https://doi.org/10.30775/KMES.55.3.217
음악교육연구 제55권 제3호 pp. 217-250 (2026년 8월) ISSN 1229-4179 (Print)
Korean Journal of Research in Music Education Vol.55, No.3, (August, 2026) ISSN 2713-3788 (Online)

인지-적응형 시창청음 통합 훈련 모형(CASIM) 제안

A Cognitive-Adaptive Sight-Singing and Ear-Training Integration Model

신유신*
Yu-Shin Shin

초록 본 연구는 반복적 숙달에 중점을 두어 온 전통적 시창청음 교육이 학습자의 작업기억 한계와 인지부하를 간과하여 장기적인 음악 스키마 형성에 일정 부분 한계를 나타내는 원인을 고찰하고, 이를 극복할 새로운 교육 프레임워크를 제안하는 이론적 연구이다. 최신 인지심리학과 신경과학에서 도출된 암묵적 학습, 예측 부호화, 신체화 메커니즘을 융합하여 단일 엔진 형태의 인지-적응형 시창청음 통합 훈련 모형(CASIM)을 고안하였다. 이 모형은 학습자의 훈련 상태에 맞춰 인지적 개입을 동적으로 조율한다. 학습 초기에는 수기호 등 다중감각 비계를 투입해 작업기억의 병목 현상을 방지하고 인지부하를 분산시킨다. 이후 점진적으로 비계를 소거함과 동시에 교차 학습 등 바람직한 어려움을 전략적으로 투입하여 뇌의 능동적인 예측 오류 해결을 유도한다. 최종 단계에서는 새롭게 개발한 메타인지 자가 진단 루브릭을 활용한 의도적 연습으로 진정한 음악적 독립성을 확립하도록 구조화했다. 15주 커리큘럼 시나리오를 통해 현장 적용 방안을 구체화한 본 연구는 시창청음 능력이 철저히 통제된 인지 환경에서 발현되는 뇌 가소성의 산물일 수 있음을 이론적으로 고찰하고, 향후 교육 패러다임 전환과 실증 연구를 위한 가설적 프레임워크를 제안하고자 한다.

주제어: 시창청음, 인지부하, 예측 부호화, 신체화, 바람직한 어려움, 메타인지, CASIM 모형

Abstract This theoretical study examines how traditional sight-singing and ear-training, focusing on repetitive mastery, exhibits certain limitations in building long-term musical schemas by overlooking working memory limits and cognitive load. To overcome this, the study proposes the Cognitive-Adaptive Sight-Singing and Ear-Training Integration Model (CASIM). By integrating implicit learning, predictive coding, and embodiment mechanisms from cognitive psychology and neuroscience, this unified model dynamically adjusts interventions based on learner proficiency. Initially, multisensory scaffolding is introduced to prevent working memory bottlenecks and distribute cognitive load. Subsequently, this scaffolding is gradually faded while desirable difficulties, such as interleaved practice, are strategically implemented to stimulate the brain to actively resolve prediction errors. Finally, learners achieve true musical independence through deliberate practice guided by a newly developed metacognitive self-diagnosis rubric. Presenting a 15-week curriculum scenario, this study suggests that sight-singing proficiency is a product of neuroplasticity cultivated within a controlled cognitive environment, thereby proposing a hypothetical framework to guide future empirical research.

Key words: sight-singing and ear-training, cognitive load, predictive coding, embodiment, desirable difficulties, metacognition, CASIM

* First author, E-mail: lavuwait@sju.ac.kr
Adjunct Professor, Sejong University, 209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, South Korea

Received: 31 May 2026, Reviewed (Revised): 30 June 2026 (12 August 2026), Accepted: 21 August 2026
© 2026 Korean Music Education Society.

Ⅰ. 서론

음악 교육에 있어 시창과 청음은 시각적 기호인 악보를 실제 소리로 구현하고, 반대로 들리는 소리를 기호로 변환하는 핵심적인 기초 훈련이다. 그러나 인지과학과 음악 심리학의 비약적인 발전에도 불구하고, 교육 현장의 시창청음 교수법은 지난 한 세기 동안 큰 변화 없이 전통적인 방식에 머물러 있다(Chenette et al., 2022). 현재 주류를 이루는 시창청음 교육과 교재들은 종종 음악적 맥락이 배제된 단편적인 음정 식별이나, 단순히 멜로디를 반복적으로 들려주고 모방하게 하는 기계적 암기 및 주입식 훈련에 크게 의존하고 있다. 초기 기악 및 성악 교육에서 소리를 먼저 경험하게 하는 방식은 유의미할 수 있으나(Grey, 2020), 고도화된 시창청음 훈련에 이르러서도 기계적 반복에만 의존하는 것은 명백한 한계를 지닌다. 이러한 전통적 훈련 방식은 학습자가 반복적인 노출을 통해 자연스럽게 음악의 구조를 내면화할 것이라는 암묵적인 가정에 기반한다. 그러나 이는 훈련의 초점을 '음악적 처리 과정'이 아닌 '정답 맞히기'에 머무르게 할 우려가 있으며, 결과적으로 학생들은 음악의 근본적인 구조를 이해하기보다는 단기적인 소리의 모방에 그치게 된다. 이러한 우려는 특정 국가의 교육 현장에만 국한된 것이 아니다. 국내 학계에서도 예비 음악 교사들이 시창과 청음을 분리된 과목으로 인식하는 현실을 지적하며(Ham, 2016), 기계적 반복에서 탈피하여 창의적 참여를 유도하는 학습자 중심의 통합적 교수-학습 전략이 시급함을 일관되게 주장하고 있는데(Park, 2022), 이는 글로벌 연구 흐름과 명확히 맥을 같이한다.

기존의 반복 중심 훈련이 장기적인 성취로 이어지는 데 한계를 보이는 주요 요인은 시창청음 과제가 인간의 뇌, 특히 작업기억에 요구하는 막대한 인지적 제약을 충분히 고려하지 못한 데서 연유할 수 있다. 선율 청음은 단순히 귀로 들어온 청각적 자극을 종이에 옮겨 적는 수동적 과정이 아니다. 이는 실시간으로 입력되는 음고와 리듬 정보를 작업기억 내에 임시로 저장하고, 이를 분석하여 시각적 기호로 변환해야 하는 고도의 복합적인 인지 과제이다(Baker, 2019). 특히 코넬리우스(N. Cornelius)와 브라운(J. Brown)의 실증 연구는 선율 청음 과제에서 학습자의 작업기억이 어떻게 병목 현상을 겪는지를 시사한다(Cornelius & Brown, 2020). 이들의 연구에 따르면, 청취 반복 횟수는 음고와 리듬 정확도를 모두 유의하게 향상시켰으나, 멜로디 내 도약이 많아 내재적 인지부하가 높은 조건에서는 정확도가 유의하게 저하되었으며, 두 요인 사이에 통계적 상호작용이 관찰되었다. 즉 반복 노출의 이득은 과제가 부과하는 내재적 부하에 의해 상쇄되며, 작업기억 용량을 초과하는 난이도에서는 반복 횟수를 늘리는 것만으로 정확도를 담보하기 어렵다.

또한, 절대음감(absolute pitch)이 아닌 대부분의 상대음감(relative pitch) 학습자들에게 이러한 과정은 본질적으로 더 많은 인지적 노력을 요구한다. 라이폴트(S. Leipold) 외의

fMRI 연구에 따르면, 상대음감 소유자들은 음을 식별할 때 하전두회(IFG)와 같은 작업기억 및 내적 발화 관련 뇌 네트워크를 강하게 활성화한다(Leipold et al., 2019). 즉, 시창청음은 뇌의 막대한 자원이 소모되는 인지적 노동인 것이다. 시창 과정 역시 청음 못지않은 인지 부하를 유발한다. 실제로 음악 전공생들의 시창 과정을 분석한 연구에 따르면, 학습자들은 음고・리듬・박자 유지 등 다중 정보를 동시에 처리하는 과제 요구 상황에서 주관적으로 심각한 정보 과부하와 인지적 한계를 경험하고 있음을 호소하였다(Pomerleau-Turcotte et al., 2021). 초보자일수록 단일 음표 해독에 작업기억 용량을 초과 사용하게 되어 전체적인 맥락 파악에 어려움을 겪을 가능성이 높다. 이러한 처리 부담은 인지부하 이론(CLT)으로 설명된다. 스웰러(J. Sweller)는 인간의 작업기억 용량이 제한되어 있어 과도한 처리 부담이 스키마 형성을 저해한다는 이론적 토대를 제시하였고(Sweller, 1988), 스웰러 외는 이를 확장하여 학습 과제가 유발하는 부하를 과제 자체의 복잡성에서 비롯되는 내재적 부하, 교수 설계의 비효율에서 비롯되는 외재적 부하, 스키마 구성에 기여하는 촉진적 부하로 구분하였다(Sweller et al., 1998). 이 3분 체계는 이후 교수 설계 전반으로 확장되었다(Sweller et al., 2019). 인지부하 이론을 음악 교육에 적용하려는 시도는 국내 학계에서도 점진적으로 확대되고 있다. 배수영(Bae, 2024)은 대학 실기 교육 환경에서 적절히 통제되지 않은 인지적 부담이 학습 성과를 직접적으로 저해함을 확인하며 단계별 과제 해체와 다중감각적 기법을 통합한 인지부하 관리 전략의 필요성을 강조한 바 있다. 이러한 맥락은 악보 독보, 기술 습득, 표현적 연주가 동시에 요구되어 심각한 정보 과부하를 유발하는 시창청음의 다중 과제 처리 요구와 구조적으로 긴밀히 맞물려 있다.

결론적으로, 현재 시창청음 교육이 직면한 한계는 학습자의 개별적인 음악적 재능 부족이 아니라, 음악 정보 처리 과정에서 발생하는 작업기억의 한계와 인지부하를 교수법적으로 적절히 통제하고 관리해주지 못한다는 데 있다. 단순히 물리적 노출 빈도에만 의존하는 수동적 반복 훈련은 인간의 작업기억 한계를 극복하고 음악적 정보를 장기 기억으로 전환하는 데 명백한 한계를 지닌다. 학습자의 인지적 용량을 고려하지 않은 물리적 노출은 정보 처리의 병목을 심화시킬 뿐이다. 따라서 향후의 시창청음 교육은 단순히 '얼마나 많이 듣고 부르는가'의 물리적・양적 접근에서 과감히 벗어나, '뇌가 어떻게 음악을 처리하고 내면화하는가'에 대한 인지심리학 및 신경과학적 기반 위에서 재구성되어야 한다.

본 연구는 고도화된 음악적 정보 처리 역량이 요구되는 음악 고등 교육 과정의 전공생을 대상으로, 인지과학 및 신경과학에 파편화되어 존재하던 지각 메커니즘을 유기적으로 융합한 시창청음 교육의 이론적 프레임워크와 가설적 교수 모형을 구축하는 데 목적을 둔 탐색적・이론적 연구이다. 본 모형이 지향하는 교육 목표는 단순한 기능 향상이 아니라, 학습자가 메타인지를 통해 자신의 예측 오류를 스스로 수정하고 낯선 악곡 앞에서도 외부 단서 없이 내청을 구현하는 음악적 자립이다. 이에 인지부하의 동적 통제와 신체화

전략을 융합한 단일 통합 엔진으로서 인지-적응형 시창청음 통합 훈련 모형을 제안하고, 동적 교차 매트릭스와 메타인지 자가 진단 루브릭을 포함한 실천적 방법론을 정립하고자 한다. 이러한 선제적 이론 정립은 향후 학부 전공생 집단을 대상으로 수행될 실증 연구가 어떤 인지적 변인을 통제하고 실험군을 어떻게 설계해야 하는지에 대한 가이드라인과 실험 프로토타입을 제공한다는 점에서 학술적 의의를 지닌다.

Ⅱ. 연구 방법

본 연구는 시창청음 훈련 과정에서 발생하는 인지적 병목 현상을 해소하고 장기적인 음악 스키마 형성을 돕는 가설적 프레임워크를 도출하기 위해 내러티브 문헌 검토 및 이론적 통합 방법론을 수행하였다.

첫째, 문헌 수집 과정에서는 웹오브사이언스(Web of Science), 스코푸스(Scopus), 사이코인포(PsycINFO), 펍메드(PubMed), 학술연구정보서비스(RISS), 한국학술정보(KISS) 등 국내외 주요 학술 데이터베이스를 활용하였다. 핵심 검색 키워드는 본 연구의 대상 도메인인 시창청음(sight-singing, ear-training)을 기본 축으로 설정하고, 이에 결합할 인지과학 변인으로서 인지부하(cognitive load), 예측 부호화(predictive coding), 신체화(embodiment), 메타인지(metacognition)를 교차 조합하여 국・영문 문헌을 수집하였다.

둘째, 문헌의 선정 기준은 최근 20년 이내에 발행된 인지심리학, 신경과학, 음악 교육학 분야의 동료심사 학술지 논문과 메타분석 연구를 원칙으로 하였다. 다만 인지부하 이론, 근접발달영역, 오디에이션, 정의적 여과막 등 본 연구의 이론적 토대를 이루는 관련 이론의 원전과 달크로즈・코다이 교수법의 고전 문헌, 그리고 국내외 학위논문 및 학술대회 발표논문은 발행 시기와 형식에 무관하게 포함하였다. 특히 내청(audiation)과 감각운동 통합 기제를 실증한 최신 신경영상학(fMRI, EEG, MEG) 문헌을 집중적으로 선별하여 연구의 과학적 타당성을 확보하고자 하였다.

셋째, 수집된 문헌들의 이론적 통합은 시창청음 시 발생하는 다중 과제(시각 해독, 음고 상상, 발성 등)에 따른 작업기억 과부하 통제를 핵심 기준점으로 삼아 수행되었다. 이질적으로 분절되어 있던 신경과학적 지각 기제(예측 부호화, 뇌 가소성)와 인지심리학적 학습 전략(바람직한 어려움, 비계 소거)을 교차 분석하였다. 이를 통해 개별 이론들을 전공생의 숙련도에 따른 훈련 국면 전환(비계의 동적 투입 및 소거)이라는 하나의 통합된 인지적 알고리즘으로 재구조화함으로써 CASIM 모형의 방법론적 토대를 구축하였다.

Ⅲ. 이론적 배경

1. 뇌의 무의식적 음악 정보 처리와 지각 메커니즘

1) 음악적 통사의 내면화: 암묵적 학습

전통적인 시창청음 교육은 명시적인 규칙 암기와 반복 훈련에 의존해 왔다. 그러나 인간의 뇌는 의식적인 노력 이전에, 환경에 존재하는 통계적 규칙성을 단순 노출만으로 습득하는 강력한 암묵적 통계 학습 기제를 지니고 있다(Poulin-Charronnat & Tillmann, 2024). 로마이어(M. Rohrmeier)와 레부샤트(P. Rebuschat)는 음악 역시 언어와 마찬가지로 고도로 구조화된 체계이며, 청자들은 공식적인 음악 교육을 받지 않고도 화음과 선율 간의 전이 확률을 바탕으로 음악적 통사를 암묵적으로 습득한다고 강조한다(Rohrmeier & Rebuschat, 2012).

이러한 암묵적 습득은 발달 초기부터 강력하게 나타난다. 옌트슈케(S. Jentschke) 외의 뇌파(EEG) 연구에 따르면, 생후 30개월 된 유아들조차 음악-통사적으로 불규칙한 화음을 들었을 때 때 초기 우측 전방 부적 전위(Early Right Anterior Negativity, ERAN) 반응을 보였다(Jentschke et al., 2014). 이는 명시적 교육 없이도 인간의 뇌가 일상적인 음악 노출을 통해 통계적 확률을 계산하고 조성 및 화성 진행의 규칙을 내면화함을 보여준다. 또한 틸만(B. Tillmann) 외의 연구에서는 소뇌가 손상된 환자들조차도 음악적 시퀀스와 연관 강도에 대한 암묵적 지식을 유지하고 있음이 확인되었다(Tillmann et al., 2008). 이는 음악적 통사에 대한 암묵적 지식이 뇌의 장기 기억 네트워크 속에 얼마나 깊고 견고하게 뿌리내리고 있는지를 시사한다. 따라서 시창청음은 단순히 개별 음고를 기계적으로 암기하는 과정이라기보다는, 뇌에 이미 내면화된 음악적 통사 지식을 인출하고 활성화하는 과정으로 재정의되어야 한다.

2) 능동적 음악 지각 메커니즘: 예측 부호화

뇌가 암묵적으로 습득한 음악적 통사는 실제 음악을 들을 때 어떻게 작용하는가? 최신 인지신경과학은 이를 예측 부호화 이론으로 설명한다(Basiński et al., 2023; Vuust & Witek, 2014). 예측 부호화 모델에 따르면, 인간의 뇌는 수동적인 정보 수용체가 아니라 끊임없이 미래의 상태를 예측하는 능동적인 가설 검증기이다.

로마이어와 쾰슈(S. Koelsch)의 연구는 음악 인지 과정이 본질적으로 예측과 기대의 과정임을 명확히 한다(Rohrmeier & Koelsch, 2012). 뇌는 내면화된 음악적 통사를 바탕으

로 다음에 들려올 음고나 리듬을 하향식으로 미리 예측한다. 만약 실제 상향식으로 입력된 청각 신호가 뇌의 예측과 빗나갈 경우 예측 오류가 발생하며, 이는 뇌파 상에서 ERAN이나 불일치 음전위(MMN)로 나타난다. 쿠마르(S. Kumar) 외의 동적 인과 모델링(DCM) 연구 역시 청각 피질 내에서 이러한 계층적 예측 부호화가 일어남을 신경학적으로 규명하였다(Kumar et al., 2011). 즉, 훈련된 음악가의 시창청음은 음이 들린 후 수동적으로 반응하는 것이 아니라, 뇌가 음악적 맥락을 바탕으로 다음 소리를 끊임없이 추론 및 예측하여 작업기억의 인지부하를 최소화하는 고도의 신경학적 활동인 것이다. 이는 곧 숙련자가 초보자와 달리 작업기억을 소진하지 않고 음악의 전체 맥락을 파악할 수 있음을 보여주는 신경학적 근거로 해석될 수 있다.

3) 음악적 개념의 장기 기억화: 수면 공고화

작업기억을 통해 실시간으로 처리되고 예측된 음악 정보가 영구적인 능력으로 안착하기 위해서는 '오프라인' 상태에서의 정보 처리, 즉 수면을 통한 기억 공고화 과정이 필수적이다. 밴 헤저(S. Van Hedger) 외의 피아노 학습 연구에 따르면, 깨어 있는 동안에는 운동적 오류와 개념적(조성적) 오류가 모두 증가하지만, 수면을 취하고 난 후에는 개념적 오류만이 유의미하게 감소하는 것으로 나타났다(Van Hedger et al., 2015). 이는 수면이 단순히 기계적인 움직임을 복습하는 시간이 아니라, 음악의 기저에 있는 구조적·통사적 개념을 추상화하고 장기 기억으로 공고화하는 데 탁월한 역할을 함을 시사한다. 이는 시창청음 시 뇌가 매번 개별 음고를 분절적으로 인식하는 대신, 이미 구조화된 음악적 개념을 통째로 인출할 수 있도록 장기기억망을 최적화하는 과정이다.

더 나아가 서파 수면 단계에서 학습 시의 청각적 단서를 다시 들려주는 표적 기억 재활성화(TMR) 기법은 학습 내용의 파지와 시공간 기억의 공고화를 향상시키는 것으로 보고되고 있다(Fabbri et al., 2025; Gao et al., 2020). 이는 시창청음 훈련이 단기적인 각성 상태에서의 벼락치기나 주입식 반복만으로는 완성될 수 없으며, 뇌가 휴식하고 수면하는 동안 무의식적으로 음악 정보를 통합하고 공고화하는 생물학적 메커니즘을 적극적으로 활용해야 함을 강력히 시사한다.

4) 무의식적 지각 기제의 교육적 시사점

결론적으로 시창청음은 단순히 귀로 듣고 입과 손으로 내보내는 1차원적인 감각운동 과정이 아니다. 이는 내면화된 음악적 통사를 기반으로 실시간 하향식 예측과 수면 공고화를 거쳐 장기 기억망을 형성하는 무의식적 신경 정보 처리 과정이다. 따라서 시창청음

교육은 작업기억 과부하를 유발하는 관행적 반복을 지양하고, 뇌가 통계적 패턴을 파악해 예측 모델을 고도화하는 과학적 원리에 기반하여 재설계되어야 한다.

2. 내청과 감각운동 통합의 신경학적 기제

1) 소리 없는 음악적 사고: 내청과 청각적 심상

시창청음의 궁극적인 목표는 외부의 물리적 소리가 없는 상태에서도 악보를 보고 소리를 상상하거나, 들리는 소리의 구조를 마음속으로 파악하는 내청 능력을 기르는 것이다. 고든(E. Gordon)의 음악 학습 이론에 따르면, 내청은 들었던 소리를 테이프 레코더처럼 수동적으로 재생하는 조성적 기억과는 구별된다(Gordon, 1989). 이는 소리에 음악적 의미를 부여하고, 통사적 규칙을 이해하며, 앞으로 전개될 음악을 능동적으로 예측하는 고도의 인지 과정이다. 다만 플라츠(F. Platz) 외는 고든의 오디에이션 검사(AMMA) 30문항 중 5문항만이 척도 요건을 충족하며, AMMA와 시쇼어의 조성 기억 검사가 서로 독립적이라고 볼 실증적 근거가 없음을 보고하였다(Platz et al., 2022). 이는 내청이 이론적으로는 조성 기억과 구별되더라도 이를 조작적으로 측정하는 문제는 여전히 미해결 과제임을 시사하며, 본 연구가 별도의 진단 척도를 고안한 배경이기도 하다.

최신 신경과학 연구들은 이러한 내청을 '청각적 심상'이라는 개념으로 실증하고 있다. 마틴(S. Martin) 외의 ECoG(피질뇌파) 연구와 헤어홀츠(S. Herholz) 외의 fMRI 연구에 따르면, 인간이 음악을 마음속으로 상상할 때 일어나는 뇌의 활성화 패턴은 실제 음악을 지각할 때의 패턴과 매우 유사하게 중첩되며, 청각 피질에서 실제 소리의 주파수 및 시간적 특성이 고감마 대역의 신경 신호로 재구성됨을 확인하였다(Herholz et al., 2012; Martin et al., 2018). 이는 내청이 추상적인 관념이 아니라 물리적 소리를 듣는 것과 동일 수준의 강력한 뇌신경학적 표상을 지님을 의미한다.

2) 내적 청각의 신체화: 청각-감각운동 네트워크의 통합

내청 과정에서는 청각 피질뿐만 아니라 운동 피질도 강력하게 동시 활성화된다. 관련 연구에 따르면 음악을 상상할 때 감각운동 피질의 뇌파 진동이 강하게 조율되며, 보조운동영역(supplementary motor area) 및 전운동피질(premotor cortex)이 실제 소리를 들을 때보다 더 강하게 활성화되는 하향식 과정이 나타난다(Gelding et al., 2019; Gu et al., 2019).

레이브라우크(M. Reybrouck)와 스키아비오(A. Schiavio), 그리고 마스(P. Maes)는 이 현상을 체화된 인지와 감각운동 통합의 관점에서 설명한다(Maes, 2016; Reybrouck & Schiavio,

2024). 음악 인지는 뇌라는 고립된 기관에서만 일어나는 것이 아니라, 신체의 감각과 움직임이 통합된 환경 속에서 발현된다. 마이어스(J. Myers) 외의 연구는 수동적으로 소리를 듣는 것보다 능동적인 신체 움직임을 동반할 때 청각 지각의 정확도가 오히려 향상되는 감각 촉진을 보고하였다(Myers et al., 2020). 즉, 전문 음악가의 내청은 단순히 귀로만 듣는 것이 아니라, 내적 발화와 운동 시뮬레이션이 결합된 철저한 감각운동 과정이다.

3) 음악적 표상의 신체화 전략: 커웬 수기호와 다중감각 청킹

보이지 않는 추상적인 청각 표상(음고, 음정)을 시각적, 운동감각적인 물리적 공간으로 매핑하여 내청을 돕는 대표적인 교육 도구가 '커웬 수기호(Curwen hand signs)'이다. 프레이-클라크(M. Frey-Clark)의 문헌 연구에 따르면, 수기호는 상대음도법에 시각적・운동감각적 닻(anchor)을 제공하여 각 음도가 지닌 고유한 기능과 성격을 신체 공간상에 구체화한다(Frey-Clark, 2017).

일부 연구(Boisvert, 2019)는 수기호가 초보자의 음정 정확도를 유의미하게 향상시키지 못했다고 보았으나, 이는 학령 전 아동 대상의 단기 측정이라는 한계가 있다. 반면 성인 및 전공자의 장기적 인지 구조 형성을 목표로 하는 CASIM 모형에서는 초기 마찰을 극복한 이후 장기 유지 및 전이 측면에서 상이한 양상이 나타날 것으로 예측되며, 이는 향후 실증적으로 검증되어야 할 가설이다. 따라서 수기호의 물리적 움직임 자체에 의존하기보다는, 각 기호가 지닌 고유한 조성적 기능에 대한 명시적 인지가 반드시 수반되어야 장기적인 효과를 기대할 수 있다. 웨이크필드(E. Wakefield)와 제임스(K. James)는 성인(실험 1)과 만 4~7세 아동(실험 2)에게 커웬 수기호를 변형한 여덟 개의 수기호를 각각의 음고와 짝지어 선율을 학습시킨 뒤 fMRI로 측정하였다(Wakefield & James, 2011). 그 결과 두 연령 집단 모두 이후 해당 선율을 듣기만 하는 상황에서 운동 피질이 재활성화되었으며, 성인에게서는 좌측 중심전회(PrCG)와 함께 좌측 중측두회(MTG)가, 아동에게서는 좌측 운동 영역에 더해 신체 감각과 관련된 우측 중심후회(PoCG)가 활성화되었다. 저자들은 성인에게서 나타난 MTG 활성화를 수기호가 선율과 하나의 표상으로 저장되었을 뿐 아니라 의미를 지닌 소통적 요소로 저장된 결과로 해석하였다. 이 수기호가 선율을 직접 발생시키지 않는 추상적 동작이었다는 점에서, 이는 소리를 산출하지 않는 상징적 동작만으로도 청각-운동 네트워크가 구축될 수 있으며 커웬 수기호가 성인 학습자에게도 인지적 비계로 기능할 수 있음을 직접적으로 뒷받침한다.

이는 수기호가 시창청음에 있어 아르코(N. Arco)가 제시한 '다중감각 청킹' 기제로 작동함을 의미한다(Arco, 2026). 숙련된 음악가는 시각(악보)과 청각(소리)을 통합하여 정밀한 작업기억 표상을 만드는데, 수기호는 추상적인 음고를 신체적 움직임이라는 구체적

감각으로 묶어주는 역할을 한다. 뇌의 작업기억 병목 현상을 해소하기 위해 청각적 부담을 운동 감각 및 시각 채널로 분산시키는 최적의 인지적 전략인 셈이다. 국내 학술적 전통에서도 코다이 수기호 시스템을 '손짓-인지적 도구'로 분석하거나(Yang, 2022), 시창청음 프로그램에서 신체-운동지능 채널을 활용해 학습자의 몰입도와 기억 유지를 향상시킨 연구 등을 통해(Kim, 2014) 감각운동 통합 메커니즘의 교육적 타당성을 일관되게 확보해 왔다. 이러한 국내 문헌들은 코다이 수기호가 청각적 표상과 기호적 악보 사이의 다중감각적 인터페이스로 기능하도록 설계된 CASIM 모형의 이론적 아키텍처를 강력하게 지지한다.

4) 신체화된 내청의 교육적 역할과 의의

이상의 연구들은 시창청음이 단순한 청각 능력을 넘어선, 뇌와 신체가 긴밀하게 협응하는 '신체화된 감각운동' 과정임을 명백히 보여준다. 작업기억 한계로 내청 유지에 어려움을 겪는 학습자에게 수기호나 신체 움직임의 개입은 인지부하를 운동 감각 채널로 분산시키는 과학적 비계가 된다. 따라서 효과적인 시창청음 훈련 모델은 학습자가 청각적 정보와 신체적 움직임을 적극적으로 통합하도록 유도하여, 내청을 뇌의 감각운동 네트워크에 깊이 새겨넣는 신체화 전략을 반드시 포함해야 한다. 특히 상징적 동작이 성인에게서도 운동 피질과 의미 처리 영역을 함께 활성화한다는 점은, 이 전략이 아동기 교수법에 국한되지 않음을 시사한다.

Ⅳ. 인지심리학 기반 시창청음 학습 최적화 전략

1. 바람직한 어려움의 도입: 숙달의 환상 탈피

앞서 살펴본 바와 같이, 시창청음은 단순한 감각 모방이 아니라 작업기억과 장기기억 간의 능동적인 정보 처리를 요구한다. 그러나 전통적인 시창청음 훈련은 멜로디를 수동적으로 반복해서 듣고 부르거나 특정 음정 패턴을 집중적으로 반복하는 방식에 의존해 왔다. 비요크(R. Bjork)와 비요크(E. Bjork)의 새로운 불사용 이론은 기억을 저장 강도와 인출 강도로 분리하여 이러한 전통적 방식의 인지적 한계를 지적한다(Bjork & Bjork, 1992). 단순 반복은 단기적 수행 향상을 진정한 학습으로 오인하는 숙달의 환상을 유발할 뿐 장기적 유지로 이어지지 않으므로, 장기 기억(저장 강도) 형성을 위해서는 역설적으로 학습 과정에 인지적 장애물인 바람직한 어려움을 의도적으로 배치해야 한다.

그러나 주의할 점은, 이러한 바람직한 어려움의 도입이 필연적으로 훈련 초기의 오류율을 급상승시켜 학습자의 정서적 여과막(affective filter)을 높이고, 심각한 수행 불안이나 정서적 좌절감을 유발할 수 있다는 사실이다(Krashen, 1982). 인지적으로 아무리 최적화된 설계일지라도 학습자가 정서적 장벽에 부딪혀 학습 동기를 상실한다면 장기적인 음악 스키마 형성은 실패할 수밖에 없다. 따라서 CASIM 모형 하에서 교사는 단지 인지적 마찰만을 강요하는 데 그치지 않고, 훈련 프로토콜 적용 전 학습자들에게 현재 경험하는 잦은 실패와 오류는 음악적 재능의 부족이 아니라, 뇌 신경망이 능동적으로 예측 오류를 해결하며 장기 기억망을 재구성해 나가는 필수적이고 긍정적인 신경학적 신호임을 인지과학적으로 설명하고 설득하는 '인지적 재구조화' 전략을 반드시 병행해야 한다. 이러한 정서적 지지 및 조절 기제가 결합될 때 비로소 학습자는 높은 인지적 부하 속에서도 좌절하지 않고 의도적 연습을 지속할 수 있는 심리적 탄력성을 확보하게 된다.

2. 인출 연습과 시험 효과: 능동적 기억 표상 재구성

수동적으로 악보를 보며 멜로디를 반복해서 듣는 대신, 악보 없이 기억을 더듬어 부르거나 적어보는 인출 연습은 시창청음 능력을 극대화하는 핵심 전략이다. 텔레스코(P. Telesco) 외는 피아노 선율 암기 과제를 통해 이 시험 효과가 음악 영역에서도 성립하는지를 검토하였다(Telesco et al., 2021). 악보를 보며 반복 학습한 조건에 비해, 악보를 덮고 기억에 의존해 연주한 조건은 학습 과정 중에는 수행이 낮았으나 2일 지연 후 최종 검사에서는 상대적 우위를 보였다. 다만 이 차이는 표본 규모의 제약으로 통계적 유의성에는 이르지 못하였으며, 저자들은 관찰된 효과크기(d = 0.37~0.44)가 언어 영역 시험 효과의 메타분석 결과(g = 0.50)에 준한다는 점을 근거로 음악 암기에서도 인출 연습이 유효할 가능성을 예비적으로 제시하였다.

또한, 벨만(M. Wellmann)과 스킬리콘(A. Skillicorn)은 재즈 페다고지 연구에서 저위험의 반복적인 인출 연습이 단순한 장기 기억 향상을 넘어 학습자의 수행 불안을 줄이고, 배운 패턴을 새로운 악곡에 적용하는 전이 능력을 비약적으로 높인다고 강조한다(Wellmann & Skillicorn, 2024). 즉, 시창청음 훈련은 교사나 피아노가 정답을 계속 들려주는 방식에서 벗어나, 학생 스스로 불완전하더라도 내청을 통해 소리의 표상을 꺼내보는 능동적 과정으로 재편되어야 한다.

3. 분산 학습 스케줄링: 망각을 통한 장기 기억 공고화

기억을 굳히기 위해 단기간에 집중적으로 연습하는 집중 학습 방식 역시 음악 학습에

서는 그 효율성이 크게 떨어진다. 카츠(J. Katz)와 와이즈하트(M. Wiseheart)는 선율 및 노래 암기 실험에서 분산 학습 효과가 음악적 기억에서도 강력하게 작동함을 실증하였다(Katz & Wiseheart, 2025). 집중 학습, 2일 간격 분산 학습, 1주 간격 분산 학습의 세 조건을 비교한 결과, 학습 3주 후 실시된 회상 검사에서 두 분산 학습 조건이 집중 학습 조건보다 뚜렷하게 우수한 성취를 보였다. 다만 이들의 연구에서 언어 학습과 달리 선율 암기 시에는 이틀과 일주일 간격 사이의 유의미한 성취도 차이가 발견되지 않았는데, 이는 멜로디의 내재적 구조가 강력한 기억 단서로 작용하기 때문일 수 있다.

이는 학습 세션 사이에 발생하는 망각이 다음번 연습에서의 인출을 더욱 어렵게 만들고, 이 과정에서 뇌가 멜로디의 구조적 단서에 의존해 기억을 뼈대부터 재구성하기 때문이다. 따라서 시창청음 훈련은 한 번에 긴 시간을 할애하기보다는 간격을 두고 꾸준히 인출을 시도하는 스케줄로 설계되어야 뇌의 장기 기억 공고화를 극대화할 수 있다.

4. 교차 학습의 배치: 변별력 및 전이 능력 극대화

장3도만 여러 번, 혹은 다장조 멜로디만 연속해서 부르는 식의 구획 학습은 훈련 직후의 정답률은 높이지만, 실제 낯선 악보를 마주했을 때의 적응력을 떨어뜨린다. 네메트(L. Nemeth) 외는 259명을 대상으로 구획 학습, 무작위 교차 학습, 학습자의 혼동 패턴에 맞춘 적응형 교차 학습을 비교하였다(Nemeth et al., 2025). 학습 과정 중에는 구획 학습의 수행이 더 높았으나, 즉시 및 지연 사후 검사에서는 두 교차 학습 조건이 모두 우수하였다. 주목할 점은 이러한 교차 학습의 이점이 학습자의 작업기억 용량(WMC)과 무관하게 나타났다는 것이며, 적응형 배열은 무작위 교차 배열에 비해 추가적인 이득을 보이지 않았다.

교차 학습은 학습자에게 훈련 항목들 사이의 미세한 차이를 지속적으로 비교하고 대조하도록 강제한다. 다양한 조성, 박자, 리듬, 도약 음정을 교차하여 훈련할 때, 뇌는 각 음악적 요소의 본질적인 속성을 더 정확히 변별하게 되며, 실전에서 어떤 음악적 맥락이 주어지더라도 유연하게 대처할 수 있는 신경학적 민첩성을 기를 수 있다.

5. 인지부하 이론과의 통합: 과제 난이도의 동적 최적화

하지만 모든 어려움이 항상 바람직한 것은 아니다. 파이크(W. Pyke) 외는 바람직한 어려움 프레임워크(DDF)와 인지부하 이론을 비교 분석하며, 학습자의 숙련도 및 과제의 복잡성에 따른 세밀한 난이도 조율이 필요함을 역설한다(Pyke et al., 2025). 시창청음 과제 자체가 지닌 내재적 부하가 학습자의 작업기억 한계를 초과할 때, 무리하게 인출이나 교차 학습을 강요하면 이는 인지적 과부하를 초래하는 '바람직하지 않은 어려움'이 된다.

이는 앞서 정리한 인지부하의 세 유형에 비추어 구체화할 수 있다. 시창청음에서 내재적 부하는 악곡의 조성 복잡성과 도약 음정의 밀도처럼 과제 자체에 내재한 요인이 결정하는 반면, 외재적 부하는 기준음 제시 방식이나 악보 배열과 같은 교수 설계 요인이 결정한다. 교사가 직접 조절할 수 있는 것은 후자이므로, 내재적 부하가 이미 높은 과제에서는 촉진적 부하를 늘리기에 앞서 외재적 부하부터 낮추는 것이 순서다.

따라서 시창청음 훈련 모델은 초보자에게는 먼저 멜로디를 짧은 단위로 나누어 부하를 낮추거나, 수기호 같은 명시적 비계를 제공하여 외재적 부하를 줄여주어야 한다. 반면, 기초적인 해독 능력이 갖춰진 후에는 수동적인 안내를 줄이고, 점진적으로 분산 및 교차 학습의 빈도를 늘려 뇌의 인지적 자원이 음악적 스키마 형성에 온전히 쓰이도록 촉진적 부하를 높여주는 적응형 스케줄링으로 나아가야 한다.

V. 심화 적용: 메타인지, 피드백, 의도적 연습

1. 메타인지 전략: 자기주도적 학습의 통제 기제

시창청음 훈련이 일시적인 암기 효과에 그치지 않고 진정한 음악적 독립성으로 이어지기 위해서는 학습자 스스로 자신의 인지 과정을 통제하는 메타인지가 필수적이다. 보구노비치(B. Bogunović)와 부요비치(I. Vujović)의 연구에 따르면, 우수한 시창청음 능력을 지닌 학생들은 무작정 소리를 내기 전에 악보의 구조와 화성적 흐름을 먼저 분석하고(하향식 전략), 자신의 강점과 취약점을 명확히 인지하며, 오류가 발생했을 때 그 원인을 파악하여 전략을 수정하는 강력한 메타인지적 자기 조절 능력을 보였다(Bogunović & Vujović, 2012).

중학교 합창 교사들을 대상으로 한 질적 연구에서도, 루브릭을 활용한 자가 평가와 오류를 학습의 기회로 삼게 하는 메타인지적 지도가 시창 능력 향상에 기여한다는 교사들의 일관된 인식이 보고되었다(Kicklighter, 2025). 리(W. Li) 외는 예비교사 84명을 대상으로 한 실험에서 객관적인 음악적 피드백 훈련이 메타인지 능력을 유의미하게 향상시킴을 확인하였다(Li et al., 2023). 다만 자기주도적 학습 준비도에 대한 직접적 효과는 명확히 확인되지 않았으며, 저자들은 메타인지와 자기주도적 학습 간의 정적 상관을 보고하는 한편 장기적이고 지속적인 개입의 필요성을 강조하였다. 즉, 시창청음은 교사의 지시를 따르는 수동적 훈련이 아니라, 학습자 스스로 목표를 설정하고, 수행을 모니터링하며, 결과를 평가하는 철저한 메타인지 훈련이 되어야 한다.

국내 음악 교육학계에서도 이러한 메타인지 연구의 맥락을 방법론적 구체성을 바탕으로

발전시켜 왔다. 나재용(Na, 2008)은 음악 이론 학습을 위한 메타인지 학습 전략 프레임워크를 개발하여 고등 음악 교육과정 내에서 자기 모니터링, 자기 평가, 자기 조절을 지도 및 평가 가능한 역량으로 구체화하는 데 기여했다. 이는 정규 음악 실무 교육에 메타인지적 프레임워크를 적용할 수 있는 초기 실증적 토대를 제공한 연구이다. 이러한 논의를 바탕으로 김일영(Kim, 2005)은 음악 인지와 자기조절 학습이 상호 구성적으로 작용함을 밝히며, 효과적인 음악 연습을 위해서는 단순히 도메인 특수적 기술뿐만 아니라 과제 요구도에 맞춰 연습 전략을 능동적으로 선택하는 메타인지적 관리 기제가 필수적임을 강조했다. 본 연구가 제안하는 CASIM 모형은 국내 선행 프레임워크의 흐름에 발맞추어, 학습자가 과제 수행 전, 수행 중, 수행 후에 자신의 인지 과정을 끊임없이 모니터링하고 반성하도록 유도하는 메타인지적 비계를 핵심 설계 원리로 내재화함으로써 기존 연구들의 외연을 한층 확장하고자 한다.

2. 피드백 유형 및 타이밍: 감각운동 통합 촉진

메타인지적 모니터링을 돕기 위해서는 적절한 피드백이 적시에 제공되어야 한다. 블랑코(A. Blanco) 외의 연구는 바이올린과 성악의 음고 매칭 과제에서 피드백의 유형이 미치는 영향을 비교하였다(Blanco et al., 2021). 연구 결과, 단순한 청각적 피드백만 제공받은 집단은 즉각적인 모방에는 성공했으나 전이 단계에서 성취를 유지하지 못했다. 반면, 목표 음정과의 오차를 실시간 시각적 피드백과 결과에 대한 지식(KR)으로 명확히 인지한 집단은 오류를 능동적으로 수정하며 장기적인 학습 전이에 성공했다. 이는 학습자가 무작정 소리를 맞추는 데 그치지 않고, 객관적 피드백을 통해 자신의 인지적 예측 오류를 확인하고 교정할 때 비로소 음악적 스키마가 강화됨을 시사한다.

3. 의도적 연습의 조건: 구조적 뇌 가소성 유도

피드백과 메타인지가 결합된 훈련은 궁극적으로 의도적 연습의 형태를 띠어야 한다. 에릭슨(K. Ericsson)과 하웰(K. Harwell)은 단순한 물리적 시간의 축적이나 기계적인 반복은 전문가 수준의 기량 향상으로 이어지지 않음을 강력히 경고한다(Ericsson & Harwell, 2019). 진정한 기량 향상은 명확한 목표, 즉각적 피드백, 극도의 집중력, 그리고 자신의 현재 한계를 끊임없이 넘어서려는 문제 해결 과정이 동반된 고도의 인지적 노동, 즉 '의도적 연습'을 통해 촉진된다. 다만 맥나마라(B. Macnamara) 외의 메타분석에서 음악 분야의 의도적 연습이 수행 성과 차이의 약 23%만을 설명한다고 밝힌 바와 같이(Macnamara et al., 2014), 연습의 축적뿐만 아니라 인지적 부하를 효율적으로 통제하는 교수적 개입이

반드시 병행되어야 한다. 이러한 의도적 연습은 선천적 재능의 발현이 아니라, 신체와 신경계의 구조적・기능적 적응을 이끌어낸다. 결과적으로 시창청음 교육은 타고난 감각에 의존하는 재능의 영역을 넘어, 정교하게 설계된 인지 전략과 의도적 연습의 결합을 통해 뇌의 신경망을 재구성하는 가소성의 과정으로 이해될 수 있다.

결국 메타인지적 자기 조절, 객관적 피드백, 의도적 연습은 서로 독립된 처방이 아니라 하나의 순환 고리를 이룬다. 학습자가 자신의 오류 유형을 스스로 진단할 수 있을 때 피드백이 의미를 얻고, 그 피드백이 다음 연습의 목표를 규정할 때 비로소 의도적 연습이 성립하기 때문이다.

Ⅵ. 인지-적응형 시창청음 통합 훈련 모형(CASIM)의 구조

1. 단일 통합 적응형 모형의 개요

앞서 규명한 뇌의 지각 메커니즘과 인지심리학적 훈련 전략은 시창청음 교육이 나아가야 할 이정표를 제시하며, 이는 신체화와 내청을 강조해 온 코다이(Z. Kodály)의 수기호, 자크-달크로즈(É. Jaques-Dalcroze)의 감각운동 통합, 고든의 오디에이션 이론과 맥을 같이 한다(Gordon, 1989; Jaques-Dalcroze, 1921; Kodály, 1974). CASIM 모형은 이들 선구적 교수법의 음악교육학적 직관을 현대 인지과학의 메커니즘으로 재정립하고, 시간 축에 따른 동적 적응형 스케줄링 엔진을 결합하여 진화시킨 프레임워크이다. 그러나 기존의 시창청음 교수법들은 조성의 복잡성이나 도약 음정의 물리적 난이도에 따라 학습 과정을 초급, 중급, 고급으로 분절하고, 각 단계마다 별개의 커리큘럼을 기계적으로 적용하는 한계를 보여왔다. 이러한 분절적 접근은 인간의 뇌가 음악적 통사를 내면화하고 예측 모델을 정교화해 나가는 연속적인 신경 가소성의 궤적을 온전히 담아내지 못한다.

초보자와 숙련자의 시창청음 과정은 본질적으로 다른 뇌 기능을 사용하는 것이 아니다. 동일한 인지 시스템 내에서 외재적 정보와 신체 단서에 의존하는 비율과 내적 표상의 자동화(청킹) 정도가 다를 뿐이다. 따라서 본 연구는 분리된 여러 개의 단계별 모형이 아닌, 도출된 모든 인지과학적 원리들이 하나의 시스템 내에서 톱니바퀴처럼 맞물려 돌아가는 인지-적응형 시창청음 통합 훈련 모형(CASIM)을 제안한다.

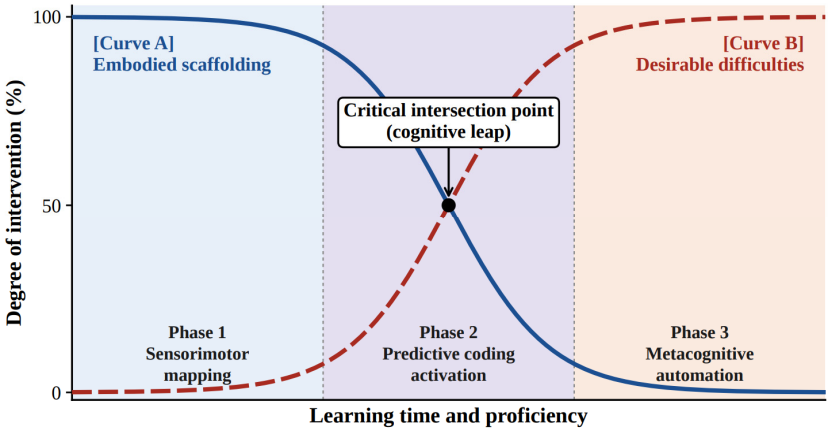
CASIM은 시창청음 훈련을 위한 통합적 교수 프레임워크이다. 이 모형은 학습자의 인지적 수용력과 작업기억 역량에 따라, 신체화 비계와 바람직한 어려움의 투입 비율을 동적으로 변화시킨다. 즉 수준별 훈련이 아닌, 단일 모형 내에서 학습자 상태에 맞춰 인지적 개입 강도를 실시간 조율하는 적응형 메커니즘이다. CASIM은 인지부하 통제와

신체화 결합, 예측 부호화와 바람직한 어려움 구조화, 메타인지적 자기 진단 내재화라는 세 원칙에 기반하며, 이는 각각 제1국면에서 제3국면에 대응한다.

2. 모형의 시각적 메커니즘: 동적 교차 매트릭스 분석

CASIM의 메커니즘을 명확히 이해하기 위해, 훈련 과정 내 인지적 개입 변인의 변화를 2차원 교차 매트릭스 그래프로 도식화하면 [Figure 1]과 같다. 이는 인지적 부하 배분과 통제를 직관적으로 보여주는 청사진이다.

본 그래프에 제시된 인지적 개입의 구체적인 비율(%)은 실증적 통계 데이터에 기반한 절대적 수치가 아니며, 인지부하 이론의 비계 소거 원리를 시창청음 맥락에 적용하기 위해 고안된 발견적 지표이자 개념적 모델이다. 그래프의 X축은 학습 시간 및 숙련도의 증가를 나타내며 초급에서 고급으로 이어지는 연속적 흐름을 갖는다. Y축은 인지 및 감각운동적 개입의 강도(0~100%)를 의미한다. 이 2차원 공간 안에서 상반된 목적을 지닌 두 개의 핵심 곡선이 상호 교차하며 훈련의 궤적을 결정한다.



Note. The cognitive intervention percentages (%) presented in this diagram are not based on empirical statistical data; rather, they serve as a heuristic measure and a conceptual guideline to visualize the application of cognitive load theory's 'scaffolding fading' principle within a sight-singing and ear-training context.

[Figure 1] Dynamic intervention curves of the CASIM model

1) 하향 곡선: 신체화 비계의 설정과 소거

X축의 시작점(초기 학습)에서 이 곡선은 Y축의 최고점(100%)에 위치하며, 숙련도가 증가함에 따라 점진적으로 우하향하여 0%에 수렴한다. 이 곡선은 커웬 수기호, 명시적인

기준음 제시, 신체적 박자 젓기 등 다중감각을 활용한 물리적・외재적 개입의 양을 의미한다. 학습 초기, 악보 해독과 소리의 상상을 동시에 수행하며 작업기억이 겪게 되는 병목 현상을 막기 위해, 청각적 부담을 시각 및 운동감각 채널로 적극적으로 분산시키는 역할을 한다. 그러나 뇌의 청각-운동 네트워크가 통합되고 교차 감각 청킹이 안정화됨에 따라, 이 보조 바퀴는 점진적으로 제거되는 소거의 과정을 거친다.

2) 상향 곡선: 바람직한 어려움의 점진적 투입

X축의 시작점에서 이 곡선은 최하단(0%)에 머물다가, 숙련도가 증가함에 따라 가파르게 우상향하는 역동적인 곡선이다. 이 곡선은 교차 학습, 분산 학습, 악보 없이 내청으로만 부르기(인출 연습) 등 뇌에 의도적인 인지적 마찰을 일으키는 훈련 변인의 양을 의미한다. 음악적 스키마가 없는 초기에는 인지 과부하를 막기 위해 철저히 배제되지만, 신체화 곡선이 하락함에 따라 반대로 강력하게 투입된다. 외부의 힌트 없이 뇌가 스스로 예측 오류를 발생시키고 이를 능동적으로 해결하게 함으로써, 단기 기억을 견고한 장기 기억망으로 재구성하는 촉진적 부하의 역할을 극대화한다.

3) 임계 교차점의 신경학적 의의

이 모형의 가장 핵심적인 신경학적 변곡점은 하향하는 신체화/비계 곡선과 상향하는 바람직한 어려움 곡선이 맞물려 X자 형태로 교차하는 임계 교차점이다. 이 지점은 학습자가 외부 단서에서 벗어나 내적 예측 부호화 네트워크로 청킹을 수행하는 인지적 도약기다. 이는 비계 소거와 인지적 장애물 도입을 통해 훈련의 주도권이 교사의 안내에서 학습자 뇌의 능동적 정보 처리로 완전히 전환되는 순간을 보여준다. 결과적으로 CASIM 하에서 시창청음의 초급, 중급, 고급 단계란 물리적으로 단절된 교재의 진도가 아니라, 이 매트릭스의 X축 위에서 현재 신체화 비계(하향)와 바람직한 어려움(상향) 중 어느 쪽에 더 높은 비율의 다이얼을 맞출 것인가를 결정하는 동적인 좌표를 의미한다. 다만 이 좌표는 학급 전체에 일률적으로 적용되는 값이 아니라 학습자마다 다른 지점에 놓이며, 그 판단 근거는 뒤에서 제시할 메타인지 자가 진단 루브릭이 제공한다.

3. 국면별 동적 적응 메커니즘

본 절에서는 시각적 해독이 음향적 표상으로 전환되는 제1국면부터, 이를 메타인지로 완전히 내면화하는 제3국면까지의 구체적인 작동 메커니즘을 상술한다.

1) 제1국면: 감각운동 매핑 및 작업기억 보호

이 국면에서 학습자는 시각 기호 해독의 병목 현상과 작업기억의 극심한 과부하 상태를 경험하게 된다. 따라서 이를 완화하기 위해 외재적 비계와 신체화 전략은 100%로 극대화하는 반면, 바람직한 어려움의 변인은 0%로 최소화하여 인지적 마찰을 줄이도록 조율한다. 학습 초기 단계의 학생들은 악보상의 시각적 기호(음표, 리듬)를 해독하는 데에만 이미 한정된 작업기억 용량의 대부분을 소모한다. 이 상태에서 정확한 음고를 머릿속으로 상상해 내고 발성 기관을 통제하여 소리를 내는 다중 과제를 동시에 요구하면, 뇌는 즉각적인 인지적 과부하 상태에 빠져 음악의 전체 흐름이나 조성감을 놓치게 된다.

따라서 제1국면은 작업기억 보호를 위해 추상적 음고를 구체적 표상으로 변환하는 데 집중하며, 이를 위해 커웬 수기호 등 신체화된 외재적 비계를 전면 투입한다. 이 단계에서 수기호의 사용은 단순한 율동이나 시각적 보조를 넘어선다. 이는 보이지 않는 추상적인 청각적 표상과 조성적 기능을 손의 위치와 모양이라는 물리적이고 운동감각적인 공간으로 매핑하는 고도의 신경학적 작업이다. 뇌의 청각 피질과 운동 피질 간의 강력한 감각운동 네트워크(sensorimotor network)가 구축되며, 머릿속의 소리(내청)를 신체 움직임이라는 구체적 감각으로 묶어내는 다중감각 청킹의 기초가 이 국면에서 확립된다. 또한 이 시기에는 뇌에 무리한 마찰을 주는 교차 학습을 배제하고, 짧고 유의미한 조성적 패턴을 반복 제시하는 구획 학습을 허용하여 뇌가 조성의 통계적 규칙성을 암묵적으로 학습하도록 유도한다.

2) 제2국면: 비계 소거 및 예측 오류 기반 청킹

이 국면에 접어들면 학습자는 음악적 기초 표상을 형성하지만, 동시에 단기적 익숙함에 기댄 숙달의 환상이 발생할 위험에 직면한다. 이를 방지하기 위해 본 모형은 신체화 비계를 점진적으로 소거하는 동시에, 학습 과정에 인지적 장애물인 바람직한 어려움의 투입 비율을 점진적으로 상향 조율하는 적응형 메커니즘을 적용한다. 수기호 조작과 음정 패턴 해독이 익숙해지면 뇌는 익숙한 자극을 최소한의 노력으로 처리하려 하며, 이때 기계적 반복을 지속하는 것은 단기적 인출 강도만 높여 전이 능력을 저하시킨다.

따라서 제2국면은 매트릭스 상에서 신체화 곡선이 하향하고 바람직한 어려움 곡선이 상향하며 임계 교차점(critical intersection point)을 향해 다가가는, 모형의 가장 역동적인 구간이다. 교사는 운동학습에서 보조 바퀴를 떼어내듯 수기호의 움직임 폭을 줄이거나 피아노의 청각적 힌트 제공을 점진적으로 줄여나간다. 그리고 그 빈자리에 뇌에 의도적인 인지적 마찰을 일으키는 바람직한 어려움을 전략적으로 투입한다. 이 국면의 핵심 훈련 기제는 다음과 같다.

첫째, 사전 인출을 통한 예측 부호화의 활성화이다. 교사가 소리를 먼저 피아노로 들려주고 따라 부르게 하는 수동적 방식의 개입을 최소화한다. 학습자는 피아노의 도움을 받기 전에 악보만 보고 스스로 내적 발화를 통해 소리를 먼저 상상(내청)하여 발성을 시도해야만 한다. 이 불완전한 내적 예측과 이후 확인한 실제 소리(정답)가 빗나갈 때 발생하는 신경학적 예측 오류야말로 뇌가 음악적 스키마를 단련하고 기존의 신경망을 뼈대부터 재구성하게 만드는 학습을 촉진하는 핵심적인 인지 기제로 작용할 수 있다.

둘째, 교차 학습에 의한 변별력 극대화이다. 동일한 조성이나 음정의 규칙적인 배열을 피하고, 장조와 단조, 순차 진행과 도약 진행, 다양한 박자 기호 등을 예측 불가능하게 무작위로 섞어서 제시한다. 훈련 중 체감 난이도와 순간적인 오류율은 급격히 상승하지만, 이 과정에서 뇌는 각 음악적 요소들 간의 미세한 차이를 끊임없이 비교하고 대조하도록 강제된다. 결과적으로 학습자는 한정된 맥락에서만 통용되는 단기 암기에서 벗어나, 어떠한 낯선 악보가 주어지더라도 즉각적으로 유의미한 단위로 묶어내는 범용적인 청킹 능력을 장기 기억망에 구축하게 되며 신경학적 민첩성을 고도화한다.

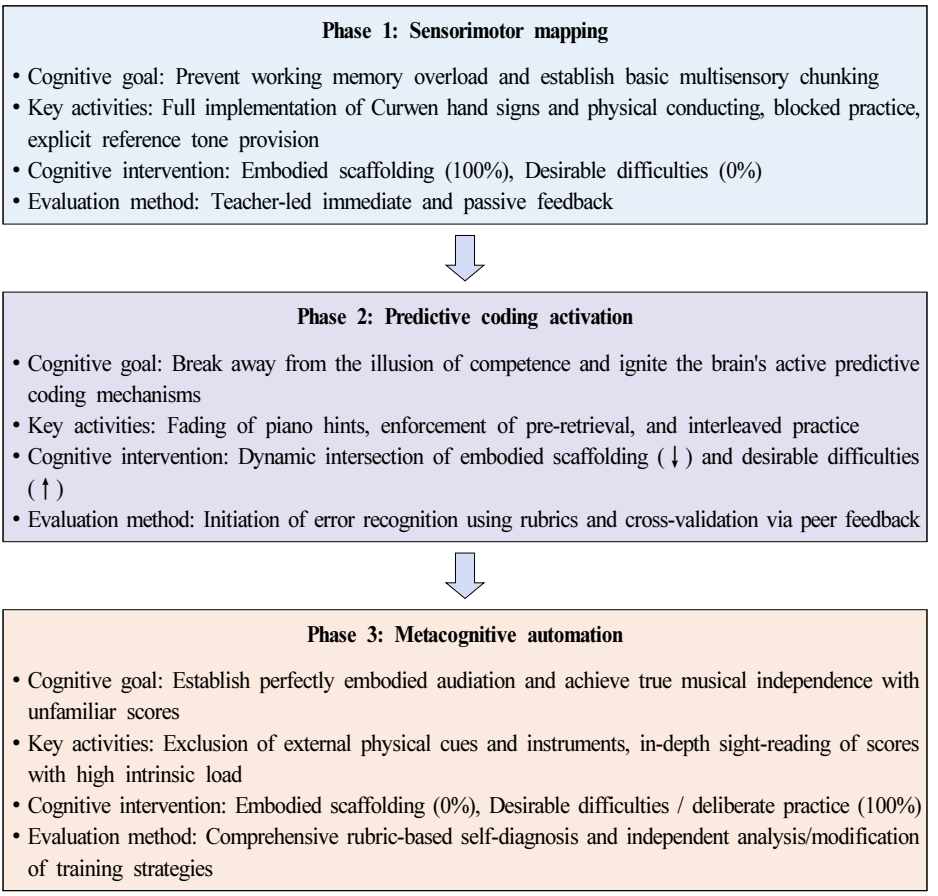
3) 제3국면: 메타인지 내면화 및 자가 피드백 자동화

최종 국면에 진입한 학습자는 고차원적인 음악적 스키마를 형성하고 교사나 악기로부터 벗어나 진정한 음악적 독립성을 확립하는 단계에 이른다. 바람직한 어려움 곡선이 신체화 비계 곡선을 완전히 압도하는 이 국면에서 본 모형은 외재적 비계를 0%로 소거하는 동시에, 학습자 스스로 인지 과정을 통제하는 메타인지 기반의 의도적 연습 비율을 100%로 극대화하여, 형성된 청각-운동 네트워크를 무의식의 영역으로 내면화하는 자립적 학습 구조를 완성한다.

첫째, 신체화 비계의 완전한 내면화와 운동 피질의 재활성화이다. 이 국면에서는 초기 학습을 지탱해주던 실제 커웬 수기호 동작이나 겉으로 드러나는 명시적 발화를 완전히 소거한다. 학습자는 오직 눈으로 악보를 보고 머릿속으로 소리를 상상하는 고도화된 내청과 내적 발화만을 수행한다. 흥미로운 점은, 외부의 신체 움직임을 멈추었음에도 불구하고 앞선 국면들에서 다중감각으로 깊게 청킹된 경험으로 인해, 학습된 선율을 떠올리는 순간에도 좌측 운동 피질과 중측두회가 무의식적으로 재활성화될 수 있다는 점이다(Wakefield & James, 2011). 즉, 실제 행동은 사라졌으나 뇌 내부에서는 소리의 운동학적 시뮬레이션이 자동화되는 완전한 신체화가 달성된다.

둘째, 루브릭을 활용한 자가 진단과 의도적 연습이다. CASIM의 최종 단계에서 교사의 역할은 “틀렸다”거나 “음정이 낮다”라고 지적해 주는 즉각적인 피드백 제공자에서 한 걸음 물러난다. 대신 학습자는 스스로 자신의 시창청음 수행을 녹음하여 객관적으로 모

니터링하고, 오류가 발생했을 때 그 원인을 스스로 진단한다. 학습자는 제공된 자가 진단 루브릭을 바탕으로 자신이 범한 예측 오류가 단순한 음고 해독 실수인지, 도약 진행에 따른 작업기억의 과부하인지, 혹은 조성감 상실인지를 스스로 분류하고 평가한다. 오류의 원인을 스스로 분석하고 전략을 수정하여 능동적으로 극복해 나가는 이 메타인지 과정이야말로 진정한 의미의 의도적 연습이다.



[Figure 2] Flowchart of CASIM educational application phases

지금까지 상술한 CASIM 모형의 제1국면에서 제3국면으로 이어지는 실천적 훈련 과정과 핵심 인지적 개입 메커니즘을 교육 현장에서 직관적으로 파악할 수 있도록 흐름도로 도식화하면 [Figure 2]와 같다. 이는 각 국면의 인지적 목표, 비계의 투입과 소거에 따른 주요 활동, 그리고 평가 방식의 전환 궤적을 압축적으로 보여준다.

다만 다인수 그룹 교육 현장에서는 개별 학습자의 작업기억 용량과 음악적 스키마

편차가 크므로, 국면 전환과 비계 소거 시기를 일률적으로 결정해서는 안 된다. 이에 개별 학습자의 국면 전환을 결정하는 정량적 기준을 제안한다. 학습자가 <Table 1>의 메타인지 자가 진단 루브릭에서 2개 과제 연속으로 전 영역 평균 3수준 이상을 달성할 경우 다음 국면으로의 진급(비계 소거 및 바람직한 어려움 투입)을 승인한다. 반면, 특정 영역에서 1.5수준 이하로 하락하여 인지 과부하 사각지대가 포착될 경우, 교사는 해당 학생에게만 수기호 비계를 일시적으로 다시 복원하여 인지 부하를 동적으로 낮춰주는 개별 미세 조정 프로토콜을 가동해야 한다. 이러한 동적 개인화 전략이 결합될 때, CASIM은 대규모 클래스 내에서도 개별 학습자에게 최적의 인지적 마찰(바람직한 어려움)을 제공하는 범용적 교육 프레임워크로서의 현장 실효성을 확보하게 된다.

4. 메타인지적 자가 진단 루브릭의 설계 및 운용

1) 루브릭 도입의 인지적 배경 및 목적

CASIM 모형의 최종 단계인 제3국면(메타인지적 내면화 및 자가 피드백 자동화기)에서 외부적 비계가 완전히 소거되었을 때, 학습자가 진정한 음악적 독립성을 확보하기 위해 의존해야 할 유일한 나침반은 스스로의 인지 과정을 통제하는 메타인지이다. 에릭슨과 하웰이 강조한 바와 같이, 기량 향상을 위한 의도적 연습이 성립하려면 수행 과정에 대한 치밀한 모니터링과 즉각적인 훈련 전략 수정이 필수적이다(Ericsson & Harwell, 2019).

기존 훈련에서 학습자는 결과 중심의 수동적 피드백에 의존하여, 자신의 오류를 모호한 정서적 차원으로 축소하는 경향이 있었다. 그러나 인지과학적 관점에서 시창 중 발생하는 오류는 뇌의 예측 부호화가 빗나갔거나, 내재적 인지부하가 작업기억의 한계를 초과했을 때 일어나는 명확한 신경학적 병목 현상이다.

따라서 학습자가 단기적인 인출 강도 상승에 속는 숙달의 환상에서 벗어나기 위해서는 스스로 인지적 병목 지점을 정밀하게 진단하고 교정할 수 있는 명시적인 척도가 필요하다. 이에 본 연구는 학습자가 스마트폰 등을 활용해 자신의 수행을 녹음 및 청취하며, 스스로 오류 원인을 분석하고 즉각적으로 훈련 전략을 수정할 수 있도록 돕는 ‘CASIM 시창청음 메타인지 자가 진단 및 전략 수정 루브릭’을 고안하여 제안한다.

2) 성취도 및 인지 상태 진단 척도

학습자는 시창청음 과제 수행 후, 단순히 ‘정답/오답’ 여부를 확인하는 것을 넘어 자신의 인지적 통제력과 신체화된 내청이 어느 수준에 도달했는지 <Table 1>의 4단계 척도를

기준으로 스스로 정량 및 정성 평가를 진행해야 한다.

<Table 1> CASIM sight-singing metacognitive self-diagnosis rubric

Evaluation domain	Level 1 (Cognitive overload / novice)	Level 2 (Partial chunking / developing)	Level 3 (Syntactic prediction / proficient)	Level 4 (Automation achieved / advanced)
Pitch & Sense of tonality	Completely loses the sense of the tonic when accidentals or leaps appear, leading to a collapse of tonality. Working memory is depleted due to decoding notes individually.	Frequent errors occur during leap intervals, but the sense of tonality can be recovered if an external reference tone (piano hint) is provided.	Maintains the tonal context even in unfamiliar scores. Partial pitch errors occur, but the overall flow of the harmonic progression is preserved.	Perfectly audiates the harmonic context of the score without external hints, retrieving accurate pitches. Predictive coding is fully automated.
Rhythm & Meter	Consumes all cognitive resources on pitch matching, causing rhythmic division to collapse and failing to maintain a basic pulse.	Errors occur in either pitch or rhythm when focusing on one component, exposing the limitations of concurrent dual-task processing.	Does not lose the basic sense of meter even in complex rhythmic division sections. Minor rhythmic errors are immediately recognized by the learner.	Perfectly chunks pitch and rhythm information multisensorily, enabling visual decoding and vocalization to occur simultaneously without delay.
Error management & Audiation	Becomes flustered immediately after making an error, stopping performance or habitually pressing piano keys to passively check the correct answer.	Recognizes the error and stops, but mindlessly sings again from the beginning without analyzing the cause, relying on mechanical repetition.	Even when recognizing an error during performance, does not stop and self-corrects within the meter through the tonal context.	Internal speech is activated immediately upon looking at the score; errors do not occur, or are unconsciously corrected the moment they happen.

이 4단계 척도는 단순히 수행의 결과적 점수를 매기기 위한 것이 아니라, 앞서 III장에서 V장에 걸쳐 고찰한 인지과학적 발달 궤적을 철저히 반영하여 설계되었다. 수준 1(인지 과부하)은 상향식 정보 처리 과정에서 개별 음표 해독에 작업기억 용량을 전면 소진하여 음악적 맥락 파악이 완전히 붕괴된 상태를 의미한다.

수준 2(부분적 청킹)는 다중감각 비계를 통해 인지부하가 일부 분산되었으나 여전히 외부 단서(피아노)에 의존하는 상태이다. 수준 3(통사적 예측)은 외부 힌트 없이도 뇌의 하향식 예측 부호화가 작동하여 부분적인 예측 오류가 발생하더라도 조성적 맥락을 스스로 복구할 수 있는 단계이며, 최고 단계인 수준 4(자동화 달성)는 청각-운동 네트워크의 완전한 신체화가 이루어져 인지적 병목 없이 내청이 무의식적으로 발현되는 상태를 규정한다. 즉, 이

루브릭은 학습자의 현재 뇌 정보 처리 메커니즘이 어느 발달 국면에 위치해 있는지를 가늠하고, 그에 맞는 비계 투입 혹은 소거를 결정짓는 인지과학적 진단 도구로 기능한다.

3) 진단 결과에 따른 자기 주도적 훈련 전략 수정

메타인지 훈련의 핵심은 단순히 점수를 매기는 것이 아니라, 진단된 인지적 오류의 원인을 파악하여 즉각적으로 자신의 훈련 방식에 바람직한 어려움이나 비계를 역동적으로 조율하는 데 있다. <Table 2>는 진단 결과 각 영역에서 1~2수준의 오류가 발생했을 때 학습자가 스스로 내릴 수 있는 CASIM 기반의 전략적 처방전이다.

<Table 2> Metacognitive self-diagnosis and training modification rubric

Key diagnostic result	Metacognitive cause analysis	Self-prescription and training strategy modification
Scoring level 1-2 in pitch & Sense of tonality (e.g., Deviation during specific leaps)	[Excessive intrinsic cognitive load & Predictive coding failure] Working memory is overloaded due to processing notes individually, and the brain's predictive model (prior) for the next note has collapsed.	[Reintroduction of embodied scaffolding] Isolate the failed leap section and actively use Curwen hand signs to distribute cognitive load to visual and sensorimotor channels. [Reinforcement of pre-retrieval] Strongly audiate the main chords (I-IV-V-I) internally at least three times to establish a tonal anchor before checking with the piano, then vocalize.
Scoring level 1-2 in rhythm & Meter (e.g., Collapse of tempo)	[Multiple information processing bottleneck] Extraneous information overload occurs due to the simultaneous demand for visual decoding, pitch generation, and meter maintenance.	[Load reduction through selective attention] Minimize intrinsic load by ignoring pitch and reading only the rhythm perfectly using a single syllable (e.g., "Tah"). [Embodied scaffolding] Strongly reintroduce physical conducting or foot-tapping to transfer the burden of rhythmic computation to the motor cortex.
Scoring level 1-2 in error management & Audiation (e.g., Mindless repetition)	[Illusion of competence & Active retrieval failure] Mistaking a short-term increase in retrieval strength for true learning, showing a tendency to unconsciously avoid cognitive friction.	[Enforcement of deliberate practice] Completely ban the use of the piano and conduct practical transfer training by singing to the end without stopping, even if errors occur. [Introduction of interleaved and spaced practice] Rearrange the training schedule by randomly mixing the failed measures with pieces of different keys and meters (interleaved practice).

4) 현장 적용 방안 및 기대 효과

본 모형의 루브릭은 교육 현장에서 연습 일지의 핵심 도구로 활용된다. 학습자는 자신의 수행 과정을 녹음 및 청취함으로써 인지 상태를 객관화하고 자체적인 처방을 내리며, 교사는 이를 교차 검증하는 상위 피드백을 제공하여 훈련의 안정성을 확보한다.

이러한 메타인지 자가 진단 루브릭의 도입은 시창청음 훈련의 패러다임을 근본적으로 전환하는 계기가 된다. 학습자는 더 이상 정답 도출을 위해 교사의 지시나 외부 음원에 의존하는 수동적 객체가 아니다. 대신 자신의 뇌가 겪는 인지부하를 실시간으로 모니터링하고, 예측 오류(failure)를 뇌신경망 재구축의 기회로 수용하며 훈련 전략을 스스로 조율하는 능동적 인지 조절자로 성장하게 된다. 결과적으로 이 루브릭은 CASIM 모형이 이론적 가설에 머무르지 않고, 교육 현장에서 메타인지적 훈련을 체계적으로 실행하고 운용할 수 있는 실천적 토대를 제공하는 핵심 기제이다.

5. CASIM 기반 15주 동적 커리큘럼 및 레슨 플랜 시나리오

1) 커리큘럼 설계의 주안점 및 기본 방향

본 연구는 CASIM 모형의 실천적 로드맵으로서 대학 1학기(15주) 정규 커리큘럼 가상 시나리오를 제시한다. 본 커리큘럼은 악보의 물리적 난이도 통제와 신체화 비계의 점진적 소거뿐만 아니라, III장에서 규명한 수면 공고화 및 표적 기억 재활성화 원리를 실전 연습 스케줄링(수업 직후 및 수면 전 청각 단서 자율 청취 등)과 유기적으로 연계하여 인지적 마찰을 동적으로 조율하는 데 주안점을 둔다.

2) 15주 동적 인지 개입 스케줄 가이드라인

<Table 3>은 인지부하 이론의 비계 소거 원리가 시창청음 교육 현장에서 어떻게 구현될 수 있는지 보여주는 개념적 시각화 모델이다. 따라서 본 시나리오에 제시된 신체화 비계와 바람직한 어려움의 개입 비율(%)은 고정된 절대적 수치가 아닌 부차적인 예시적 지표이며, CASIM 모형의 동적 조율 궤적을 직관적으로 시각화하고 현장 적용을 돕기 위해 고안된 개념적 가이드라인이자 발견적 척도이다.

학기 중간인 8주 차를 임계 교차점으로 설정한 것은 과다놀리(M. Guadagnoli)와 리(T. Lee)의 도전 지점 프레임워크와 비고츠키(L. Vygotsky)의 근접발달영역(ZPD) 이론에 근거한다(Guadagnoli & Lee, 2004; Vygotsky, 1978). 약 7주간 다중감각 비계를 활용해 선율

<Table 3> 15-week curriculum scenario based on the CASIM model

Week	Training phase	Cognitive intervention dial setting	Educational goals & Core training activities	Metacognition & Evaluation
Week 1-3	Phase 1 (Sensorimotor mapping phase)	[Embodied scaffolding] 100% [Desirable difficulties] 0%	[Goal] Prevent working memory overload and embody basic pitch sense. [Activity] Explicitly provide reference tones and progressions via piano. Mandate Curwen hand signs and physical conducting for all notes. Focus on blocked practice with short stepwise progressions within a single key.	Immediate and corrective teacher-led feedback provided.
Week 4-7	Phase 2 − Early (Predictive coding activation)	[Embodied scaffolding] 60% [Desirable difficulties] 40%	[Goal] Break away from the illusion of competence and induce active neural prediction. [Activity] Gradually reduce the range of hand sign movements. Provide piano hints only for the first note. Introduce leap intervals of a third or more and increase the difficulty of rhythmic division.	Teacher feedback begins to decrease. Induce students to independently recognize error sections.
Week 8	Midterm check (Critical intersection point)	[Embodied scaffolding] 50% [Desirable difficulties] 50%	[Goal & Evaluation] Attempt to sight-sing an 8-measure melody by only looking at the score without piano hints or hand signs. Conduct midterm evaluation by checking if an initial accuracy of 75-80% is achieved and if 'self-correction' abilities are manifested.	If achieved, completely fade scaffolding from Week 9. If not met, partially maintain scaffolding.
Week 9-12	Phase 2 − Late (Chunking and transfer)	[Embodied scaffolding] 20% [Desirable difficulties] 80%	[Goal] Maximize cognitive friction and strengthen universal chunking abilities. [Activity] Fully introduce interleaved practice by randomly mixing major/minor keys, various meters, and leap progressions. Enforce 'pre-retrieval' by requiring students to audiate internally before any piano reference is given. Apply post-class spaced review and pre-sleep audiation for sleep consolidation.	Full implementation of the 'Metacognitive self-diagnosis rubric' (from Section VI.4). Conduct peer evaluation concurrently.
Week 13-15	Phase 3 (Metacognitive automation phase)	[Embodied scaffolding] 0% [Desirable difficulties / Deliberate practice] 100%	[Goal] Establish perfect audiation and achieve true musical independence. [Activity] External cues 0%. Independently analyze and sight-sing unfamiliar scores (sight-reading) with high intrinsic load, such as atonal pieces or frequent modulations, using only internal speech. Consolidate long-term memory through systematic spaced practice and pre-sleep TMR (targeted memory reactivation) protocols.	[Final evaluation] Final evaluation is replaced by the student recording their own sight-reading performance and submitting a self-prescription using the rubric.

Note. The cognitive intervention percentages (%) presented in this table are not based on empirical statistical data; rather, they serve as a heuristic measure and a conceptual guideline to visualize the application of cognitive load theory's 'scaffolding fading' principle within an educational environment.

표상의 기초적인 청킹과 청각-운동 매핑이 무의식 수준에 안착하면, 최적의 학습 촉진을 위한 바람직한 어려움의 지점 역시 이동해야 한다. 따라서 이 시기를 기점으로 외부적 비계를 과감히 소거하고 내적 예측 오류를 유도하는 인지적 마찰을 제공하는 것이, 학습자의 근접발달영역을 다음 단계로 확장하는 최적의 도전 지점이 된다. 실제 교육 현장에서 이 비율은 학습자의 개별 작업기억 용량과 초기 숙련도에 따라 교사에 의해 탄력적으로 미세 조율되어야 하며, 인지적 개입의 최적화된 통계적 황금비율을 도출하는 것은 향후 실증 연구의 과제로 남겨둔다.

3) 세부 레슨 플랜 프로토타입 (10주 차 예시)

전체 커리큘럼 중 임계 교차점을 갓 통과하여 인지적 마찰이 본격적으로 투입되는 10주 차(제2국면 후기)의 50분 수업을 가정한 세부 레슨 플랜이다. 이 시기에는 교사의 수동적 주입을 전면 차단하고, 학습자의 뇌가 스스로 예측 오류를 발생시키고 해결하도록 유도하는 데 초점을 맞춘다. <Table 4>에 제시된 세부 교수-학습 활동은 본 연구가 제안한 핵심 이론들을 실전 교육 현장의 언어로 번역한 것이다.

수업은 지난주 과제의 지연 인출(10분), 세 악보를 무작위로 교차 제시하는 사전 인출 시창(20분), 루브릭 기반 동료 진단(15분), 개별 처방 작성(5분)의 네 블록으로 구성된다. 각 블록은 앞서 논의한 분산 학습, 교차 학습과 예측 부호화, 메타인지 모니터링, 의도적 연습에 순서대로 대응한다.

<Table 4> Week 10 lesson plan: Interleaved practice and pre-retrieval

Classification / Time	Training phase / Item	Cognitive mechanisms & Detailed teaching/Learning activities
Learning objective	Transferability & Interleaved practice	• Maximize cognitive friction and advance universal chunking abilities (Maximizing interleaved practice & Pre-retrieval).
Materials required	Equipment & Educational resources	• Smartphone voice recorder, CASIM Metacognitive self-diagnosis rubric Sheet. • Three 4-measure sight-singing scores (Score A: G Major, Leap-oriented; Score B: d minor, Stepwise-oriented; Score C: F Major, Mixed meter-oriented).

<Table 4> Continued

Classification / Time	Training phase / Item	Cognitive mechanisms & Detailed teaching/Learning activities
0-10 min (10 mins)	Combating forgetting & Spaced practice	[Delayed retrieval practice of previous week's assignment] • Sight-sing one of the challenging melodies from Week 8 or Week 9 from memory without looking at the score. • Teacher intervention: Do not play any reference notes on the piano. Even if the student makes an error due to forgetting, maintain a 'Desirable silence' for 1-2 minutes, encouraging the learner to actively recall structural cues and reconstruct the musical schema from its foundation.
10-30 min (20 mins)	Pre-retrieval & Interleaved practice	[Randomized interleaved sight-Singing of scores A, B, and C] • Present scores in a randomized order (e.g., A → C → B) to prevent mechanical repetition within a single key, forcing the brain into a process of 'discriminative contrast.' • Enforced pre-retrieval: Strictly prohibit vocalization immediately upon receiving the score. Mandate 30 seconds of internal speech and audiation using only visual tracking. • Teacher intervention: Withhold the piano during the first attempt; provide the tonic only afterwards for self-verification. Even if an error occurs during singing, do not interrupt or provide the correct answer; strongly encourage the student to sing through to the end of the phrase.
30-45 min (15 mins)	Metacognitive self-diagnosis	[Rubric-based objective monitoring and peer feedback] • Pair up in groups of two to record each other's interleaved sight-singing performance using smartphones. • Listen to the recordings together and utilize the 'CASIM self-diagnosis rubric' to independently analyze, categorize, and objectively evaluate the root causes of errors (e.g., 'working memory overload' vs. 'rhythmic information processing bottleneck'). • Teacher intervention: Refrain from directly pointing out mistakes (e.g., "Where did you go wrong?"). Instead, pose metacognition-stimulating questions such as, "What is the cognitive science principle behind losing the sense of tonality during this specific leap progression?"
45-50 min (5 mins)	Strategy modification & Assignment	[Deliberate practice via individual self-prescriptions] • Based on the prior rubric diagnosis, students write and submit their own training strategy modifications to address their specific vulnerabilities. (e.g., "Since the predictive model collapsed during the d minor progression in score B, I will temporarily reintroduce the downward curve of 'Curwen hand signs' as scaffolding in next week's prescription training to distribute the cognitive load.") • The teacher cross-validates the submitted prescription and assigns the final individual spaced practice tasks meticulously designed to link the sleep consolidation and TMR principles to actual practice (e.g., recommending specific intervals between sessions, such as a light 10-minute review within 6 hours post-class, internal audiation right before sleep, and the first retrieval attempt the next morning).

첫째, 조성과 박자가 다른 악보 A, B, C를 무작위로 섞어서 부르게 하는 '교차 학습(interleaved practice)'은 뇌에 의도적인 인지적 마찰을 일으키는 '바람직한 어려움'의 실천적 적용이다. 이는 단일 조성에 익숙해져 발생하는 숙달의 환상을 깨고, 뇌가 매번 새로운 음악적 스키마를 재구성하도록 강제함으로써 범용적인 청킹 능력을 극대화한다.

둘째, 피아노의 도움 없이 악보만 보고 30초간 속으로 소리를 상상하게 하는 사전 인출 활동은 뇌의 능동적 예측 부호화 기제를 강제로 점화하는 장치이다. 이 과정을 통해 학습자가 불완전하게 예측한 내적 표상과 실제 발성된 소리 간의 간극, 즉 신경학적 예측 오류가 발생하게 되며, 이어지는 루브릭 기반의 동료 피드백을 통해 이 오류의 원인을 메타인지적으로 분석하고 교정함으로써 진정한 의미의 신경망 가소성(학습)이 유도되는 것이다.

4) 현장 적용 시나리오의 학술적 의의

이상의 15주 가상 커리큘럼 및 세부 레슨 플랜은 CASIM 모형이 추상적 담론을 넘어 대학 강의실이라는 실제적 맥락에 적용 가능한 실천적 프로토타입임을 보여준다.

나아가 본 연구가 실생활의 강의 환경을 반영하여 설계한 과제 시퀀싱(사전 인출, 교차 학습, 자가 루브릭 진단)은 실험실 통제를 넘어 실제 교육 현장의 제약 조건을 극복하는 생태학적 타당성을 확보하고 있다. 이는 향후 진행될 다양한 시창청음 실증 연구에서 실험 집단에 처치할 표준화된 독립변인의 프로토콜 역할을 수행할 수 있어, 음악 교육학 분야 내 인지과학 기반 실험 연구의 방법론적 지평을 넓히는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

Ⅶ. 결론 및 제언

본 연구는 인지과학적 관점에서 시창청음 훈련이 단순한 모방을 넘어 작업기억, 암묵적 통계 학습, 예측 부호화, 신체화 메커니즘이 총동원되는 고도의 인지-신경학적 정보 처리 과정임을 구조화하였다. 기존의 기계적 반복 위주의 훈련 방식은 학습자의 작업기억을 혹사시킬 뿐, 장기적인 음악적 스키마 형성으로 이어지지 못하는 근본적 한계를 지닌다.

이를 극복하기 위해 제안된 인지-적응형 시창청음 통합 훈련 모형(CASIM)은 신체화 비계를 활용한 인지부하 분산(제1국면), 비계 소거와 바람직한 어려움 투입을 통한 예측 모델 고도화(제2국면), 메타인지를 통한 완전한 내면화(제3국면)의 역동적 과정을 하나의 연속선상에 구현하였다.

본 연구가 제안하는 CASIM 모형의 핵심 이론적 기둥들은 단순히 서구 인지과학 이론에서 도출된 추상적 개념에만 의존하지 않는다. 이들은 국내 음악 교육 연구 공동체 내에서 이미 구체적인 교수학습적 표현과 실증적 타당성을 검증받아 온 흐름이다. 현재 한국 고등 교육 기관의 시창청음 교육이 직면한 현장실무적 한계(Ham, 2016; Park, 2022)는 CASIM의 적응형 설계를 도출하는 직접적인 모티브가 되었다. 또한, 국내 인지부하 관리 및 메타인지 전략 문헌은 모형의 난이도 조율 알고리즘과 성찰 프로토콜의 토대가 되었으며(Bae, 2024; Kim, 2005; Na, 2008), 달크로즈와 코다이의 체화된 학습 전통은 CASIM의 핵심인 수기호 및 신체 제스처 인터페이스 설계에 강력한 당위성을 부여한다(Kim, 2014; Yang, 2022). 이러한 맥락에서 CASIM 모형은 음악 교육의 보편적 난제에 대응하는 동시에, 한국 음악 교육학계의 실증적・이론적 담론 위에 견고하게 뿌리를 내린 한국적 맥락의 적응형 모델로서 실천적 의의를 지닌다.

학술적인 측면에서 CASIM 모형은 암묵적 학습, 예측 부호화, 바람직한 어려움 등의 이론을 유기적으로 통합한 결과물이다. 본 연구의 학술적 의의는 신체화 비계(하향)와 인지적 마찰(상향)이라는 두 패러다임을 연속적인 시간 축 위에서 교차시키고, 훈련의 주도권이 교사의 안내에서 학습자 뇌의 능동적 정보 처리로 전환되는 임계 교차점을 구조화하여, 기존의 분절적 교수법을 보완할 동적 교차 매트릭스를 단일 프레임워크로 구체화했다는 점에 있다.

서론에서 살펴본 바와 같이 상대음감 학습자는 음 식별 과정에서 작업기억 관련 네트워크를 더 강하게 동원하며(Leipold et al., 2019), 이러한 부담은 훈련을 통해 경감될 수 있다. 나아가 전통적으로 절대음감(AP)은 유아기 임계기 이후에는 습득할 수 없는 선천적 재능으로 여겨져 왔으나, 밴 헤저 외는 일부 성인 학습자가 훈련을 통해 절대음감에 준하는 음고 범주 판단 능력을 습득할 수 있음을 보고하였다(Van Hedger et al., 2019). 이는 인지부하를 통제하고 예측 부호화를 자극하며 메타인지적 피드백을 수반하는 의도적 연습이 엄격하게 적용될 경우, 정교하게 설계된 명시적 지각 훈련이 연령의 제약을 넘어 성인의 지각 체계에도 기능적 재조직을 유도할 수 있음을 시사한다. 따라서 본 연구의 CASIM 모형은 유전적 재능결정론에서 벗어나 성인 음악 교육의 기능적 적응 잠재력을 인지과학적으로 설명하고, 후천적 능력 개발을 위한 방법론적 초석을 다졌다는 점에서 의의가 있다.

따라서 음악 교육 현장은 관행적 반복에서 벗어나 과학적 패러다임으로 전환되어야 하며, 교사는 단순한 정답 제시자가 아닌 작업기억 부하를 진단하고 인지적 마찰을 설계・투입하는 인지적 촉진자 역할을 수행해야 한다. 특히 음악 고등 교육 과정의 심화 훈련에 초점을 맞춘 본 모형의 도입은, 과학적 근거에 기반한 시창청음 훈련이 단지 악보를 해독하는 기능적 숙달을 넘어 학습자 스스로 메타인지를 통해 능동적으로 오류를 자가 수정

하도록 이끌어 줄 것이다.

마지막으로, 본 연구는 대규모 경험적 데이터 수집 및 통계적 검증에 앞서 시창청음 훈련의 인지-신경학적 프레임워크를 정립하는 탐색적・이론적 연구로서의 한계를 지닌다. 특히 본 연구가 제안한 메타인지 자가 진단 루브릭은 이론적 근거 위에서 고안된 것으로, 내용 타당도 검토와 평정자 간 신뢰도, 기존 시창청음 성취도와의 준거 관련 타당도가 아직 확보되지 않았다. 앞서 지적한 내청 측정의 난점을 고려할 때, 이 루브릭 역시 후속 연구를 통한 타당화 절차를 반드시 거쳐야 한다. 그러나 본 연구에서 도출된 CASIM 동적 교차 매트릭스와 자가 진단 루브릭, 그리고 15주 커리큘럼 시나리오는 향후 다수의 전공생 및 비전공생을 대상으로 하는 양적 연구와 fMRI/EEG 등을 활용한 신경과학적 실험을 위한 구체적인 가설 검증 프로토타입과 견고한 이론적 토대를 제공했다는 점에서 그 학술적 의의가 깊다. 향후 전공생 집단을 대상으로 실험군과 대조군을 분리한 사전-사후 통제 집단 설계 기반의 실증 연구를 통해 모형의 현장 타당성과 인지적 개입 비율의 최적 통계치를 정량적으로 입증해야 할 것이다.

References

Arco, N. M. (2026). *Using eye tracking to explore how auditory-visual chunking modulates visual search strategies in expert musicians in the presence of auditory interference*. Doctoral dissertation, University at Albany, State University of New York. https://scholarsarchive.library.albany.edu/etd/351

Bae, S. Y. (2024). Cognitive load management strategies in piano education. *Journal of Music Education Science*, (61), 405-430. https://doi.org/10.30832/JMES.2024.61.405

Baker, D. J. (2019). *Modeling melodic dictation*. Doctoral dissertation, Louisiana State University. https://doi.org/10.31390/gradschool_dissertations.4960

Basiński, K., Quiroga-Martinez, D. R., & Vuust, P. (2023). Temporal hierarchies in the predictive processing of melody: From pure tones to songs. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 145*, Article 105007. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.105007

Bjork, R. A., & Bjork, E. L. (1992). A new theory of disuse and an old theory of stimulus fluctuation. In A. F. Healy, S. M. Kosslyn, & R. M. Shiffrin (Eds.), *From learning processes to cognitive processes: Essays in honor of William K. Estes* (Vol. 2, pp. 35-67). Lawrence Erlbaum Associates.

Blanco, A. D., Tassani, S., & Ramirez, R. (2021). Effects of visual and auditory feedback in

violin and singing voice pitch matching tasks. *Frontiers in Psychology, 12*, Article 684693. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.684693

Bogunović, B., & Vujović, I. (2012). Metacognitive strategies in learning sight-singing. *Psihološka Istraživanja, 15*(2), 115-133. https://doi.org/10.5937/psistra1202115B

Boisvert, S. (2019). Vocal accuracy in preschool children: Are the Curwen hand signs really useful? *Research & Issues in Music Education, 15*(1), Article 3.

Chenette, T., Davis, S., & Kleppinger, S. V. (2022). A critical review of current aural skill materials and pedagogical practices. *Journal of Music Theory Pedagogy, 36*, Article 6. https://doi.org/10.71156/2994-7073.1410

Cornelius, N., & Brown, J. L. (2020). The interaction of repetition and difficulty for working memory in melodic dictation tasks. *Research Studies in Music Education, 42*(3), 368-382. https://doi.org/10.1177/1321103X18821194

Ericsson, K. A., & Harwell, K. W. (2019). Deliberate practice and proposed limits on the effects of practice on the acquisition of expert performance: Why the original definition matters and recommendations for future research. *Frontiers in Psychology, 10*, Article 2396. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02396

Fabbri, M., Occhionero, M., Tonetti, L., Costa, M., Giudetti, F., Rasch, B., & Natale, V. (2025). Music cue during slow wave sleep improves visuospatial memory consolidation. *Journal of Sleep Research, 34*(3), e14372. https://doi.org/10.1111/jsr.14372

Frey-Clark, M. (2017). Pitch systems and Curwen hand signs: A review of literature. *Update: Applications of Research in Music Education, 36*(1), 59-65. https://doi.org/10.1177/8755123316689812

Gao, C., Fillmore, P., & Scullin, M. K. (2020). Classical music, educational learning, and slow wave sleep: A targeted memory reactivation experiment. *Neurobiology of Learning and Memory, 171*, Article 107206. https://doi.org/10.1016/j.nlm.2020.107206

Gelding, R. W., Thompson, W. F., & Johnson, B. W. (2019). Musical imagery depends upon coordination of auditory and sensorimotor brain activity. *Scientific Reports, 9*, Article 16823. https://doi.org/10.1038/s41598-019-53260-9

Gordon, E. E. (1989). Audiation, music learning theory, music aptitude, and creativity. *Suncoast Music Education Forum on Creativity*, 75-81.

Grey, A. N. (2020). Rote instruction in secondary instrumental music classrooms: A review of the literature. *Update: Applications of Research in Music Education, 39*(1), 59-69. https://doi.org/10.1177/8755123320909149

Gu, J., Zhang, H., Liu, B., Li, X., Wang, P., & Wang, B. (2019). An investigation of the

neural association between auditory imagery and perception of complex sounds. *Brain Structure and Function, 224*(8), 2925-2937. https://doi.org/10.1007/s00429-019-01948-z

Guadagnoli, M. A., & Lee, T. D. (2004). Challenge point: A framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *Journal of Motor Behavior, 36*(2), 212-224. https://doi.org/10.3200/JMBR.36.2.212-224

Ham, I. A. (2016). A study on music teachers' perceptions of preservice music teacher education of sight singing and ear training. *Journal of Music Education Science*, (29), 157-182.

Herholz, S. C., Halpern, A. R., & Zatorre, R. J. (2012). Neuronal correlates of perception, imagery, and memory for familiar tunes. *Journal of Cognitive Neuroscience, 24*(6), 1382-1397. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00216

Jaques-Dalcroze, É. (1921). *Rhythm, music and education* (H. F. Rubinstein, Trans.). G. P. Putnam's Sons.

Jentschke, S., Friederici, A. D., & Koelsch, S. (2014). Neural correlates of music-syntactic processing in two-year-old children. *Developmental Cognitive Neuroscience, 9*, 200-208. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.04.005

Katz, J. J., & Wiseheart, M. (2025). Spaced learning and melodic memory. *Psychology of Music*, Advance online publication. https://doi.org/10.1177/03057356251401906

Kicklighter, K. M. (2025). *Examining the role of metacognitive strategies in sight-reading instruction: Insights from middle school chorus teachers*. Doctoral dissertation, Liberty University. https://digitalcommons.liberty.edu/doctoral/7849

Kim, H. S. (2014). Action research for sight singing and ear training program based on multiple intelligence theory. *Korean Journal of Research in Music Education, 43*(4), 115-139.

Kim, I. Y. (2005). Implications of music cognition and self-regulated learning in music learning. *Korean Journal of Research in Music Education, 28*, 1-24.

Kodály, Z. (1974). *The selected writings of Zoltán Kodály*. Boosey & Hawkes.

Krashen, S. (1982). *Principles and practice in second language acquisition*. Pergamon Press.

Kumar, S., Sedley, W., Nourski, K. V., Kawasaki, H., Oya, H., Patterson, R. D., Howard, M. A., Friston, K. J., & Griffiths, T. D. (2011). Predictive coding and pitch processing in the auditory cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(10), 3084-3094. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00021

Leipold, S., Brauchli, C., Greber, M., & Jäncke, L. (2019). Absolute and relative pitch processing in the human brain: neural and behavioral evidence. *Brain Structure and Function, 224*(5), 1723-1738. https://doi.org/10.1007/s00429-019-01872-2

Li, W., Manoharan, P., Cui, X., Liu, F., Liu, K., & Dai, L. (2023). The effects of musical feedback training on metacognition and self-directed learning. *Frontiers in Human Neuroscience, 17*, Article 1304929. https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1304929

Macnamara, B. N., Hambrick, D. Z., & Oswald, F. L. (2014). Deliberate practice and performance in music, games, sports, education, and professions: A meta-analysis. *Psychological Science, 25*(8), 1608-1618. https://doi.org/10.1177/0956797614535810

Maes, P.-J. (2016). Sensorimotor grounding of musical embodiment and the role of prediction: A review. *Frontiers in Psychology, 7*, Article 308. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00308

Martin, S., Mikutta, C., Leonard, M. K., Hungate, D., Koelsch, S., Shamma, S., Chang, E. F., Millán, J. d. R., Knight, R. T., & Pasley, B. N. (2018). Neural encoding of auditory features during music perception and imagery. *Cerebral Cortex, 28*(12), 4222-4233. https://doi.org/10.1093/cercor/bhx277

Myers, J. C., Mock, J. R., & Golob, E. J. (2020). Sensorimotor integration can enhance auditory perception. *Scientific Reports, 10*, Article 1496. https://doi.org/10.1038/s41598-020-58447-z

Na, J. Y. (2008). Developing a meta-cognitive learning strategy for learning of music education theory. *Nangman Music, 20*(2), 123-150.

Nemeth, L., Osterberg, J., & Lipowsky, F. (2025). Tailoring interleaved practice: Does adaptive sequencing boost the interleaving effect? *Learning and Individual Differences, 124*, Article 102804. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2025.102804

Park, Y. J. (2022). A study of teaching and learning strategies for a creative sight-singing and ear-training program. *The Journal of the Convergence on Culture Technology, 8*(3), 359-365. https://doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.3.359

Platz, F., Kopiez, R., Lehmann, A. C., & Wolf, A. (2022). Measuring audiation or tonal memory? Evaluation of the discriminant validity of Edwin E. Gordon's "Advanced Measures of Music Audiation". *Music & Science, 5*, 1-16. https://doi.org/10.1177/20592043221105270

Pomerleau-Turcotte, J., Moreno Sala, M. T., Dubé, F., & Vachon, F. (2021). Does cognitive load differ among sight-singers? An exploratory study using pupillometry and interviews. In *Proceedings of the Future Directions of Music Cognition International Conference* (pp. 159-163). Ohio State University.

Poulin-Charronnat, B., & Tillmann, B. (2024). Implicit statistical learning of language and music. *L'Année Psychologique, 124*(3), 409-434. https://doi.org/10.3917/anpsy1.243.0409

Pyke, W., Lunau, J., & Javadi, A.-H. (2025). Does difficulty moderate learning? A comparative analysis of the desirable difficulties framework and cognitive load theory. *Quarterly*

Journal of Experimental Psychology, 78(10), 2181-2195. https://doi.org/10.1177/17470218241308143

Reybrouck, M., & Schiavio, A. (2024). Music performance as knowledge acquisition: A review and preliminary conceptual framework. *Frontiers in Psychology, 15*, Article 1331806. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1331806

Rohrmeier, M., & Koelsch, S. (2012). Predictive information processing in music cognition: A critical review. *International Journal of Psychophysiology, 83*(2), 164-175. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.12.010

Rohrmeier, M., & Rebuschat, P. (2012). Implicit learning and acquisition of music. *Topics in Cognitive Science, 4*(4), 525-553. https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01223.x

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science, 12*(2), 257-285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*(3), 251-296. https://doi.org/10.1023/A:1022193728205

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review, 31*(2), 261-292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

Telesco, P., Karaca, M., Ewing, H., Gilbert, K., Lipitz, S., & Weinstein-Jones, J. (2021). Does retrieval practice enhance memorization of piano melodies? *College Music Symposium, 61*(2), 1-23. https://doi.org/10.18177/sym.2021.61.sr.11525

Tillmann, B., Justus, T., & Bigand, E. (2008). Cerebellar patients demonstrate preserved implicit knowledge of association strengths in musical sequences. *Brain and Cognition, 66*(2), 161-167. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.005

Van Hedger, S. C., Hogstrom, A., Palmer, C., & Nusbaum, H. C. (2015). Sleep consolidation of musical competence. *Music Perception, 33*(2), 163-178. https://doi.org/10.1525/mp.2015.33.2.163

Van Hedger, S. C., Heald, S. L. M., & Nusbaum, H. C. (2019). Absolute pitch can be learned by some adults. *PLoS ONE, 14*(9), Article e0223047. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223047

Vuust, P., & Witek, M. A. G. (2014). Rhythmic complexity and predictive coding: A novel approach to modeling rhythm and meter perception in music. *Frontiers in Psychology, 5*, Article 1111. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01111

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*

(M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Harvard University Press.

Wakefield, E. M., & James, K. H. (2011). Effects of sensori-motor learning on melody processing across development. *Cognition, Brain, Behavior: An Interdisciplinary Journal, 15*(4), 505-534.

Wellmann, M., & Skillicorn, A. T. (2024). Research-to-resource: Introducing retrieval practice in jazz pedagogy. *Update: Applications of Research in Music Education, 42*(2), 5-13. https://doi.org/10.1177/87551233221146282

Yang, J. M. (2022). Analysis of trends on the research about Kodály methods. *The Korean Journal of Arts Education, 20*(1), 51-73. https://doi.org/10.23317/kaae.2022.20.1.004