인은 1) 도약 지속과 2) 도약 진폭을 포함할 수 있을 것이다. 1) 도약 지속은 도약이 이루어진 총 시간으로 독자의 능동적인 독해 수행 전략 사용, 예컨대 추론적 독해 전략의 사용 정도를 예측할 수 있도록 할 것이다. 2) 도약 진폭은 도약의 총 거리로 볼 수 있는데 이 역시 능동적 독해 수행 혹은 추론적 독해 전략의 수행을 예측할 수 있도록 하는 데 사용될 수 있을 것이다(Krieber et al., 2016).

단, 이때 추론적 독해 전략 수행과의 관련성을 보기 위해 추론적 독해 과제, 예컨대 이후 이어질 내용을 떠올려 본다면, 글의 구조를 고려하며 글의 내용을 파악해본다면 하는 구체적 과제를 설계하여 읽기 능력을 측정할 수 있을 것이다.

### 3. Concept of regression variable and reading diagnostic characteristic

회귀(Regression)는 텍스트의 정보 전개 방향과 역행하여 이동하는 행위를 의미한다. 흔히 회귀는 글을 읽을 때 다시 읽기(re-reading)를 하기 위해 지금 읽고 있는 방향의 반대 방향으로 이동하여 읽는 경

우가 일반적으로 일어난다. 이러한 회귀는 그 폭(regression scan path)과 회귀 비율(Regression rate)로 측정될 수 있다. 회귀 폭은 전방 읽기(forward reading), 즉 왼쪽에서 오른쪽으로 순차적으로 나아가며 읽다가 다시 역행하여 읽기로 돌아간 그 지점까지 총 거리를 의미한다. 회귀 비율은 초당 회귀가 이루어진 횟수로 계산된다.

이러한 회귀는 회귀가 이루어지는 구간이나 읽기의 전략 사용 여부에 따라 개별적으로 해석될 수 있다. 회귀 구간에 따른 차이를 살펴보면 일반적으로 단어 내에서의 회귀는 어휘적 의미를 파악하기 위한 인지 처리 과정을 설명하며, 단어 간의 회귀는 문장 내 정보들을 통합하는 문장 통합에 대한 인지 처리 과정을 일반적으로 설명한다(Rayner, 1998).

단어 이해를 위해 단어 범주 내에 회귀가 이루어지면 이 단어에 대해 독자가 낯설어하고 있어 그 의미 파악을 어려워하고 있다고 해석할 수 있다. 반면 한 문장 내 단어와 단어 간의 회귀가 나타난다면, 이는 문장 내 정보를 통합하여 문장 정보를 파악하고 있다고 볼 수 있다. 만약 회귀가 문장 단위를 넘어서서 문단이나 글 전체의 수준에 걸친다고 보면 특정한 읽기 과제의 수행, 예컨대 읽기 관련 문제 해결을 위해 문항에서 요구하는 정보를 찾기 위해 [① 문제 읽기→ ② 지문 읽기→ ③ 지문(내 부분) 정보 찾으러 읽기]를 수행하는 것으로도 볼 수 있다.

또한 회귀는 능숙한 독자의 주요 읽기 지표로 다룰 수 있다(Rayner, 1998; Rayner, Pollatsek, Ashby, & Clifton, 2012). 첫째, 능숙한 독자는 이해되지 않는 정보를 끈기있게 처리함으로써 읽기를 성공적으로 수행된다. 회귀는 처리되지 않은 정보 처리를 위해 다시 읽기(re-read) 전략을 수행할 때 나타날 수 있다. Rayner(1998)에 따르면, 단어 정보의 불완전한 처리를 통해 읽기를 실패하는 독자들로부터 회귀가 잘 나타나지 않았다.

둘째, 능숙한 독자는 완전히 혹은 충분히 이해되지 않은 정보가 있는 위치를 정확히 회상하여 회귀한다. 이를 행간 되돌아오기(return sweep)라 하는데(Bax, 2013), 이는 회귀의 정확성을 설명한다. 어떤 부분이 미숙하게 이해되었는지를 정확히 기억하고 다시 그 지점으로 효율적으로 되돌아오는 것이 바로

능숙한 독자의 회귀 특성이라 할 수 있다.

일반적으로 미숙한 독자들은 자신이 어려워하는 지점이 어디인지를 명확히 회상하지 못해 정확한 회귀의 실패를 빈번히 경험한다. 이는 읽기 속도를 저해할 뿐 아니라, 근본적으로는 정보의 정확한 파악이 이루어지지 않기 때문에 읽기 실패의 원인이 될 수 있다. 회귀의 정확성은 Khalifa & Weir(2009)에서 신속한 읽기(expeditious reading)와도 밀접한 관련을 맺고 있다.

이를 고려할 때, 회귀(Regression) 변인을 독자의 읽기 능력 수준을 진단하는 변인으로 삼을 수 있을 것이다. 이러한 회귀 변인을 통해 측정하고자 하는 구인은 1) 회귀 폭과 2) 회귀 비율을 포함할 수 있을 것이다. 1) 회귀 폭은 독자가 얼마나 폭넓은 단위의 독해를 수행했는지를 예측할 수 있는 데 활용될 수 있을 것이다. 단어, 문장, 문단, 글 전체의 각 단위별로 독자가 얼마나 정보를 전반적으로 통합하면서 읽었는지를 측정하도록 하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

2) 회귀 비율은 얼마나 자주 회귀가 이루어졌는지를 파악하도록 함으로써 불완전한 정보 처리를 위해 독자가 얼마나 능동적으로 다시 읽기(re-read) 전략을 수행했는지를 측정하도록 하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

단, 회귀의 정확도나 신속한 읽기 수행을 살펴보기 위해서는 회상(recall) 과제를 바탕으로 하여 과제를 설계하고 이와 관련한 수행을 실제적으로 파악함으로써 읽기 능력을 측정할 수 있을 것이다.

## Results and Discussion

앞서 눈동자 추적 방법을 활용한 읽기 능력 진단 평가를 위한 측정 구인으로 (1) 고정, (2) 도약, (3) 회귀 세 구인을 도출하고 읽기 능력에 따른 세 구인별 진단 특성을 살펴보았다. 이에 본 연구에서는 이 세 구인을 바탕으로 한 읽기 능력 진단 평가 도구 개발을 위한 세부 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 일반적인 읽기 능력의 하위 구인인 해독과 독해 차원에서의 진단 요소를 도출하고 이 요소를 측정하

기 위한 눈동자 추적 연계 방안을 모색하고자 한다.

### 1. Decoding ability assessment method

읽기 능력은 일반적으로 해독(decoding)과 독해(comprehension)의 두 기능 간의 결합으로 설명할 수 있다. 해독은 철자 규칙을 이해하고 철자간의 결합으로 구성된 단어의 형태, 소리, 의미를 연결하여 단어를 재인(recognition)할 수 있는 능력을 의미한다. 일반적으로 글을 읽고 이해한다고 이해되는 독해 기능이 수행되기 위해서는 우선적으로 이러한 해독 기능이 숙달되어야 한다.

해독의 문제는 일반적인 읽기 저성취나 읽기 장애의 주요 문제가 되기도 한다. 읽기 부진 독자(Struggling reader)는 그 부진의 원인이 매우 다양하지만(Alverman, 2001), 공통적으로 해독의 문제를 겪고 있다. 결국, 해독을 얼마나 자동화하고 있는지를 설명하는 읽기 유창성(reading fluency)은 능숙한 해독과 성공적 독해 간의 관계를 매개하는 핵심 변인으로 기능한다.

단어 해독에서의 자동성이 확보되면 읽기 유창성이 획득된다고 볼 수 있다. 단어 재인에 인지적 부담(cognitive load)이 가중될 경우, 독해 처리에 관한 인지 활동이 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 이 때문에 학생들의 읽기 능력을 진단할 시에는 반드시 이러한 해독의 자동성과 읽기 유창성을 평가 구인으로 설정해야 한다.

읽기 유창성이란 빠르고 정확하게 글을 읽을 수 있는 능력으로, 읽기의 속도와 정확성, 처리의 유연성을 포함하는 능력으로 흔히 오류 분석 검사(WCPM) 공식인 [1분당 정확하게 읽은 어절 수= 1분당 읽은 전체 어절 수-틀리게 읽은 오류 어절 수]를 통해 측정될 수 있다.

다음으로 독해는 텍스트의 전반적 의미를 파악하는 것과 관련된 것으로 읽기의 궁극적인 목표에 해당한다고 볼 수 있다. 독서 기능 가운데 단어나 문장 단위의 재인 수준을 넘어 문장 간 연결 및 글의 전체적 이해(comprehension)에 작동하는 독해 기능은 추어적 이해부터 해석, 비판적 읽기, 창의적 읽기에 속하는 것이다(Barrett, 1976).

일반적으로 읽기 부진의 주요 원인은 읽기의 기본 능력이자 하위 기능인 해독 기능의 자동화가 읽기 발달의 수준에서 충분히 이루어지지 않아 독해로의 주의 집중이 제한되는 문제로 인해 발생된다. 이 때문에 읽기 능력의 진단에 있어 해독 기능에 대한 고려는 필수적이다. 해독 기능에 대한 평가는 1) 음운 인식(phonemic awareness), 2) 단어 재인(word cognition), 3) 읽기 유창성(reading fluency)의 세 유형으로 이루어진다.

먼저 음운 인식은 소리와 철자 간의 대응 관계나 규칙을 파악할 수 있는 능력이다. 해독 기능의 가장 기본 요소로 예컨대, ‘달’이라는 단어가 ‘ㄷ+ㅏ+ㄹ’의 2개의 자음과 하나의 모음으로 이루어진 한 음절 단위의 단어라는 것을 알고, 각 음소에 대응하는 소리가 무엇인지를 파악하는 능력에 해당한다(Balchman, 1997).

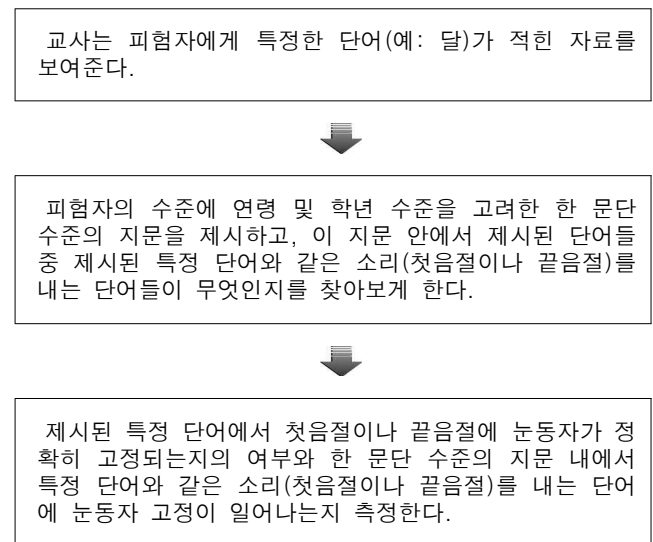
다음으로 단어 재인은 해당하는 ‘달’이라는 단어가 어떤 소리와 의미로 대응되는지를 파악할 수 있는 능력이다. 음운 인식이 단어를 이루는 음소의 소리 규칙을 파악하는 능력이라면 단어 재인은 뜻을 가진 단어 단위에서의 소리와 의미를 대응할 수 있는 능력을 의미한다(Ehri, 2002).

다음으로 읽기 유창성은 제시된 텍스트를 정확하고 신속하게 소리내어 읽을 수 있는 능력을 의미한다. 읽기 유창성은 지문 단위 이상의 텍스트를 제시하고 피험자들에게 제한된 시간 내에 소리내어 읽고 읽은 단어의 총 수나 읽기 중 오류가 나타난 단어 수를 파악하여 이를 평가한다(Hudson et al., 2000).

이 중 해독 기능과 관련해서는 진단하는 학습자의 대상과 특성에 따라 1) 음운 인식의 수준과 2) 단어 재인 수준에서의 출발점을 달리 상정해야 한다. 만약 심각한 읽기 장애(reading disability)를 진단하기 위해서는 1) 음운 인식에 대한 평가부터 실시해야 한다. 그러나 음운 인식 즉, 철자와 소리 규칙 대응에 대한 기본적인 능력을 갖추었으나 해독의 자동성 문제로부터 읽기가 더딘 읽기 부진이나 읽기 저성취를 진단한다고 하면 2) 단어 재인의 수준 이상을 해독의 평가 요소로 설정할 필요가 있다.

해독 기능에서 중요한 것은 시각적 정보인 철자 정보와 소리 정보인 음운 정보를 실제 연결할 수 있

는지 피험자가 소리내어 제시된 텍스트 정보를 읽을 수 있도록 해야 하는 것이다. 이를 고려할 때 평가 방안을 단계화하여 제시하면 다음과 같다.

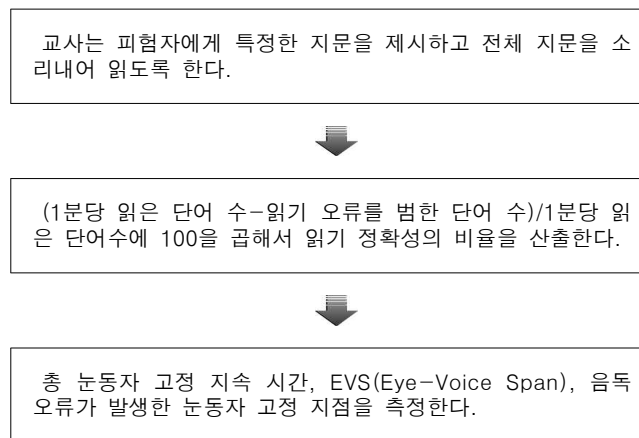


[Figure 2] Phonemic awareness test procedure using eye-tracking

이때 유의할 점은 만약 학생들의 연령 수준이 단어 이상의 수준을 읽지 못하는 유아나 초등학교 1학년 수준에 해당한다면 제시하는 지문은 음절이나 단어 수준으로 제시할 수 있다(예: 돌, 딸, 툴). 단어 재인 역시 음운 인식과 동일한 방법으로 진행할 수 있다. 단위를 음운이 아닌 단어 수준으로 높이면 단어 간의 관계성을 고려하여 유의어, 반의어, 동의어와 같은 단어 관계를 포함하여 검사 가능하다.

다음으로 3) 읽기 유창성 검사는 해독 기능의 자동화를 평가하기 위한 것으로 소리내어 제시된 지문을 읽을 때 얼마나 정확하고 신속하게 읽는지를 평가할 수 있다. 일반적으로 오류 분석 검사(WCPM)를 통해 지문을 제시하고 1분 당 읽은 단어 수와 읽기 오류가 나타난 단어수를 통해 읽기 유창성 수준을 측정한다. 이때 눈동자 추적 방식과 연계할 수 있는 것은 1) 제시된 지문을 읽을 때의 눈동자 고정 총 지속 시간, 2) EVS(Eye-Voice Span) 값 산출, 3) 음독 오류가 발생하는 단어나 지점에 대한 눈동자 고정 양상 분석이다.

1) 지문을 읽는 동안 눈동자 고정이 일어나는 총 고정 시간은 읽기 속도 정보를 바탕으로 읽기 유창성을 평가할 수 있도록 한다. 2) EVS(Eye-Voice Span)는 눈동자로 글자를 읽은 시간과 실제 소리내어 읽는 것 간의 격차를 통해 산출되는데(Quantz, 1987), 이 방법은 이 간격이 클수록 해독 자동화 수준이 낮다고 분석할 수 있다. 3) 음독 오류가 발생한 단어나 철자에 대한 눈동자 고정 양상을 분석하여 어떤 해독 상의 문제를 피험자가 가지고 있는지를 평가할 수 있다. 이를 고려할 때 평가 방안을 단계화하여 제시하면 다음과 같다.



[Figure 3] Reading fluency test procedure using eye-tracking

독해는 텍스트에 대해 독자가 자신의 배경지식이나 경험을 바탕으로 그 의미를 파악하고 의미를 구성하는 것으로 초등학교 중학년 이상의 학생들을 대상으로 읽기 능력을 진단할 때는 이러한 독해에 보다 더 중점을 두고 읽기 평가를 실시한다.

독해 평가의 틀을 제공한 Barret(1976)으로부터 독해는 글에 대한 명시적 정보의 파악(추어적 혹은 사실적 이해), 글의 비명시적 정보의 파악(추론적 이해), 글에 대한 평가적 접근(비판적 이해), 글에 대한 창의적, 감상적 접근(창의, 감상적 이해)의 차원에서 세부적인 독해 기능들이 분류되며 그 수준이 결정되어 왔다. 일반적으로 독해 평가는 각 독해 기능을

문는 문항과 해당 지문을 제시하고 지필 평가를 시행하는 방식으로 다음과 같이 이루어져 왔다.

#### 다음은 읽고 질문에 답하시오.\*

사람은 체내에서 합성한 효소를 이용하여 곡류의 녹말과 같은 비섬유소를 포도당으로 분해하고 이를 소장에서 흡수하여 에너지원으로 이용한다. 위(胃)가 넷으로 나누어진 반추 동물의 첫째 위인 반추위에는 여러 종류의 미생물이 서식하고 있다. 반추 동물의 반추위에는 산소가 없는데, 이 환경에서 왕성하게 성장하는 반추위 미생물들은 다양한 생리적 특성을 가지고 있다. 그중 ①피프로박터 속시노젠(F)은 섬유소를 분해하는 대표적인 미생물이다. 식물체에서 셀룰로스는 그것을 둘러싼 다른 물질과 복잡하게 얽혀있는데, F가 가진 효소 복합체는 이 구조를 끊어 셀룰로스를 노출시킨 후 이를 포도당으로 분해한다. F는 이 포도당을 자신의 세포 내에서 대사 과정을 거쳐 에너지원으로 이용하여 생존을 유지하고 개체 수를 늘림으로써 성장한다. 이런 대사 과정에서 아세트산, 숙신산 등이 대사산물로 발생하고 이를 자신의 세포외부로 배출한다. 반추위에서 미생물들이 생성한 아세트산은 반추 동물의 세포로 직접 흡수되어 생존에 필요한 에너지를 생성하는데 주로 이용되고 체지방을 합성하는 데에도 쓰인다. 반추위에는 비섬유소인 녹말을 분해하는 ②스트렙토코쿠스보비스(S)도 서식한다. 이 미생물은 반추 동물이 섭취한 녹말을 포도당으로 분해하고, 이 포도당을 자신의 세포 내에서 대사 과정을 통해 자신에게 필요한 에너지원으로 이용한다

#### 사실적 이해(literal comprehension) 질문:

1. ①피프로박터 속시노젠(F)은 자신의 세포 내에서 ( )을 에너지원으로 이용하여 성장한다. 빈칸에 들어갈 말을 본문에서 찾으시오.

#### 추론적 이해(inferencial comprehension) 질문:

2. 소나 말, 양 등은 섬유소나 비섬유소 모두를 에너지원으로 이용할 수 있는가?

#### 평가적 이해(critical comprehension) 질문:

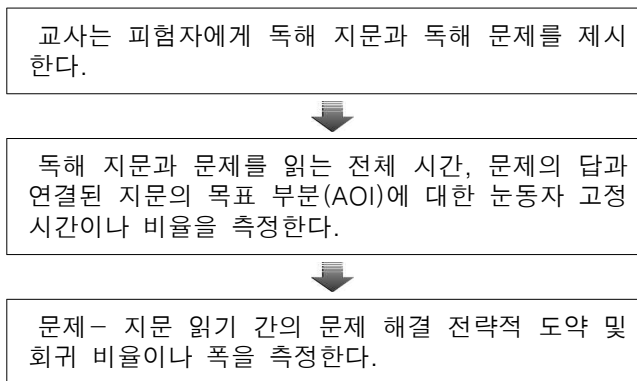
3. 이 글의 문단 중 글의 전체 흐름에서 벗어나서 삭제해야 한다고 생각하는 문단은?

## 2. Comprehension ability assessment mehtod

독해 능력을 평가하는 데 있어 일반적으로는 사실적 이해, 추론적 이해, 평가적 이해를 일반적으로 활

\* 이 지문은 2017학년도 대학수학능력시험 국어 [33~36] 문항 관련 지문 중 일부이다.

용한다. 창의 감상적 이해로 넘어갈수록 독자는 자신의 경험이나 배경지식에 기반하여 독자 중심의 읽기로 나아가기 때문에 텍스트 정보에 연계한 독해 능력을 진단하기 위해서는 사실적 독해나 추론적 독해, 평가적 독해에 관한 평가 항목을 일반적으로 구성할 수 있다(Barret, 1976; Pearson & Hamm, 2005).



[Figure 4] reading comprehension test procedure using eye-tracking

독해 능력을 진단하기 위해 아이트래킹을 활용하는 경우는 대개 제시된 문제 해결을 위해 피험자들이 얼마나 정확하고 신속하게 텍스트의 목표(target)\* 지점에 AOI를 설정하여 이 부분에 대한 눈동자 고정 움직임을 통해 측정할 수 있다. 또한 독해가 수행되는 과정에서 독자가 얼마나 독해 전략을 능숙하고 성공적으로 수행하는지를 측정할 수 있다. 이러한 전략 수행은 1) 고정, 2) 도약, 3) 회귀의 전반에 걸쳐 측정할 수 있다.

먼저 능숙한 독자라 하면 독자는 제시된 문제 해결을 위한 글 읽기를 수행해야 하므로 문제 해결과 관련한 목표(target) 지점을 텍스트 내에서 얼마나 신속하고 정확하게 파악하는지를 눈동자 움직임을 통해 확인할 수 있다. 이에 목표 지점에 대한 관심 영역 분석(AOI)을 통해 각 문제 해결에 요구되는 부분을 AOI로 설정하고 이에 얼마나 눈동자를 오래 고정했는지 고정 횟수나 고정 시간 등을 측정할 수 있다.

다음으로 능숙한 독자라 하면, 문제 풀이를 위한 전략적 독해를 수행한다. 이러한 전략적 독해의 양

상은 문제 해결을 위해 얼마나 효과적으로 읽기 전략을 수행하느냐를 중심으로 드러난다. 이러한 읽기 전략은 1) 중요 정보 파악하며 읽기, 2) 추론하며 읽기, 3) 찾아 읽기 등으로 드러난다. 읽기 진단 평가는 먼저 독해 수준에 따라 독해 문제를 제시한다. 능숙한 독자라면 ① 문제 읽기→ ② 지문 읽기→ ③ 지문(내 부분) 정보 찾으며 읽기의 순서로 읽기를 수행한다. ① 문제 읽기는 먼저 읽기의 주요 목적을 파악하기 위한 읽기 전략이다. 보통 능숙한 독자는 ② 지문 읽기의 단계에서 ① 문제 읽기로 다시 회귀하며 읽기 목적을 수시로 파악하며 읽기를 수행한다.

읽기 목적을 명료하게 인식하며 글을 읽는 것 역시 핵심적인 읽기 전략 중 하나인데 미숙한 독자의 경우 읽기 목적에 대한 문제에 대한 별도의 주의 집중 없이 지문에만 오래 주의 집중하는 경향이 있다. 눈동자의 고정 시간을 비교할 때, 문제와 지문간의 상호작용적 양상이 능숙한 독자들은 뚜렷한 데 반해 지문만 오래 주의 집중할 경우 신속하고 정확한 독해에 실패할 가능성이 높다.

③ 지문(내 부분) 정보 찾으며 읽기에서 능숙한 독자는 독해 질문에 대한 올바른 답을 도출할 수 있는 부분에 재빨리 도약하여 가거나 혹은 정보 간의 관계를 추론하고 통합하기 위해서 답과 유관한 목표 지점인 AOI에 대한 고정 지속 시간, 고정 빈도가 높게 나타나고 전체 글에서 문제의 올바른 답을 산출할 수 있는 AOI에 대한 큰 폭의 도약이나 회귀가 나타날 것으로 예상할 수 있다.

## Conclusions and Implications

본 연구의 목적은 눈동자 추적 방법을 활용한 읽기 능력 진단 평가 방안을 연구하는 데 있다. 이를 위해 우선 능숙한 독자와 미숙한 독자를 분류하는 눈동자 움직임을 특성을 눈동자의 1) 고정, 2) 회귀, 3) 도약의 세 변인에 따라 살펴보았다. 그런 다음 읽기 능력 진단을 위해 전통적으로 다루어 왔던 읽기 능력을 구성하는 하위 구인인 해독(decoding)과 독해(comprehension) 별 세부 구인을 세분화하여 평가

\* 위에서 제시한 사실적 이해 문항과 관련한 지문의 목표 부분에 대한 AOI는 3문단의 '포도당'에 해당한다.

요소별로 나누어 살펴보았다.

그간의 읽기 능력 진단 평가는 대개 읽기 결과를 중심으로 산출되었다. 즉, 특정 문항 구인별 점수나 그 점수의 총 합을 통해 학생들의 읽기 능력을 진단 해온 것이다. 그러나 이러한 단순 총합에 근거하여 읽기 부진 정도를 판별하는 것은 근본적인 읽기 부진 문제 해결에 유의미한 정보라 하기 어렵다.

읽기 능력을 구성하는 하위 요인인 해독과 독해의 과정에서 어떤 인지적 처리나 정보 처리 상의 문제를 내포하고 있는지를 면밀히 분석하고 이 구인별 혹은 발달의 단계나 읽기 부진의 세부 유형에 따른 개별 맞춤형의 읽기 교육이 이루어져야 하는 것이다.

Emile Javal의 눈동자 움직임(eye movement)을 통한 읽기 연구 이후로 측정 도구의 기술적 발달로 인해 비침습적 인지 연구를 가능하도록 하는 눈동자 추적 기술이 도입되었다. 이후로 읽기와 관련한 독자의 인지적 과정에 대한 연구가 촉발되었고 읽기의 본질에 보다 더 다가갈 수 있었다. 이제는 읽기 능력을 진단하고 이에 대한 읽기 교육적 개선 방안을 마련하기 위해 이러한 눈동자 추적 기술을 읽기 평가에 접목하는 방안이 보다 더 활발히 이루어질 필요가 있다.

이에 본 연구는 눈동자 추적 기술로부터 읽기 평가에 활용할 수 있는 주요 변인을 1) 고정, 2) 회귀, 3) 도약으로 도출하고, 이를 해독과 독해의 하위 기능에 다시 접목하여 각각의 읽기 능력을 진단할 수 있는 방안을 모색하였다. 이를 바탕으로 한 본 연구의 함의를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 읽기의 해독 능력 진단과 관련하여 음운 인식과 단어 재인, 읽기 유창성 변인을 상정하고 철자와 소리 대응의 규칙성을 인지하고 이러한 해독 능력의 자동화 양상을 진단하기 위해 눈동자 추적 방법을 접목하고자 하였다.

해독 능력을 진단하는 검사에 익숙하지 않거나 혹은 심각한 읽기 장애나 읽기 문제를 지니고 있는 피험자의 경우 자극에 대응하는 철자나 단어를 정확히 표현하는 데 어려움을 겪을 수 있다. 또한 정확히 표현하다고 해도 해독의 어떤 문제에 대해 어려움을 겪고 있는지를 정밀히 진단하기에는 전통적인 읽기 해독 진단 방법으로는 한계가 있을 수 있다.

그러나 본 연구의 경우는 표현 능력의 제약 문제를 해소하고 보다 정밀한 해독 문제의 진단을 가능하게 함으로써 전통적인 방법을 보완할 수 있는 장점이 있다.

둘째, 읽기의 독해 능력 진단과 관련하여 1) 사실적 이해, 2) 추론적 이해, 3) 비판적 이해의 독해의 수준과 양상별 평가와 눈동자 추적 방안을 연계하고자 하였다. 특히, 독해 문제는 하나의 읽기 목적으로 상정되고 이 읽기 목적에 부합하는 지문의 정보를 목표 정보로 삼아 이에 대한 AOI 분석을 통해 전략적 읽기를 얼마나 신속하고 정확하게 수행하고 있는지의 차원에서 읽기 능력을 진단하는 방안을 본 연구를 통해 제안하였다.

셋째, 읽기 능력 진단을 위한 해독과 독해 차원에서 눈동자 추적 연계 방안을 절차화하여 본 연구는 제시하고 있다. ① 특정 과제 제시→ ② 피험자의 반응→ ③ 측정 방안의 세 단계 차원으로 해독과 독해에 관한 세부 읽기 능력 진단의 절차를 제시하였고 측정 결과에 대한 세부적 정보를 도출함으로써 향후 읽기 평가에 있어 눈동자 추적 기술을 연계할 수 있도록 하는 구체적인 방향성을 마련하였다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다.

## References

- Afflerbach, P. & Johnston, P. (1984). Research methodology: On the use of verbal reports in reading research. *Journal of Reading Behaviour*, 16, 307-322.
- Alderson, J. C. (2000). *Assessing reading*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Allan, A. I. C. G. (1992). *EFL reading comprehension test validation: investigating aspects of process approaches*. Unpublished PhD thesis, Lancaster University, Lancaster.
- Ashby, J., Rayner, K., & Clifton, C. Jr., (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58, 1065 - 1086.

- Bax, S. (2013). The cognitive processing of candidates during reading tests: Evidence from eye-tracking. *Language Testing*, 30(4), 441-465.
- Blachman, B. (1997). Early intervention and phonological awareness: A cautionary tale. In B. Blachman (Ed.), *Foundations of reading acquisition and dyslexia: Implications for early intervention*, (pp. 409 - 430). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Brown, A.L. & Day, J.D. (1983). Macrorules for summarizing texts - the development of expertise. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 1 - 14.
- Cordon, L. A., & Day, J. D. (1996). Strategy use on standardized reading comprehension tests. *Journal of Educational Psychology*, 88(2), 288-295.
- Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). Prospects and limits in the empirical study of expertise: An introduction. In K. A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits* (pp. 1 - 38). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ehri, L. (2002). Phases of acquisition in learning to read words and implications for teaching. In R. Stainthorp and P. Tomlinson (Eds.) *Learning and teaching reading. Learning and teaching reading*. London: British Journal of Educational Psychology Monograph Series II.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: Oxford University Press.
- Holsanova, J., Rahm, H., & Holmqvist, K. (2006). Entry points and reading paths on newspaper spreads: Comparing a semiotic analysis with eye tracking measurement. *Visual Communication*, 5(1), 65 - 93.
- Hutzler, F. & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain Lang*, 89(1), 235 - 242.
- Hyönä, J., Lorch, R. F. J., & Kaakinen, J. K. (2002). Individual differences in reading to summarize expository text: Evidence from eye fixation patterns. *Journal of Educational Psychology*, 94, 44 - 55.
- Hyönä, J., & Nurminen, A. M. (2006). Do adult readers know how they read? Evidence from eye movement patterns and verbal reports. *British Journal of Psychology*, 97(1), 31-50.
- Kaakinen, J.K., Hyönä, J. & Keenan, J.M. (2002). Perspective effects on online processing. *Discourse Processes*, 33, 159 - 173.
- Kaakinen, J.K., Hyönä, J. & Keenan, J.M. (2003). How prior knowledge, WMC, and relevance of information affect eye fixations in expository text. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 29, 447 - 457.
- Khalifa, H. and Weir, C.J. (2009). *Examining Reading*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Kintsch, W. & van Dijk, T.A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363 - 394.
- Krieber M, Bartl-Pokorny KD, Pokorny FB, Einspieler C, Langmann A, Körner C, et al. (2016). The Relation between Reading Skills and Eye Movement Patterns in Adolescent Readers: Evidence from a Regular Orthography. *PLoS ONE*, 11(1): e0145934. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145934>.
- Langer, J. (1987). The construction of meaning and the assessment of comprehension: An analysis of reader performance on standardized test items. In R. O. Freedle & R. P. Duran (Eds.), *Cognitive and linguistic analyses of text performance* (pp. 225-244). Norwood, NJ: Ablex.
- Lefton, L. A., Nagle, R. J., Johnson, G., & Fisher, D. F. (1979). Eye movement dynamics of good and poor readers: Then and now. *Journal of Reading Behavior*, 11(4), 319 - 328.
- Nakayama, M., Takahashi, K., & Shimizu, Y. (2002). The act of task difficulty and eye-movement frequency for the oculo-motor indices. Proceedings of the 2002 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications, 25-27.
- Pang, J. (2008). Research on good and poor reader

characteristics: Implications for L2 reading research in China. *Reading in a Foreign Language*, 20(1), 1 - .18.

- Pearson, P. D., & Hamm, D. N. (2005). The Assessment of Reading Comprehension: A Review of Practices-Past, Present, and Future. In S. G. Paris & S. A. Stahl (Eds.), *Center for improvement of early reading achievement (CIERA). Children's reading comprehension and assessment* (pp. 13-69). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372 - 422.
- Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., & Reichle, E. Li, W. (1992). What is a test testing? An investigation of the agreement between students' test taking processes and test constructors' presumptions. Unpublished MA thesis, Lancaster University, Lancaster.
- Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., and Reichle, E. (2004) The effects of frequency and predictability on eye fixations in reading: implications for the E-Z Reader model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 720 - 32.
- Rello, L., & Ballesteros, M. (2015). Detecting readers with dyslexia using machine learning with eye tracking measures. *In Proceedings of the 12th Web for All Conference*, W4A '15, 16:1 - 16:8, New York, NY, USA. ACM. doi:10.1145/2745555.274
- Nilsson Benfatto, M., Öqvist Seimyr, G., Ygge J., Pansell, T., Rydberg A., and Jacobson, C. (2016). Screening for dyslexia using eye tracking during reading. *PLoS ONE* 11(12), from <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0165508>.
- Venezky, R. L. (1984). The history of reading research. In P. D. Pearson (Ed.), *Handbook on Reading Research*. New York: Longman.