

아동 언어 습득 연구를 위한 웹캠 시선 추적 기술(WebGazer)의 유효성 평가*

이수희**, 문성민[†], 신규호***

소원유치원, 경북대학교, University of Illinois Chicago

Suhe Lee, Seongmin Mun, Gyu-Ho Shin. 2025. Evaluating the Effectiveness of Webcam-based Eye Tracking (WebGazer) for Research on Child Language Acquisition. *Language and Information* 29.3, 257-274. This study explored how well a webcam eye-tracking system, built with WebGazer and jsPsych, can be used to study language understanding in young children. The goal was to see if this webcam-based setup could reliably track where children look while they listen to simple Korean sentences and choose matching pictures. In the experiment, 4-year-old children heard either active or passive sentences and saw two pictures showing different meanings. Their eye movements were recorded to understand how they processed the sentence structures. The results showed that even in a home setting, the system could collect useful data with reasonable accuracy. Children were much better at understanding active sentences than passive ones, showing that they still rely more on simpler sentence forms. Overall, the study shows that webcam-based eye-tracking can be a cost-effective and practical tool for child language research, especially when traditional lab-based methods are hard to use.

Key words: Comprehension, Passive voice, Active voice, Child, Korean, Webcam eye-tracking

* 이 논문은 2025년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문한국3.0(HK3.0)사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2025S1A6B5A02004239).

** 제1저자, (41168) 대구광역시 동구 아양로 42번길 12, 소원유치원 원장, E-mail: s9425006@naver.com

† 교신저자, (41566) 대구광역시 북구 대학로 80, 경북대학교 영어영문학과 조교수, E-mail: seongminmun@knu.ac.kr

*** 공동저자, (60607) 601 S Morgan St., Chicago, IL, USA, Department of Linguistics, University of Illinois Chicago. Assistant Professor, E-mail: ghshin@uic.edu

1. 서론

시선 추적 기술은 월등히 높은 시공간 해상도를 바탕으로 복잡한 자극에 대한 아동의 주시 패턴을 자동적으로 측정할 수 있는 이점을 지닌다(Oakes, 2012; Wass et al., 2013). 아동을 대상으로 한 대면 실험 환경에서 시선 추적 기술을 어떻게 활용할 수 있는지에 대한 모범 사례는 이미 기존 문헌들에서 구체적으로 제시되어 왔으며(Oakes, 2012), 그간의 연구들은 대부분 상용화된 시선 추적 시스템을 활용하여 실험실 내에서 직접 대면하는 방식으로 수행되어 왔다. 성인을 대상으로는 컴퓨터 기반 인지 실험과 행동 과학 연구 등에서 웹캠 시선 추적 기술이 꾸준히 제안되어 왔으나(Valliappan et al., 2020; Xu et al., 2015; Bogdan et al., 2023 등), 이와 같은 기술이 아동을 대상으로 한 상호작용 기반 과제에서 타당화되었다는 근거는 아직 충분히 확보되지 않은 실정이다.

2020년 이후 코로나19 팬데믹으로 인해 대면 실험의 수행이 제한됨에 따라, 원격 환경에서 수행 가능한 웹 기반 연구의 수요는 급격히 증가하였다. 이에 따라 발달심리학 및 언어 습득 연구 분야에서도 원격 실험을 위한 다양한 기술적 도구 및 방법론들이 제안되었으며(Lo et al., 2021 등), 그 활용 가능성이 활발히 모색되었다. 그럼에도 불구하고 다수의 연구들은 여전히 실험 데이터의 분석에 있어 수작업 기반의 비디오 코딩에 의존하고 있으며(Bacon et al., 2021 등), 이러한 방식은 고도의 훈련과 인적 자원이 요구되는 비효율적인 절차로, 특히 대규모 표본을 대상으로 한 연구에서는 현실적인 한계를 노정한다. 이에 비해 자동화된 웹캠 시선 추적 기술은 동공 크기나 시선 고정점 등과 같은 정량적 시선 정보를 상대적으로 높은 시간 및 공간 해상도로 제공할 수 있어, 기존의 수작업 방식으로는 도달할 수 없었던 새로운 탐색 가능성을 제시한다(Özkan, 2018). 뿐만 아니라, 이러한 원격 기반 실험 방식은 시간과 장소의 제약을 최소화하며, 다양한 인구 집단에 대한 접근성 확대, 연구 비용의 절감, 참여자 편의성 증대, 시차 유연성 확보, 국제 공동연구 활성화 등 다면적인 이점을 제공한다(Byers-Heinlein et al., 2020 등).

그럼에도 불구하고 웹캠 시선 추적 기술은 조명 환경, 참여 아동의 자세, 주변 방해 자극 등 실험 조건을 정밀하게 통제할 수 없다는 점, 그리고 카메라 화질 및 샘플링 속도가 기존 상용 시선 추적 장비에 비해 낮다는 기술적 제약점을 동시에 내포하고 있다(Wass, 2016 등). 본 연구는 이러한 제약점을 인지한 상태에서, 자바스크립트 기반의 웹 실험 프레임워크인 jsPsych와 오픈소스 시선 추적 라이브러리인 WebGazer를 활용하여 구현된 웹캠 시선 추적 시스템의 정밀도 및 적용 가능성을 실증적으로 검증하고자 하였다. 이를 위해 아동에게 능동문 및 피동문 문장을 청각 자극으로 제시하고, 각 문장에 대응하는 두 개의 그림(행동주와 피동주 간의 의미 관계가 상반된 그림)을 동시에 제시한 뒤, 아동의 시선 반응을 분석함으로써 해당 문장의 통사적 구조에 대한 이해 정도를 평가하는 방식으로 실험을 설계하였다(Mun & Shin, 2025). 실험은 아동이 청취한 문장에 내재된 의미 구조를 바탕으로, 시선을 해당 그림에 선제적으로 고정하는지를 측정함으로써 문장 이해 능력을 자동화된 방식으로 추론 할 수 있도록 구성되었으며, 이는 실험실 기반의 고가 장비 없이도 실행 가능한 고유연성·저비용의 원격 실험 패러다임으로서 학문적 및 실용적 의의를 지닌다.

덧붙여 본 연구는 아동이 피동 구조와 같이 통사적으로 복잡한 문장에서 행동주와 피동주 간의 의미 관계를 어떤 방식으로 추상화하고 일반화하는지를 살펴보는 이론적 논의와도 연계된다. 본 연구에

서 채택한 실험 설계는 한국어와 같이 통사적 표지가 뚜렷한 언어 환경에서 아동이 피동 구조를 얼마나 조기에 이해하고 일반화할 수 있는지를 탐색하는 데 있어 중요한 자료를 제공할 수 있을 것이다.

본 연구는 WebGazer기반의 웹캠 시선 추적 시스템이 아동의 문장 이해 능력, 특히 능동문과 피동문과 같은 통사 구조 처리 과정을 측정하는 데 있어 유효한 도구로 기능할 수 있는지를 실증적으로 검토하고자 한다. 이를 통해 기존의 실험실 기반 시선 추적 시스템이 갖는 물리적·기술적 제약을 보완할 수 있는 저비용·고접근성의 대안으로서, 웹캠 기반 시선 추적 기술의 적용 가능성을 탐색하고자 한다.

본 연구는 다음과 같은 두 가지 주요 목적을 중심으로 구성되었다. 첫째, 기술적 측면에서는 WebGazer와 jsPsych를 활용한 웹캠 시선 추적 실험이 아동을 대상으로 한 문장 이해 실험에 사용될 수 있는지 그 정밀도와 신뢰도를 확인하고자 한다. 둘째, 이론적 측면에서는 아동이 통사 구조(예: 피동문)에 내포된 행동주와 피동주 간의 의미적 관계를 얼마나 조기에 추상화하고 일반화할 수 있는지를 탐색하고자 한다.

본 연구는 이와 같은 연구 목적과 질문을 바탕으로 제2장에서 '선행 연구 검토'를 고찰하였으며, 제3장에서는 원격 환경에서의 실험 설계 및 절차를 구체적으로 서술하였다. 제4장에서는 실험을 통해 수집된 시선 추적 데이터를 분석하여 '연구 결과'를 제시하고, 제5장 '논의 및 결론'에서는 분석 결과에 대한 해석과 시사점, 본 연구의 의의와 한계, 그리고 향후 연구 방향을 통합적으로 정리하였다.

2. 선행 연구 검토

2.1. 웹캠 시선 추적 기술을 사용한 언어 실험

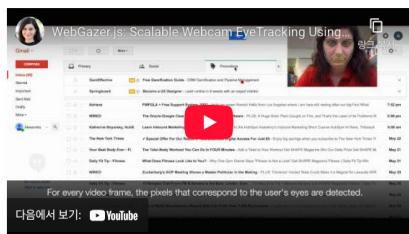
최근 원격 환경에서 수행되는 언어 및 인지 실험에 대한 학계의 관심이 급증함에 따라, 기존의 실험실 기반 시선 추적 시스템이 지니는 다양한 제약을 극복하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 전통적인 실험실 기반 시선 추적 장비는 고가의 장비 비용, 복잡한 설치와 유지관리, 물리적 실험 공간의 필요, 그리고 피실험자의 혼란 참여 요건 등 여러 가지 제약을 동반하며, 이로 인해 실험 설계 및 실행 과정에서 실질적인 제약이 발생한다(Wass, 2016; Papoutsaki et al., 2016; Steffan et al., 2023). 이러한 한계점을 극복하고 보다 경제적이면서도 접근성이 높은 대안적 실험 방법론을 확보하고자 하는 요구에 따라, 웹캠 시선 추적 기술이 새로운 가능성으로 부상하고 있다.

이러한 기술적 수요에 대응하여 Papoutsaki et al. (2016)은 웹 브라우저 환경에서 동작 가능한 오픈소스 시선 추적기인 WebGazer를 개발하였다(그림 1 참고). 본 시스템은 별도의 외부 장비 없이 일반 노트북이나 데스크탑의 내장 웹캠만을 활용하여 실시간으로 사용자의 시선 데이터를 수집할 수 있도록 설계되었으며, 얼굴 및 눈의 위치를 자동으로 인식하고 이를 기반으로 화면 상의 시선 좌표를 예측하는 알고리즘을 탑재하고 있다. 또한 WebGazer는 자바스크립트 기반으로 개발되어 있어 jsPsych 등 다양한 웹 실험 플랫폼과의 통합이 용이하다는 점에서, 컴퓨터 공학에 대한 전문 지식이 부족한 연구자에게도 실험 구현의 진입 장벽을 낮추는 데 기여한다.

WebGazer.js

Democratizing Webcam Eye Tracking on the Browser

WebGazer.js is an eye tracking library that uses common webcams to infer the eye-gaze locations of web visitors on a page in real time. The eye tracking model it contains self-calibrates by watching web visitors interact with the web page and trains a mapping between the features of the eye and positions on the screen. WebGazer.js is written entirely in JavaScript and with only a few lines of code can be integrated in any website that wishes to better understand their visitors and transform their user experience. WebGazer.js runs entirely in the client browser, so no video data needs to be sent to a server, and it requires the user's consent to access their webcam.



- Real time gaze prediction on most common browsers
- No special hardware; WebGazer.js uses your webcam
- Self-calibration from clicks and cursor movements
- Easy to integrate with a few lines of JavaScript
- Swappable components for eye detection
- Multiple gaze prediction models
- Continually supported and open source for 6+ years

<그림 1> WebGazer 공식 소개 페이지: 일반 웹캠을 이용한 실시간 웹캠 시선 추적 기술을 설명하는 WebGazer의 공식 설명 화면

WebGazer의 실험적 타당성과 정확성은 여러 후속 연구들을 통해 점차 입증되고 있다. 예컨대, Slim & Hartsuiker(2022)는 화면의 네 구퉁이에 무작위로 제시되는 십자 자극을 활용하여, WebGazer와 상용 실험실 기반 시선 추적기 간의 성능을 비교하였으며, 양 시스템 간 시선 추적 정확도에서 유의한 차이가 존재하지 않음을 보고하였다. 이러한 결과는 WebGazer가 실험 환경에서도 신뢰성 있는 시선 데이터를 제공할 수 있음을 시사한다.

한편, Özsoy et al. (2023)은 WebGazer를 활용하여 터키어-독일어 이중언어 아동과 터키어 단일언어 아동을 대상으로 주어 판별 과제를 수행하였다. 본 실험은 (1) 전통적인 대면 그림 선택 방식과 (2) WebGazer 기반의 웹캠 시선 추적 방식으로 구성되었으며, 실험 결과 두 방식 간 유의미한 차이가 관찰되지 않았다. 이는 WebGazer가 어린 아동을 대상으로 한 언어 인지 실험에서도 효과적으로 활용될 수 있음을 보여주는 사례로 평가된다.

또한 Steffan et al. (2023)을 비롯한 최근의 연구들은 다양한 언어 및 인지 실험에 WebGazer를 적용하여 그 정확도, 효율성, 활용 가능성을 지속적으로 입증하고 있다. 특히 코로나19 팬데믹 이후 원격 실험 방식의 수요가 증가하면서, WebGazer는 발달심리학 및 언어 습득 연구 분야에서 핵심적인 실험 도구로 자리매김하고 있다.

그럼에도 불구하고 지금까지의 WebGazer 기반 연구는 주로 영어, 독일어 등 서구권 언어 사용자를 대상으로 이루어져 왔으며, 교착어적 특성을 지닌 한국어 사용자를 대상으로 한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 한국어는 피동, 사동, 조사 및 어말 어미 등 복잡한 통사적 변형이 풍부하게 나타나는 언어로, 이와 같은 구조를 실험 설계에 반영하기 위해서는 문장 단위의 복합적인 의미 이해 및 구조 해석 능력을 정밀하게 평가할 수 있는 설계가 필요하다. 더불어, 한국인을 대상으로 한 시선 추적 실

험에서는 비교적 작은 눈동자 크기나 밝은 조명 환경에서의 반사와 같은 생리적 특성이 WebGazer의 얼굴 및 눈 인식 정확도에 영향을 미칠 가능성이 있어 별도의 성능 검증이 요구된다.

2.2 한국어 아동의 피동문 이해와 처리

한국어 아동의 문법 발달을 이해하는 데 있어 타동성(transitivity)은 문장 성분 간 관계를 파악하고 형식·의미 대응을 구축하는 데 핵심적인 영역으로 논의되어 왔다. 능동문을 기준으로 할 때 피동문은 주어와 목적어의 위치를 재구조화하는 문형으로, 행동주(agent)의 비중을 낮추고 피동주(theme)를 표면 주어로 승격시키는 특징을 갖는다. 이러한 구조적 유표성(markedness) 때문에 피동은 다양한 언어에서 습득이 늦고 사용 빈도도 낮은 것으로 보고된다(Abbot-Smith et al., 2017; Brooks & Tomasello, 1999; de Villiers & de Villiers, 1973; see also Deen, 2011). 한국어에서도 활용형 접사가 붙는 접사 피동은 대표적인 피동 표현이지만 입력에서의 낮은 빈도와 형태적 복잡성이 겹쳐 아동에게 높은 처리 부담을 준다(Kim et al., 2017; Shin, 2022).

선행연구에 따르면, 한국 아동은 4세 이하에서 피동문의 이해와 산출 모두에서 어려움을 보이며 (Kim, 2009; Kim et al., 2017; Lee & Lee, 2008; Shin, 2022; Yi, 2000), 이는 다른 언어 아동의 패턴과도 유사하다. 다만 4세 이후에는 과제 유형(예: 그림 선택 과제 vs. 발화 유도), 동사 유형(성취동사 vs. 상태동사)에 따라 수행이 달라지는 등 발달 양상이 균일하지 않다. 예를 들어 5-6세 아동은 피동 이해에서 우연 수준(chance level)에 머물기도 하지만(Kim et al., 2017), 반복·청취에 기반한 피동 문장 priming 효과는 확인되었다(Kim, 2010). 또한 일부 연구에서는 동사 의미 범주에 따라 수행 차이가 나타나며, 연령이 증가할수록 이러한 차이가 점차 줄어드는 경향이 보고된다(Lee & Lee, 2008).

능동·파동 습득에 관여하는 세 가지 주요 문법 단서어순 격표지, 동사 형태는 각각 독립적이면서도 상호 작용적으로 아동의 문장 처리에 영향을 미친다. 어순 측면에서 아동은 초기(약 4세 이전)에 행동주 우선 (Agent-First) 전략 문장에 처음 등장하는 명사구를 행동주로 해석하는 경향(격조사 유무 혹은 종류와는 무관함)

을 강하게 사용하여 문두 성분을 자동적으로 행동주로 해석하는 경향이 있으며, 이는 피동문에서 초두에 놓인 주체(피동문의 표면 주어)를 행동주로 오해하게 만드는 주요 요인이 된다(Cho, 1982; Kim et al., 2017; Shin, 2021, 2022; Shin & Deen, 2023). 격표지의 경우 아동은 비교적 이른 시기 (18-20개월경)부터 주격의 기능을 파악하지만, 주격·대격 발달의 비대칭성과 능동문 기반의 강한 연합(주격 = 행동주, 여격 = 수혜주)이 피동문 해석에서 혼란을 유발한다(Cho, 1982; Jin et al., 2015; Lee, 2004; Lee et al., 2008; Shin & Mun, 2023). 동사 형태소는 피동을 식별하는 가장 핵심적인 단서이나, 접사피동의 낮은 빈도, 불규칙적 분포, 사동과의 형태적 중복 등으로 인해 습득이 늦고 처리 비용이 높다(Kim et al., 2017; Shin, 2022; Shin & Deen, 2023; Sohn, 1999; Yeon, 2015).

마지막으로 최근 연구에 따르면, 아동이 피동문을 성공적으로 이해하기 위해서는 세 단서(어순·격 표지·동사 형태)의 통합적 계산 능력이 필수적이다. Shin (2022)은 이러한 단서들이 개별적으로 작동하기보다 연령, 작업 기억, 문장 내 명사 수 등과 결합하여 영향을 미친다고 보고한다. 아동은 연령 증가에 따라 피동 형태에 점차 민감해지며, 능동 기반의 선행 지식과 충돌하는 단서들 사이에서 점진적으로 조정 능력을 습득한다. 그러나 피동 습득의 전반적 발달 경로는 연구 간 상반된 결과가 존재하

여, 한국어 아동의 피동 습득은 여전히 복합적이고 단계적인 발달 영역으로 남아 있다.

3. 연구의 방법

3.1. 실험 참가자

본 실험은 대한민국 대구광역시에 소재한 S 유치원의 4세반 아동을 대상으로 수행되었다. 총 14명의 아동이 실험에 참여하였으며, 이 중 실험 전 진행된 시선 추적 보정 절차(calibration 단계)를 통과하지 못한 3명의 아동은 최종 분석 대상에서 제외되었다. 따라서 본 연구의 분석에는 총 11명의 아동(남아 4명, 여아 7명)의 시선 추적 데이터가 사용되었다. 실험에 참여한 아동의 연령은 58개월에서 69개월 사이였으며, 모든 아동은 한국어를 모국어로 사용하는 단일 언어 화자였다.

실험에 앞서 모든 아동의 보호자로부터 서면 동의서를 수령하였으며, 본 연구는 연구 윤리 위원회(Institutional Review Board)의 승인을 받아 수행되었다. 실험 참여에 대한 모든 절차는 윤리 원칙에 근거하여 진행되었으며, 아동의 개인정보 보호 및 복지를 최우선으로 고려하였다. 마지막으로 모든 실험은 동일한 컴퓨터 성능을 기반으로 진행되었다(MacBook Pro 16-inch (2019), macOS Ventura 13.3.1 (a), Intel Core i9 8-core 2.3GHz, 16GB 2667MHz DDR4 RAM, AMD Radeon Pro 5500M 4GB / Intel UHD Graphics 630 1536MB, 1280 × 720 해상도 내장 웹캠).

3.2. 실험 자극

본 연구는 한국어를 모국어로 사용하는 아동이 정형 능동문과 정형 피동문을 얼마나 정확히 이해하는지를 측정하고자, 그림 선택 과제를 기반으로 실험을 설계하였다. 실험은 청각 자극(문장)과 시각 자극(그림)을 결합한 시각적 패러다임(visual world paradigm)에 근거하였으며, 원격 환경에서 WebGazer 기반의 웹캠 시선 추적 기술을 활용하여 아동의 실시간 언어 처리 양상을 분석하였다.

3.2.1. 문장 자극(청각 자극)

문장 자극은 두 가지 조건, 즉 정형 능동문(canonical active voice sentence)과 정형 피동문(canonical passive voice sentence)으로 구성되었다. 각 문장은 다음과 같은 통사적 구조를 갖는다:

정형 능동문: 행동주+주격조사(NOM) - 피동주+목적격조사(ACC) - 동사

예: “강아지가 고양이를 차요.”

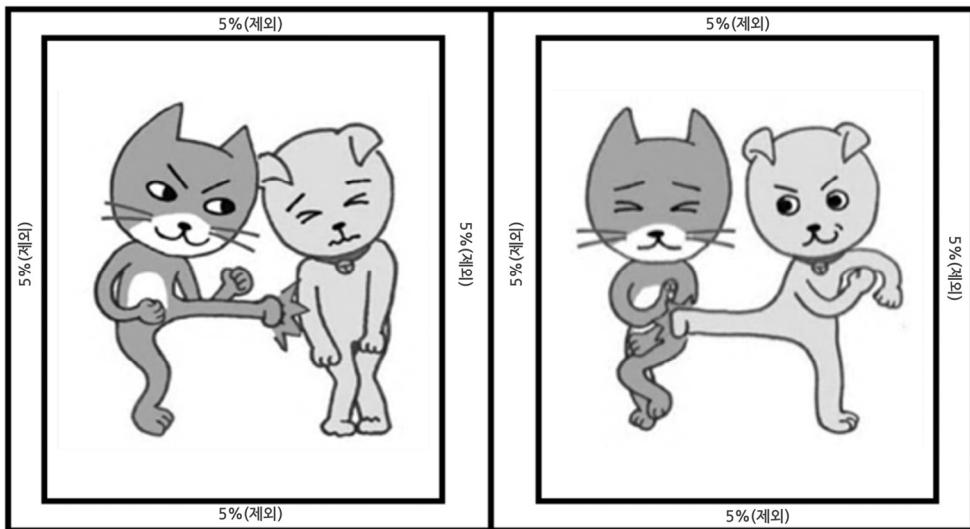
정형 피동문: 피동주+주격조사(NOM) - 행동주+여격조사(DAT) - 동사+피동접사

예: “강아지가 고양이한테 차여요.”

피동문에는 한국어의 대표적인 접미 피동형(suffixal passive)이 사용되었으며, 이는 ‘-이/히/리/기’ 접미사를 활용하여 피동성을 나타낸다. 해당 피동형은 아동이 자연스러운 언어 입력 환경에서 자주 접하는 문형으로, 본 연구에서도 이에 기초하였다(Mun & Shin, 2025). 문장 녹음은 음성의 일관성을 위해 인공지능 모델을 사용하여 음성 파일을 생성하였으며, 단어 간 100ms 간격을 삽입하여 음성 명료도를 높였다. 문장의 길이, 억양, 발화 속도는 조건 간 차이가 없도록 통제되었으며, 실험에 사용된 총 6개의 문장(정형 능동문 3문장, 정형 피동문 3문장)은 한국어 원어민 성인 10명을 대상으로 자연스러움과 의미 적절성에 대한 정규화(norming) 과정을 거쳤다. 이 과정에서 문장 간 음성적 이질성이나 이해의 어려움에 대한 지적은 없었다. 또한 참가자가 실험 절차에 익숙해질 수 있도록, 본 실험과 무관한 내용으로 구성된 연습 문장 3개가 별도로 포함되었다.

3.2.2. 그림 자극(시각 자극)

각 문장 자극에 대응되는 시각 자극은 두 장의 정적 그림 이미지로 구성되었다. 이를 그림은 동일한 사건을 묘사하되, 행동주와 피동주의 역할만 반전시켜 의미적 가역성을 유지하였다. 예를 들어, 능동문 “강아지가 고양이를 차요.”에 대응되는 그림(시각 자극)은 그림 2와 같다:



<그림 2> 본 연구에서 사용된 그림 자극 예시 (왼쪽: “고양이가 강아지를 차는 장면(오답)”, 오른쪽: “강아지가 고양이를 차는 장면(정답)”)

모든 그림은 색상, 크기, 배경 구성, 동물 캐릭터의 위치 등에서 시각적 복잡도의 균형을 유지하도록 설계되었으며, 실험 참가자의 주의 편향이 발생하지 않도록 통제되었다. 각 그림은 실험 화면의 좌우 양쪽에 무작위로 배치되었으며, 그림의 좌우 위치는 참가자 간 및 실험 세션 내에서 균형 있게 반

영(counterbalancing)되도록 조절되었다.

3.2.3. 자극 제시 및 시선추적 방식

시각 자극(그림)은 각 실험 문장의 제시 2000ms 이전에 화면에 등장하였으며, 문장이 제시되는 동안 화면에 유지되며, 문장이 종료된 이후에도 추가로 2000ms간 화면에 유지되었다. 이러한 제시 방식은 참가자가 문장을 들으면서 실시간으로 시각 자극 중 어느 대상에 시선을 더 오래 두는지를 측정할 수 있게 하였다. 모든 자극은 웹 기반 실험 플랫폼인 jsPsych을 통해 제시되었으며, 시선 추적은 WebGazer를 활용하여 노트북 웹캠을 통한 실시간 눈동자 좌표 데이터를 수집하였다(그림 3 참고).



<그림 3> 실제 실험 환경에서 수행된 본 연구의 자극 제시 방법

본 실험 이전에는 12점 보정(calibration)을 통해 참가자의 화면 기반 시선 정확도를 측정하였으며, 이 과정에서 일정 기준(75%) 이상 통과한 경우에만 실험이 진행되었다. 실험 중 수집된 시선 데이터는 50ms 단위(time bin)로 분석되었으며, 눈 깜빡임, 두드러진 머리 움직임, 화면 경계 벗어남 등의 이유로 유효성이 떨어지는 시선 데이터는 분석에서 제외하였다. 이를 통해 시선 분포의 정밀도와 신뢰도를 확보하였다.

3.3. 실험 절차

본 연구는 기존의 언어 이해 및 시선 추적 기반의 선행 연구들(e.g., Slim & Hartsuiker, 2022; Steffan et al., 2023; Özsoy et al., 2023)을 참조하여, 웹 기반 환경에서 실행 가능한 시선 추적 언어 실험으로 설계되었다. 실험은 jsPsych 및 WebGazer 기반의 시선 추적 라이브러리를 활용하여 구현되었으며, 이를 통해 아동의 문장 이해 양상을 실시간으로 측정하고자 하였다. 전체 실험 절차는 그림 4와 같다.



<그림 4> 본 연구의 실험 절차

실험 환경 진입 및 초기 설정: 참가자는 제공된 하이퍼링크를 통해 실험 플랫폼에 접속하며, 환영화면, 개인정보 동의서, 웹캠 사용 안내 등의 화면을 순차적으로 확인하였다. 이때 참가자에게는 웹캠이 단지 눈동자 위치 추정을 위한 용도로만 사용되며, 영상 및 음성 데이터는 수집되지 않는다는 점이 명확히 안내되었다. 참가자는 화면 중앙에 얼굴이 위치하도록 자세를 조정하고, 얼굴 인식 윤곽선이 초록색으로 활성화되면 실험 준비가 완료된 것으로 간주되었다.

시선 보정(Calibration) 절차: 정확한 시선 추적을 위해, 본 실험에서는 12점 시선 보정 절차를 시행하였다. 보정 과정에서는 나비넥타이를 착용한 캐릭터 이미지가 화면의 12개 좌표 중 임의의 위치에 제시되었으며, 이 위치들은 화면의 사분면 중심부 4곳과 주변부 8곳으로 구성되었다. 다양한 화면 해상도 환경에 대응하기 위해, 고정 시점 차극(fixation cross)은 참가자의 화면 높이의 15% 크기로 자

동 조절되었으며(예: 1440×640 해상도일 경우 96×96픽셀), 상대적인 좌표 위치에 제시되었다. 보정 결과의 성공률이 75% 이상일 경우 실험이 진행되었고, 기준 미달 시에는 해당 절차를 반복하였다.

주의 유도 및 연습 과제: 보정이 성공적으로 완료된 후, 본 실험 시작 전 참가자의 시선을 중앙으로 초기화하기 위한 원형 주의 유도 자극(attention getter)이 제시되었다. 이후 실험 안내 캐릭터가 등장하여 과제 진행 방법을 설명하였으며, 아동이 실험 방식에 익숙해질 수 있도록 총 3개의 연습 문항을 먼저 수행하도록 하였다. 연습 문항은 본 실험 문항과 어휘 및 내용이 중복되지 않도록 별도로 구성되었다.

본 실험 절차: 각 실험 트라이얼은 시각 자극과 청각 자극의 결합으로 구성되었다. 먼저, 시각 자극인 그림 쌍이 문장 제시 2000ms 전에 화면의 좌우에 제시되며, 문장 청취 중 및 청취 종료 후 추가 2000ms 동안 화면상에 유지되었다. 각 그림 쌍은 동일한 사건을 묘사하되, 행동주와 피동주의 역할이 반전된 두 조건으로 구성되었다. 그림의 좌우 배치는 무작위로 제시되었으며, 참가자 간 및 실험 세션 내에서의 균형을 통해 위치 편향이 최소화되도록 하였다. 청각 자극은 헤드폰을 통해 단 한 차례만 제시되었으며, 참가자는 들은 문장의 의미와 일치한다고 판단되는 그림을 키보드의 좌·우 화살표 키를 통해 선택하도록 하였다.

시선 추적 및 데이터 수집: 실험이 진행되는 동안, 아동의 눈동자 위치 좌표는 WebGazer를 통해 50ms 단위(time bin)로 실시간 수집되었으며, 이는 jsPsych 기반 실험 플랫폼을 통해 서버에 전송되었다. 수집된 시선 데이터는 다음과 같은 기준에 따라 유효성 여부가 판단되었다: 눈 깜빡임, 두드러진 머리 움직임, 화면 경계 이탈 등이 감지될 경우 해당 데이터는 무효로 처리되었으며, 또한 각 화면 절반 기준으로부터 5% 범위 이내에 위치한 시선은 중심 시선에서 벗어난 것으로 간주되어 분석에서 제외되었다. 이와 같은 기준은 시선 분포의 정밀도와 신뢰도를 확보하기 위한 조치였다. 아울러 각 트라이얼 후에는 간단한 중간 보정 절차가 삽입되어, 시선 추적의 정확도를 지속적으로 유지할 수 있도록 설계되었다.

실험 종료 및 결과 처리: 실험이 종료된 후, 실시간으로 수집된 시선 좌표 데이터는 서버에 저장되었으며, 저장된 데이터는 이후 통계 분석에 활용되었다.

3.4. 실험 결과 분석 방법

본 연구에서 실험 결과를 분석하기 위해 실시한 통계 분석 방법은 크게 두 가지로 나누어진다. 첫째로, 실험 참가자가 주어진 문장 자극에서 선택한 그림 자극에 대한 분석 과정이다. 본 연구에서는 총 11명의 아동을 피험자로 하여, 정형 능동문 및 정형 피동문 조건 각각에 대해 3문장씩, 총 6문장의 문장-그림 매칭 과제를 수행하도록 하였다. 각 문장은 아동이 청각적으로 제시된 문장을 듣고, 그 의미에 가장 부합하는 그림을 선택하는 방식으로 진행되었으며, 아동의 응답은 '정답(1)' 또는 '오답(0)'으로 이진 분류하여 코딩되었다. 분석에 사용된 총 관측치는 66개(11명 × 3문장 × 2조건)이며, 각 관측치는 개별 아동이 특정 조건(능동/피동) 하에서 문장 이해 과제를 수행한 결과를 반영한다. 이러한 이항형 응답 데이터는 로지스틱 혼합효과 모형(logistic mixed-effects model)을 통해 분석되었으며, 문장 조건(정형 능동문 vs. 정형 피동문)을 고정 효과(fixed effect)로, 참가자와 문장 항목을 임의 효과(random effects)로 설정하였다. 로지스틱 혼합모형은 이진 범주형 결과 변수(정답 vs. 오답)를 다

를 수 있는 적절한 통계 기법일 뿐 아니라, 반복 측정 설계를 고려하여 참가자와 항목 간 변이를 동시에 통제할 수 있다는 점에서 특히 유용하다(Baayen et al., 2008; Barr et al., 2013 참조). 이는 아동 개별 차이나 문장 자체의 특성으로 인한 영향을 고려하지 않을 경우 나타날 수 있는 통계적 오류(예: Type I error)를 줄이고, 보다 일반화 가능한 결과를 도출하는 데 기여한다. 실험 설계가 허용하는 한도 내에서 최대의 임의효과 구조를 포함하여 분석되었으며(Barr et al., 2013), 분석을 통해 조건 간 정답률 차이가 통계적으로 유의한지를 검정하였다. 이러한 분석을 통해, 아동이 문장의 통사 구조 조건(능동 vs. 피동)에 따라 문장 의미를 해석하고, 시각적 정보를 선택하는 과정에서 나타나는 이해 능력의 차이를 정량적으로 평가하고자 하였다. 모든 분석은 R 통계 소프트웨어(R Core Team, 2025)를 활용하여 수행되었으며, 신뢰수준은 95%로 설정되었다.

다음으로 참가자의 시선 응시 데이터를 분석하기 위하여 비모수적 순열 분석(non-parametric permutation analysis) 기법을 적용하였다(Abbot-Smith et al., 2017; Garcia et al., 2021; Maris & Oostenveld, 2007). 해당 분석 기법은 특정 시간 구간이나 조건을 사전에 설정하지 않고, 관측된 데이터를 바탕으로 통계적 유의성을 검토하는 방식으로, 시선 추적 데이터를 통한 처리 효과의 시점을 정량적으로 탐색하는 데 매우 적합한 방법론이다. 특히 본 연구와 같이 아동의 문장 이해 과정에서 통사 구조 조건(예: 능동/피동문)에 따라 시선이 목표 자극으로 향하는 시점이 언제부터 차별화되는지를 밝혀내는 데 효과적이다.

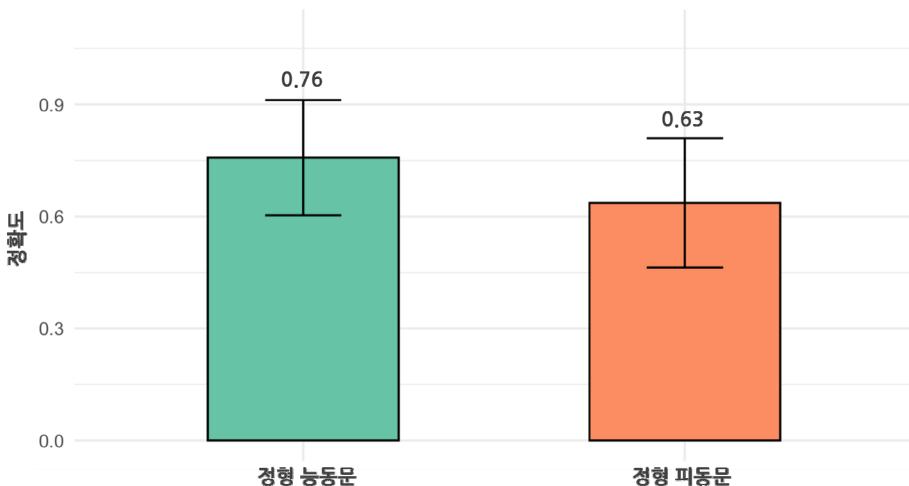
분석 절차는 총 세 단계로 구성되었다. 첫 번째 단계에서는 실험 전체 시간 구간을 50ms 간격의 구간(time bin)으로 분할한 후, 각 구간에서 정형성(통사 구조 조건)이 목표 자극에 대한 응시 비율에 미치는 영향을 검토하기 위하여 선형 회귀 분석(linear regression)을 수행하였다. 이때 회귀 분석은 통사 구조 조건(능동문, 피동문)을 기준으로 각각 별도로 시행되었으며, 종속 변수는 목표 그림(target)에 대한 고정 응시 비율로 설정하였다. 응시 비율은 각 구간 내에서 목표 자극에 대한 응시 횟수를 전체 응시 횟수(행동주 및 피동주 포함)로 나누어 산출하였다. 분석 결과로는 각 시간 구간에서 도출된 p값 목록이 추출되었으며, 이는 정형성과 시선 응시 간의 통계적 관계를 나타낸다. 두 번째 단계에서는, 앞서 도출된 유의미한 p값(예: $p < .05$)을 가지는 인접 시간 구간들을 하나의 처리 단위로 간주하여 군집화(clustering)하였다. 이때 각 군집은 시선 응시 반응에서 나타나는 연속적인 처리 효과의 시간 범위를 의미하며, 통사 구조 조건 간의 시선 반응 차이가 단일 사건으로 발생하였는지를 확인하는데 중요한 기준이 된다. 세 번째 단계에서는, 군집화된 각 처리 단위 내의 통사 구조 조건 라벨(능동/피동)을 무작위로 순열(permutation)하여, 해당 데이터를 기반으로 선형 회귀 분석을 반복적으로 실행함으로써 순열 분포(permutation distribution)를 생성하였다. 이 과정은 총 1,000회 반복 수행되었으며, 각 반복에서 군집 내 회귀 계수의 t값을 합산하여 군집별 합산 t값 분포(distribution of sum t-values)를 구축하였다. 이렇게 생성된 분포는 해당 효과가 단순한 우연에 의한 것인지 여부를 평가하는 기준이 되며, 동일한 실험을 여러 번 반복하여도 유사한 군집이 얼마나 자주 발생하는지를 추정하는 데 유용하다. 마지막으로, 실험을 통해 실제 도출된 군집 통계량(실제 합산 t값)과 위에서 생성한 순열 분포를 비교함으로써, 해당 효과가 통계적으로 유의미한지를 판단하였다. 이러한 데이터 기반의 분석 방식은 전통적인 선형 모델 기반 분석보다 보다 정교하게 실시간 언어 처리 과정에서의 응시 패턴을 탐지할 수 있으며, 특히 아동을 대상으로 한 실험에서 처리 반응의 시작 시점 및 지속 시간을 정

밀하게 파악하는 데 강점을 가진다.

4. 연구 결과

4.1. 그림 선택 결과 분석

본 연구는 아동의 문장이해 능력을 정량적으로 평가하고자, 능동문과 피동문 두 가지 문장 구조에 기반한 문장-그림 매칭 과제를 통해 실험을 설계하였다. 실험에 참여한 아동 11명은 각각의 통사 구조 조건(정형 능동문, 정형 피동문)에 대해 3문항씩 총 6개의 문장을 듣고, 각 문장의 의미에 부합하는 그림을 선택하는 과제를 수행하였다. 아동의 응답은 정답 여부에 따라 이진값(정답 1, 오답 0)으로 코딩되었으며, 총 66건의 응답 자료가 분석에 포함되었다.

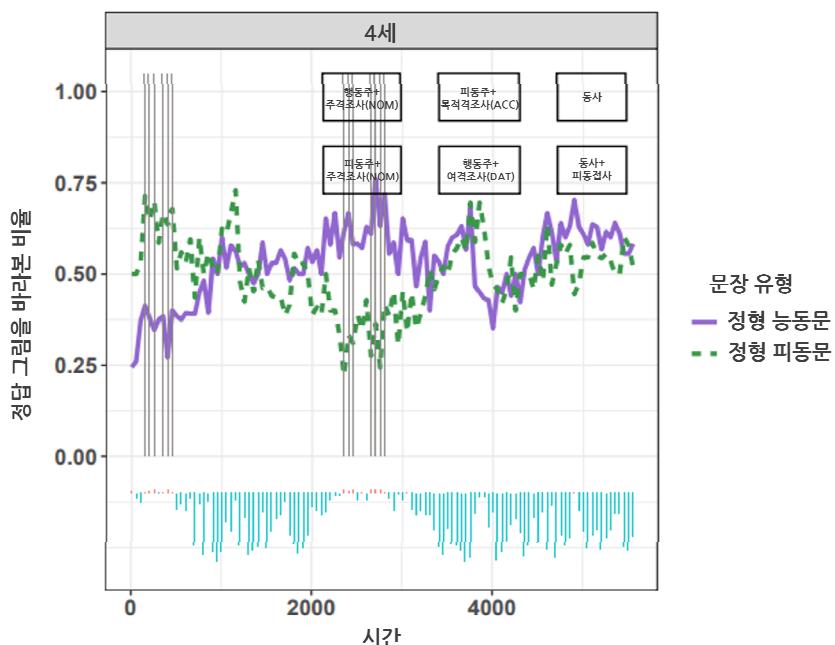


<그림 5> 통사 구조 조건(정형 능동문, 정형 피동문)에 따른 그림 선택 결과

응답 데이터(이항 자료; 1 = 정답, 0 = 오답)는 조건(능동, 피동; 평균 중심화 및 편차 부호화됨)을 고정 효과로, 참가자와 문장을 임의 효과로 설정한 로지스틱 혼합효과 모형에 적합되었다. 이 모형은 실험 설계가 허용하는 최대한의 임의 효과 구조를 포함하였다(Barr et al., 2013). 분석 결과, 조건에 따른 주효과는 나타나지 않았다(추정값 = -0.816, 표준오차 = 0.812, $z = -1.005$, $p = 0.315$). 이는 두 조건 간 수치적 차이가 있었음에도 불구하고, 본 연구에 참여한 아동들이 두 조건에서 유사한 수행을 보였음을 의미한다(그림 5 참고). 이러한 결과는 4세 아동들이 피동문을 이해할 수 있음을 시사하지만 (Messenger & Fisher, 2018 참조), 이번 연구의 참여자 수가 적어 일반화에는 주의가 필요하다.

4.2. 시선 추적 결과 분석

본 연구에서는 4세 아동 집단을 대상으로 정형 능동문 조건과 정형 피동문 조건 하에서 아동의 시선 응시 데이터를 시간의 흐름에 따라 시각화하였다. 그림 6에 제시된 바와 같이, 문장의 각 구성요소인 첫 번째 명사+격조사, 두 번째 명사+격조사, 동사의 제시 시점은 그래프 상단의 사각형을 통해 표시되었으며, 하단에는 각 시간 구간(50ms 단위)에 대한 회귀분석의 유의성 검정 결과가 막대 형태로 제공되었다. 이때, 회색 음영은 permutation 분석을 통해 통계적으로 유의한 응시 비율($p < .05$)의 변화를 나타내는 구간을 의미한다.



<그림 6> 통사 구조 조건(정형 능동문; 정형 피동문)에 따른 시선 추적 결과

아동에게 문장 자극(청각 자극)을 제시하기 이전, 즉 2000ms 이전의 그래프 구간은 분석 대상에서 제외되므로, 그림 6의 x축은 2000ms 이후의 구간을 중심으로 분석을 진행하였다. 그 결과, 아동의 응시 경향을 조건별로 비교해 보면, 정형 능동문 조건에서는 문장의 첫번째 명사구 구간(명사 = 행동주)에서 정답 그림을 응시하는 비율이 높고, 두번째 명사구 구간에서 여전히 행동주를 응시하는 경향이 지속된다. 정형 피동문 조건에서는 문장의 첫번째 명사구 구간(명사 = 피동주)에서 정답이 아닌 그림을 응시하는 비율이 높고, 정형 능동문 조건의 동일 구간과 비교해 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이후 두번째 명사구 구간과 동사구에서는 정형 능동문 조건의 동일 구간과 유사한 응시 패턴을 보이

며 유의한 차이를 보이지 않았다. 이것은 아동이 (1) 실시간 문장 처리를 위해 행동주 우선 전략에 강하게 의존하고 있고, (2) 피동접사나 격조사 (혹은 이로부터 유도되는 피동문 해석 전략)를 제대로 인식/활용하지 못하고 있음을 보여준다. 이는 한국 아동이 피동문을 습득하는 것이 어렵다는 기존 연구를 지지하며, 능동문으로부터 학습된 지식(예: 행동주 우선 전략, 의미역과 격조사의 연합관계 등)이 피동문과 관련된 지식 습득 및 활용을 억제할 수 있음을 시사한다(Shin, 2022).

다시 말해 본 시선 추적 분석을 통해 확인할 수 있는 바는 아동이 능동문에 대해서는 상대적으로 안정적인 의미 추론 및 시선 응시 패턴을 보이는 반면, 피동문 처리에서는 격표지 및 동사 형태 해석에 있어 불완전한 문법 지식과 제한된 구조적 이해로 인해 의미 정보의 통합이 원활히 이루어지지 않는다는 점을 이야기 한다. 이는 아동의 문장이해 발달 과정에서 어순과 의미역 구조의 비대칭적 처리가 실시간 언어 처리에서 어떻게 반영되는지를 잘 보여주는 실증적 증거라 할 수 있다.

5. 논의 및 결론

본 연구는 다음의 두 가지 주요 목적에 기반하여 수행되었다. 첫째, 기술적 측면에서는 WebGazer 와 jsPsych를 결합한 웹캠 시선 추적 시스템이 아동을 대상으로 한 문장 이해 실험에 실질적으로 활용 가능한지를 검토하고자 하였다. 둘째, 이론적 측면에서는 아동이 통사 구조에 포함된 행동주와 피동주 간 의미 관계를 얼마나 조기에 추상화하고 일반화할 수 있는지를 탐색하고자 하였다.

이를 위해 실험은 자바스크립트 기반의 실험 프레임워크인 jsPsych와 오픈소스 시선 추적 라이브러리인 WebGazer를 활용하여 구현되었으며, 정형 능동문과 피동문에 대한 문장-그림 매칭 과제 및 시선 추적 데이터 분석을 통해 실험의 신뢰성과 타당성을 검토하였다. 실험 결과, 정형 능동문 조건에서는 평균 75.8%의 정답률을 보였으나, 피동문 조건에서는 63.6%에 머물렀다. 시선 추적 결과 또한 능동문 조건에서는 목표 자극에 대한 시선 응시가 명확한 상승 추세를 보였으나, 피동문 조건에서는 응시가 정체되거나 감소하는 양상을 보이며 문장 처리에서의 난이도를 반영하였다.

특히 주목할 점은 웹캠 시선 추적기의 기술적 한계와 가능성이다. 본 연구에서 활용된 웹캠 시선 추적기는 약 30~40ms 단위로 시선이 기록되며, 실험실 기반 시선 추적기(예: Tobii)의 10ms 단위 기록 및 동공 크기 측정 정밀도에 비해서는 다소 제약이 존재한다. 따라서 문장 단위의 정밀한 시선 이동을 추적하거나 동공 기반 주의 반응 분석에는 한계가 있다. 그러나 본 실험처럼 화면 양측에 제시된 그림 중 하나를 선택하는 이항 응답 과제에서는 충분한 신뢰도로 반응을 측정할 수 있음이 확인되었다. 실제로 Slim & Hartsuiker (2022)는 WebGazer와 상용 시선 추적기 간 시선 정확도에서 유의한 차이가 없음을 보고하였으며, Özsoy et al. (2023) 역시 전통적인 그림 선택 과제와 WebGazer 기반 실험 간 유의미한 차이가 없음을 보여주었다. 본 연구 또한 유사한 방식의 그림 선택 과제를 활용하여 웹캠 기반 시선 추적 시스템이 아동의 실시간 문장 이해를 측정하는 데 적용 가능함을 입증하였다. 이러한 결과는 기존의 대면 시선 추적 연구들과 기술적, 실험적 맥락에서 일관된 양상을 보여주며, WebGazer 기반 실험이 대면 실험의 대안으로 활용될 수 있는 가능성을 시사한다.

이론적 관점에서 아동은 능동문에 비해 피동문 처리에서 지속적인 어려움을 보였으며, 특히 피동문

에서는 초반 명사구를 행동주로 해석하는 행동주 우선 전략이 강하게 나타났다. 이러한 양상은 아동이 행동주 우선 전략 등 능동문 기반의 선행 지식에 의존하여 문장을 처리하며, 피동문과 같이 구조적으로 복잡한 문장에서는 실시간 정보 통합에 어려움을 겪고 있음을 시사한다.

다시 말해, 본 연구는 기술적으로는 웹캠 시선 추적 시스템이 아동 대상 실험에 일정 수준 이상 적용 가능함을 실증적으로 검증하였고, 이론적으로는 아동의 문장 처리에서 통사적 복잡성과 의미역 구조가 실질적인 영향을 미친다는 점을 확인하였다. 다만, 본 연구는 실험 참가자 수와 문항 수가 제한적이었기 때문에 일반화에는 신중한 해석이 필요하며, 향후 연구에서는 시선 데이터의 시간 해상도를 높이는 기술적 보완과 함께, 다양한 문장 구조 및 연령대를 아우르는 확장된 실험 설계를 통해 아동의 문법 처리 발달 경로를 보다 정교하게 규명할 필요가 있을 것이다.

< >

- Abbot-Smith, Kirsten., Chang, Franklin., Rowland, Caroline F., Ferguson, Helen., and Pine, Julian M. 2017. Do two and three year old children use an incremental first-NP-as-agent bias to process active transitive and passive sentences?: A permutation analysis. *PLoS ONE*, 12(10), e0186129. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186129>
- Bacon, Desia., Weaver, Haley., and Saffran, Jenny R. 2021. A framework for online experimenter-moderated looking-time studies assessing infants' linguistic knowledge. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 703839. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.703839>
- Barr, Dale J., Levy, Roger., Scheepers, Christoph., & Tily, Harry J. 2013. Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language*, 68(3), 255-278.
- Bogdan, Paul C., Dolcos, Sanda., Buetti, Simona., Lleras, Alejandro., and Dolcos, Florin. 2023. Investigating the suitability of online eye tracking for psychological research. *Behavior Research Methods*. <https://doi.org/10.3758/s13428-023-02143-z>
- Brooks, Patricia J., & Tomasello, Michael. 1999. Young children learn to produce passives with nonce verbs. *Developmental Psychology*, 35, 29-44.
- Byers-Heinlein, Krista., Bergmann, Christina., Davies, Catherine., Frank, Michael C., Hamlin, J. Kiley., Kline, Melissa., Krogh-Jespersen, Sheila., Mehr, Samuel A., Navarro, Tonia., Potter, David., Ralph, Hope., Scott, Karla., Soderstrom, Melanie., and Zettersten, Martin. 2020. Building a collaborative psychological science: Lessons learned from ManyBabies 1. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 61(4), 349-363. <https://doi.org/10.1037/cap0000216>
- Cho, Sook-Whan. 1982. *The acquisition of word order in Korean*. [Unpublished master's thesis]. Department of Linguistics, University of Calgary.

- de Villiers, Jill G., & de Villiers, Peter A. 1973. Development of the use of word order in comprehension. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2(4), 331-341.
- Deen, Kamil Ud. 2011. *The acquisition of the passive*. In J. De Villiers & T. Roeper (Eds.), *Handbook of generative approaches to language acquisition* (pp. 155-187). Springer Science & Business Media.
- Garcia, Rowena., Garrido Rodriguez, Gabriela., and Kidd, Evan. 2021. Developmental effects in the online use of morphosyntactic cues in sentence processing: Evidence from Tagalog. *Cognition*, 216, 104859. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104859>
- Huetting, Falk., Rommers, Joost., and Meyer, Antje S. 2011. Using the visual world paradigm to study language processing: A review and critical evaluation. *Acta Psychologica*, 137(2), 151-171. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.11.003>
- Jin, Kyong-Sun., Kim, Min-Ju., & Song, Hyun-Joo. 2015. The development of Korean preschooler' ability to understand transitive sentences using case-markers. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 28(3), 75-90.
- Kim, Meesook. 2009. Focal attention in the acquisition of passives in Korean: An experimental study. *Korean Journal of Applied Linguistics*, 25(2), 123-141.
- Kim, Meesook. 2010. Syntactic priming in children's production of passives. *Korean Journal of Applied Linguistics*, 26(2), 271-290.
- Kim, Shin Young., Sung, Jee Eun., & Yim, Dongsun. 2017. Sentence comprehension ability and working memory capacity as a function of syntactic structure and canonicity in 5-and 6-year-old children. *Communication Sciences & Disorders*, 22(4), 643-656.
- Lee, Hee-Ran. 2004. A study of early subject acquisition in Korean. *Communication Sciences & Disorders*, 9(2), 19-32.
- Lee, Hee-Ran., Chang, You-Kyung., Choi, Yu-LI., & Lee, Sengbook. 2008. Acquisition of grammatical function words in Korean children. *Communication Sciences & Disorders*, 13(2), 159-173.
- Lee, Kwee-Ock., & Lee, Youngjoo. 2008. An event-structural account of passive acquisition in Korean. *Language and Speech*, 51(1/2), 133-149.
- Lo, Chi-Hsin., Zettersten, Martin., Black, Alexis K., and Bergmann, Christina. 2021. e-Babylab: an open-source browser-based tool for unmoderated online developmental studies. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/u73sy>
- Maris, Eric., and Oostenveld, Robert. 2007. Nonparametric statistical testing of EEG-and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, 164(1), 177-190. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>
- Messenger, Katherine., & Fisher, Cynthia. (2018). Mistakes weren't made: Three-year-olds'

- comprehension of novel-verb passives provides evidence for early abstract syntax. *Cognition*, 178, 118-132.
- Mun, Seongmin., and Shin, Gyu-Ho. 2025. Korean monolingual children's comprehension of suffixal passive construction: A webcam eye-tracking study. In *Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2025)*, 3308-3316. San Francisco, United States.
- Oakes, Lisa M. 2012. Advances in eye tracking in infancy research. *Infancy*, 17(1), 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2011.00101.x>
- Papoutsaki, Alexandra., Sangkaworn, Theerasuwit., Lasecki, Walter S., Huang, Jeff., et al. 2016. WebGazer: Scalable webcam eye tracking using user interactions. In *Proceedings of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 3839-3845.
- Shin, Gyu-Ho. 2021. Limits on the Agent-First strategy: Evidence from children's comprehension of a transitive construction in Korean. *Cognitive Science*, 45(9), e13038.
- Shin, Gyu-Ho. 2022. Awareness is one thing and mastery is another: Korean-speaking children's comprehension of a suffixal passive construction in Korean. *Cognitive Development*, 62, 101184.
- Shin, Gyu-Ho., & Deen, Kamil Ud. 2023. One is not enough: Interactive role of word order, case marking, and verbal morphology in children's comprehension of suffixal passive in Korean. *Language Learning and Development*, 19(2), 188-212.
- Shin, Gyu-Ho., and Mun, Seongmin. 2023. Korean-speaking children's constructional knowledge about a transitive event: Corpus analysis and Bayesian modelling. *Journal of Child Language*, 50(2), 311-337. <https://doi.org/10.1017/S030500092100088X>
- Slim, Merel S., and Hartsuiker, Robert J. 2022. Moving visual world experiments online? A web-based replication using PCIbex and WebGazer.js. *Behavior Research Methods*, 55(7), 3786-3804. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01989-z>
- Sohn, Ho-min. 1999. *The Korean language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Steffan, Antonia., Brandeker, Dan., Huber, Eva., Gustavson, Sofie., and Måansson, Jessica., et al. 2023. Validation of an open source, remote web-based eye-tracking method (WebGazer) for research in early childhood. *Infancy*, 29(1), 31-55. <https://doi.org/10.1111/infra.12564>
- Valliappan, Nachiket., Krishna, Rahul., Ramakrishnan, Sid., Feizi, Soheil., and Huang, Jeff. 2020. Accelerating eye movement research via accurate and affordable smartphone eye tracking. *Nature Communications*, 11, 4553. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18360-5>
- Wass, Sam V. 2016. *The use of eye-tracking with infants and children*. In Prior, J., and Van Herwegen, J., (Eds.), Practical research with children (pp. 24-45). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315676067>

- Wass, Sam V., Smith, Tim J., and Johnson, Mark H. 2013. Parsing eye-tracking data of variable quality to provide accurate fixation duration estimates in infants and adults. *Behavior Research Methods*, 45(1), 229-250. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0245-6>
- Xu, Peng., White, Alea., Kersten, Daniel., and Huang, Jeff. 2015. TurkerGaze: Crowdsourcing saliency with webcam based eye tracking. *arXiv*. <http://arxiv.org/abs/1504.06755>
- Yeon, Jaehoon. 2015. *Passives*. In L. Brown & J. Yeon (Eds.), *The handbook of Korean linguistics* (pp. 116-136). Oxford: John Wiley & Sons.
- Yi, Soon-Hyung. 2000. The acquisition of Korean grammatical morphemes in early childhood. *Korean Journal of Child Studies*, 21(4), 51-68.
- Özkan, Ayşegül. 2018. Using eye-tracking methods in infant memory research. *The Journal of Neurobehavioral Sciences*, 5, 62-66.
- Özsoy, Onur., Çiçek, Büsra., Özal, Zeynep., Gagarina, Natalia., and Sekerina, Irina A. 2023. Turkish-German heritage speakers' predictive use of case: webcam-based vs. in-lab eye-tracking. *Frontiers in Psychology*, 14, 1155585. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1155585>

Received on: October 28, 2025

Revised on: December 11, 2025

Accepted on: December 18, 2025