

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2025.33.4.018>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

대한민국 비행 교육 현장에 Universal Design for Learning (UDL) 적용 방안 연구

- 학습자 중심 교육 패러다임 전환과 지속 가능한 조종사 양성을 위한 제언 -
안기준

A Study on the Application of Universal Design for Learning (UDL) in Korean Flight Education

- Proposals for a Learner-Centered Educational Paradigm Shift and Sustainable Pilot Training -

Gi-Joon Ahn

ABSTRACT

This paper proposes integrating the universal design for learning (UDL) framework into flight training to address the critical global and domestic pilot shortage. Current systems in Korea suffer from high trainee attrition due to rigid, instructor-centric methods that neglect diverse learning needs and increase cognitive load. Our proposed UDL-based model, incorporating cognitive load theory (CLT) and advanced VR/AI simulation, optimizes learning by providing multiple means of representation, action/expression, and engagement. This approach aims to reduce extraneous cognitive load, foster germane cognitive load, and boost trainee motivation and self-regulation. The study outlines a comprehensive roadmap for curriculum integration, instructor development, and pedagogical evaluation. This research offers a novel model for high-stakes aviation training, promising reduced attrition, enhanced learning efficiency, and the development of adaptable pilots, alongside policy recommendations for national UDL integration in aviation education.

Key Words : Cognitive Load Theory (인지 부하 이론), Flight Education (비행 교육), Learner-Centered Training (학습자 중심 훈련), Pilot Retention (조종사 유지), Sustainable Aviation Training (지속 가능한 항공 훈련), Universal Design for Learning (보편적 학습 설계)

1. 서 론

조종사 인력 부족 사태

1.1 연구 배경 및 문제 제기: 글로벌 및 국내

21세기 항공 산업은 급격한 성장을 경험하고 있으며, 이는 전례 없는 수준의 조종 인력 수요를 창출하고 있다(Valenta, 2018). Boeing(2022, 2025)에 따르면, 2015년 이후 전 세계적으로 매년 약 8,000명의 신규 조종사가 필요할 것으로 예측되며, 향후 20년 동안 전 세계 상업용 항공기 운항을 위해 약 66만 명의 신규 조종사가 필요할 것으로 예측되지만, 이러한 전 세

Received: 17. Oct. 2025, Revised: 24. Nov. 2025,

Accepted: 3. Dec. 2025

* 극동대학교 항공운항학과 조교수

연락처자 E-mail : yurojun@naver.com

연락처자 주소 : 충북 음성군 감곡면 대학길 76-32, 극동대
학교 공산기념관 304호

계적인 인력 수요에 비해 국내의 비행 훈련생의 높은 이탈률은 조종사 공급망 구축에 큰 걸림돌이 되고 있다(Lutte, 2014). 대한민국 항공 시장 역시 코로나19 팬데믹 이후 회복세가 뚜렷하며, 국내 항공사들은 2024년 8월까지 전년 대비 8% 증가한 채용 규모를 기록하는 등, 조종 인력 확보가 시급한 과제로 부상하였으며, 이러한 수요 증가에도 불구하고, 현재의 조종사 양성 시스템은 인력 공급망을 불안정하게 만드는 구조적 비효율성에 직면해 있다(Tchoutan, 2024). 특히, 비행 훈련 과정에서의 높은 훈련생 이탈률은 조종사 공급 부족을 심화시키는 주요 요인 중 하나로(Pik, 2022). 교육 시스템의 근본적인 문제점은 교육 실패의 원인을 '훈련생' 개인이 아닌, '교육 환경 자체의 설계'에서 찾아 장벽을 제거해야 한다는 관점에서 접근해야 한다는 필요성이 대두된다(Tawil and Locatelli, 2015).

1.2 대한민국 비행 교육 시스템의 구조적 비효율성 및 높은 훈련생 이탈률 진단

현재 국내 비행 교육은 주로 교관 중심의 전통적인 교수 방식에 의존하는 경향이 고착화되어 있다(Lee et al., 2021). 이는 일반적인 지식 전달과 획일적인 반복 기술 훈련에 중점을 두며, 항공종사자 자격별 훈련기준에 따른 필수 이수 시간(학과 180시간, 실기 35시간 등)을 충족하는 데 주력한다(Yeonsung Kim et al., 2023). 이러한 획일적인 접근 방식은 다양한 인지적 특성, 학습 선호도, 그리고 배경 지식을 가진 현대 훈련생들의 개별적인 요구를 충족시키지 못하는 구조적 한계를 내포한다(George, 2005). 많은 비행교관들은 교수법에 대한 체계적인 교육 없이 자신이 훈련받았던 방식을 답습하는 경향이 강하며, 이는 훈련 효율성을 저해하고 학습 동기 저하 및 중도 이탈로 이어지는 주요 원인이 된다(Caro, 1988). 이러한 현행 비행 교육 시스템이 안고 있는 구조적 한계와 보편적 학습 설계(UDL) 관점에서 이루어지는 구체적인 검토는 본 논문의 3장 「대한민국 비행 교육 현황 및 규제 환경 분석」에서 더욱 심도 있게 다루고자 한다.

비행 훈련이 본질적으로 지니고 있는 고비용 구조와 초기 단계에서 훈련생이 겪는 강한 좌절감은 높은 이탈률로 이어지며, 이는 막대한 교육 자원의 낭비와 함께 항공업계의 잠재적 조종사 인력 부족이라는 중대한

결과를 초래한다(Yeonsung Kim et al., 2023). 교육 방법론의 근본적 혁신을 배제한 채 양적 확대만을 일방적으로 추구하는 현행 체계로는, 급증하는 조종사 수요를 질적 수준에서 충족시키는 것이 사실상 불가능하다. 학습자들의 배경과 특성이 점점 더 다양해짐에 따라, 기존의 획일적 교수 방식으로는 모든 훈련생이 가진 학습 잠재력을 충분히 발휘하게 만들기 어렵다. 이는 학습자 중심의 교육 패러다임으로의 전환이 필연적임을 강하게 뒷받침하며, 특히 여성 훈련생들이 직면하고 있는 고유한 학습 장벽들과도 밀접하게 연계된다. 보편적 학습 설계(UDL)는 바로 이처럼 배경과 학습 특성이 극도로 다양한 훈련생들을 진정으로 포용하고, 그들이 겪고 있는 고유한 학습 장벽을 근본적으로 제거함으로써 각자의 최대 잠재력을 끌어내는 가장 강력한 혁신적 대안이다(Dell et al., 2015).

1.3 보편적 학습 설계(UDL) 프레임워크의 도입 필요성 및 연구 목적

본 연구는 이러한 국내 비행 교육의 한계를 극복하고, 학습자 중심의 교육 패러다임으로의 질적 전환을 위해 보편적 학습 설계(UDL) 프레임워크의 도입을 제안한다. 보편적 학습 설계(UDL)는 모든 학습자가 성공적으로 학습에 참여하고 성과를 달성할 수 있도록 교육 과정과 교수법을 사전에 유연하게 설계하는 증거 기반의 접근 방식이다(Lohmann et al., 2018).

본 연구는 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교육 모델을 제시하고, 보편적 학습 설계(UDL)의 원칙들이 인지 부하 이론(CLT)을 어떻게 최적화하는지 상세한 이론적 메커니즘을 설명하며, 보편적 학습 설계(UDL) 적용의 영향을 실증적으로 분석하기 위한 연구 설계를 제안함으로써 대한민국 비행 교육의 지속 가능한 발전 방향을 제안하고자 한다.

1.4 연구의 차별성 및 기여

본 연구는 높은 규제 수준과 철저한 안전 기준이 필수적인 항공 교육 분야에서 보편적 학습 설계(UDL)와 인지 부하 이론(CLT)을 통합적으로 활용한 새로운 교수설계 모델을 제안한다. 기존 연구들이 보편적 학습 설계(UDL)를 주로 학습자 다양성 보장과 포용성 강화라는 관점에서 다루었다면, 본 연구는 시뮬레이터와 같은 고도화된 기술 기반의 복잡한 훈련 환경에서 인지

효율성을 과학적으로 극대화하는 실질적 교수 전략으로 보편적 학습 설계(UDL)를 재구성하고 적용한다는 점에서 명확한 차별성을 지닌다.

학술적으로 본 연구는 보편적 학습 설계(UDL)와 인지 부하 이론(CLT)을 통합적으로 적용함으로써 고부하(high-stakes) 학습 환경에서 학습자의 정보처리 과정과 훈련 성과에 미치는 영향을 이론적으로 규명하고, 이를 통해 항공 분야를 포함한 고위험·고신뢰성 훈련 영역에 직접 적용 가능한 교육이론의 지평을 실질적으로 확장한다는 데 핵심적인 기여를 할 것이다. 실무적으로는 제안된 모델이 비행 교관 양성 체계의 근본적 혁신 방향을 제시하며, VR/AI 기반 시뮬레이터 훈련을 UDL 원칙에 충실하게 재구성·운영함으로써 국내 비행 교육 현장의 실질적 적용 가능성을 높이고 교육의 질적 도약에 직접적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 본 론

2.1 이론적 배경 및 개념적 프레임워크

2.1.1 보편적 학습 설계(UDL)의 개념 및 세 가지 핵심 원칙

보편적 학습 설계(UDL)는 건축 분야의 유니버설 디자인 개념에서 파생된 교육 프레임워크로서(Design, 1997), 모든 학습자가 학습 환경에 원활히 접근하고 효과적으로 참여하며 성공할 수 있도록 학습의 장벽을 사전에 제거하고 유연성을 제공하는 것을 목표로 한다. 보편적 학습 설계(UDL)는 인지과학의 연구 성과를 토대로 개발된 프레임워크로서, 인간 뇌의 세 가지 주요 학습 네트워크(인식, 전략, 정서)에 각각 대응하는 세 가지 핵심 원칙을 중심으로, 학습자들의 극도로 다양한 특성과 요구를 포괄하고 지원하도록 설계되었다(Rose and Meyer, 2002). 본 연구는 보편적 학습 설계(UDL)의 세 가지 핵심 원칙을 비행 교육의 특수한 맥락에 맞춰 적용함으로써, 훈련생들이 비행 이론, 위험 관리, 조종 기술이라는 세 가지 핵심 역량 영역에서 최적의 성과를 발휘할 수 있도록 돕는 교수설계의 실질적 방향성을 제시한다. 다음은 각 원칙의 개념이다.

- (1) 다양한 방식의 표상 (multiple means of representation)

이 원칙은 학습자가 정보를 ‘무엇(what)’으로 인식

하고 이해하는 과정에 초점을 맞추며, 인간 뇌의 인식 네트워크(recognition networks)와 직접적으로 연계된다(Almeqdad et al., 2023). 텍스트, 이미지, 음성 해설, 동영상, 3D 시각화, 실시간 인터랙티브 시뮬레이션 등 다채로운 매체 형식을 제공함으로써 학습자의 인지적 접근성을 실질적으로 높이고 정보 이해의 깊이를 더한다. 특히 비행 원리나 복잡한 절차와 같은 고난도 기술 내용을 시각·청각 채널로 분산하여 제시하면 작업 기억(working memory)의 부하를 효과적으로 줄이고, 시각형·청각형·혼합형 등 모든 학습 유형을 포괄할 수 있는 실질적인 훈련 환경을 구축할 수 있다.

- (2) 다양한 행동 및 표현 수단 제공 (multiple means of action & expression)

이 원칙은 학습자가 습득한 지식을 ‘어떻게(how)’ 외현화하고 실제 행동으로 실행하는가에 초점을 두며, 뇌의 전략 네트워크(strategic networks)와 직접적으로 연계된다(Hovey et al., 2022). 훈련생들은 구두 보고, 서면 리포트, 시뮬레이터 실조작, 실전형 문제 해결 과제 등 매우 다채로운 경로를 통해 자신의 이해와 기술을 드러낼 수 있으며, 이는 학습자의 주도성과 창의적 사고를 실질적으로 끌어올린다. 특히 비행 수행 능력이나 위기 상황 대응과 같은 고난도·복합적 역량 영역에서 이러한 유연한 표현·평가 방식은 개별 훈련생의 세부적 강점과 약점을 정밀하게 진단할 수 있는 강력한 틀을 제공한다.

- (3) 다양한 참여 수단 제공 (multiple means of engagement)

이 원칙은 학습자가 ‘왜(why)’ 학습에 몰입하고 지속하는가에 초점을 맞추며, 뇌의 정서 네트워크(affective networks)와 가장 밀접하게 연결된다(Dell et al., 2015). 학습자의 문화적·경험적 배경과 개인적 관심사를 세심하게 반영하여 훈련 콘텐츠와 활동을 개별적으로 조정하고, 자율적 선택권을 부여하며, 적절한 도전 수준의 과제와 실시간 피드백을 결합함으로써 내재적 동기를 근본적으로 강화하고 장기적·능동적 참여를 실질적으로 유도한다.

이처럼 보편적 학습 설계(UDL)는 학습자들의 극도로 다양한 배경과 특성을 진정으로 포용하고, 이들이 직면한 학습 장벽을 근본적으로 제거함으로써 각자의 최대 잠재력을 실현시키는 가장 강력한 혁신적 접근법

이라 할 수 있다. 본 연구는 바로 이 UDL 프레임워크를 항공 교육의 특수한 맥락에 체계적으로 적용함으로써 기존의 경직되고 일률적인 훈련 체계에서 과감히 탈피하여 학습자 중심의 유연하고 적응적인 교육 패러다임으로의 전환을 제안한다. 이는 단순히 포용성을 위한 도구적 장치에 그치는 것이 아니라, 고위험·고정밀 훈련 환경에서 학습 효율성을 과학적으로 극대화하고 실천적으로 뒷받침하는 근본적인 기반으로 기능할 수 있다는 점에서 핵심적인 의미를 지닌다.

2.1.2 인지 부하 이론(Cognitive Load Theory, CLT)과의 연계 분석

비행 훈련은 생명과 직결된 고위험(high-stakes) 학습 상황이라는 본질적 특성을 지니고 있으며, 이는 방대한 전문 지식과 고도화된 기술 숙련도를 필연적으로 요구한다. 이로 인해 훈련 과정에서 내재적 인지 부하(intrinsic cognitive load)가 불가피하게 높아질 수밖에 없다. 그러나 기존의 전통적·획일적 교수법은 불필요한 정보 제시 방식, 과도한 부수적 요소, 또는 복잡한 절차적 요구를 동반함으로써 학습과 무관한 외재적 인지 부하(extraneous cognitive load)를 오히려 증대시키는 경우가 빈번하다(Chandler and Sweller, 1991).

이러한 외재적 부하는 제한된 작업 기억 자원을 불필요하게 소모시켜, 정작 복잡한 비행 절차 습득, 위험 관리, 상황 인식 및 판단 등 고차원적 사고가 요구되는 핵심 영역에 투입될 인지적 여력을 현저히 감소시키는 결과를 낳는다. 따라서 훈련 효과를 실질적으로 극대화하려면 불필요한 인지 부하를 체계적으로 제거하고, 학습자의 인지 자원을 본질적 학습 내용에 집중시킬 수 있는 교수설계 전략이 반드시 필요하다.

이러한 맥락에서 보편적 학습 설계(UDL)는 인지 부하 이론(CLT)을 실천적으로 구현하는 가장 강력한 도구로 작용할 수 있다. 예컨대 UDL의 '다양한 방식의 표상(multiple means of representation)' 원칙은 내용의 시각화, 멀티미디어 활용, 단계별·계층적 설명 등을 통해 정보의 명확성과 접근성을 높임으로써 외재적 인지 부하를 결정적으로 줄인다. 아울러 명확한 과제 구조와 실시간 피드백 체계는 학습 혼란을 최소화하고 정신적 노력을 전략적으로 조절하는 데 기여한다(Almeqdad et al., 2023).

외재적 부하가 효과적으로 억제되면 학습자는 인지 자원을 더욱 효율적으로 재배분할 수 있게 되며, 이는

내재적 부하를 의미 있는 스키마 구축과 깊이 있는 학습을 위한 본유적 인지 부하(germane cognitive load)로 전환시키는 데 결정적으로 유리하게 작용한다. 결국 학습자는 복잡한 비행 개념과 절차를 단기 기억에서 장기 기억으로 안정적으로 이전시키고, 실전 상황에서 즉각적·정확하게 활용 가능한 인지 구조를 형성할 수 있다(Sweller et al., 1998). 보편적 학습 설계(UDL)와 인지 부하 이론(CLT)의 체계적 통합은 단순한 포용성 강화 전략을 넘어, 고위험·고정밀 비행 훈련 환경에서 인지 효율성을 과학적으로 극대화하는 실천적 교수설계의 핵심 원리로 자리 잡을 수 있다. 특히 VR/AI 기반 시뮬레이터와 같이 다중 자극과 실시간 상호작용이 복합적으로 요구되는 훈련 상황에서는 이 통합 접근법의 적용 가능성과 실제 효과가 더욱 뚜렷하게 드러날 것으로 기대된다.

2.1.3 성인 학습 이론(Andragogy)과 보편적 학습 설계(UDL)의 통합: 비행 훈련생 맞춤 전략

비행 훈련생은 대체로 뚜렷한 직업적 목표를 가진 성인 학습자로서, 학습 과정에서 자율성과 선택의 자유를 강하게 선호하며, 훈련 내용이 실무 현장과 직접적으로 연결되기를 기대한다는 점에서 전형적인 성인 학습자의 특성을 보인다(Ross-Gordon, 2003). 이러한 특성은 Knowles의 성인 학습 이론(Andragogy)이 강조하는 핵심 원리들과 정확히 맞물리며, 특히 보편적 학습 설계(UDL)의 '다양한 참여 수단(multiple means of engagement)' 원칙과 자연스럽게 융합될 수 있다.

보편적 학습 설계(UDL)는 학습자에게 목표 달성 경로와 방법에 대한 실질적인 선택권과 자율성을 부여함으로써 성인 학습자의 내재적 동기(intrinsic motivation)를 강력하게 자극하고 지속적으로 유지시키는 데 결정적인 역할을 한다. 예를 들어 훈련생은 학습 자료의 형식, 과제 수행 방식, 평가 기준 및 도구 등에서 폭넓은 선택권을 행사할 수 있으며, 이는 훈련의 개인화 수준을 높이고 실무 적용 가능성을 실질적으로 강화한다.

특히 보편적 학습 설계(UDL)는 자기조절 학습(self-regulated learning) 능력의 체계적 함양을 핵심으로 삼고 있는데, 이는 성인 학습자의 가장 중요한 역량 중 하나로 평가된다(Hays and Handler, 2020). 훈련생은 자신의 학습 과정을 끊임없이 모니터링하고, 피드백을 즉각적으로 반영하여 학습 전략을 유연하게

수정하는 과정을 통해 진정한 '전문가 학습자(expert learner)'로 성장할 수 있다. 이는 궁극적으로 조종사로서 예측 불가능한 실전 상황에서 자율적이고 정확하게 신속한 의사결정을 내리는 데 필수적인 핵심 역량과 직결된다. 보편적 학습 설계(UDL)와 성인 학습 이론(andragogy)의 체계적 통합은 단순한 교수법의 유연성 확대를 넘어, 고부하-고위험 비행 훈련 환경에서 학습자의 자기주도성과 전문성을 근본적으로 강화하는 실천적·과학적 교육 설계 모델로 자리 잡을 수 있다는 점에서 그 의미가 매우 크다.

2.1.4 항공 교육 분야 보편적 학습 설계(UDL) 선행 연구 분석 및 국내 연구 공백

보편적 학습 설계(UDL)는 이미 K-12 교육, 고등교육, 기업 교육, 일부 아시아 국가의 국가 교육 정책 등 다양한 영역에서 포용적 교육의 핵심 프레임워크로 자리 잡고 있다(Al-Azawei et al., 2016; Hayes and Bulat, 2021). 특히 기술적 복잡성과 높은 인지적 요구도가 특징인 항공교통관제(ATC) 훈련 분야에서도 보편적 학습 설계(UDL)를 적용하여 훈련 효율성을 실질적으로 높인 사례가 보고된 바 있다(Kang et al., 2018). Kang et al.(2018)은 보편적 학습 설계(UDL) 원칙을 개별 학습 스타일에 매핑함으로써 접근성과 학습 효과를 향상시켰으나, 본 연구는 여기에서 한 걸음 더 나아가 보편적 학습 설계(UDL)를 인지 부하 이론(CLT)과 체계적으로 통합함으로써 단순한 학습 스타일 반영을 넘어 내재적·외재적 인지 부하를 전략적으로 조절하고 본유적 인지 부하(germane cognitive load)를 적극적으로 촉진하는 이론적·방법론적 확장을 시도한다는 점에서 명확한 차별성을 갖는다.

그러나 현존 문헌을 종합적으로 검토한 결과, 실제 조종사 양성을 위한 실전 비행 훈련 과정에 보편적 학습 설계(UDL)를 체계적으로 적용하고 그 인지적 효과를 실증적으로 규명한 연구는 국내외를 막론하고 극히 제한적이다. 예를 들어 King-Sears et al.(2023)과 Whitford et al.(2023)은 현대 항공 교육에서 보편적 학습 설계(UDL)를 포용적 접근법으로 제안하고, Rao et al.(2023)은 적응형 교육학(adaptive pedagogy) 차원에서 보편적 학습 설계(UDL)를 탐구하지만, 이들 연구는 보편적 학습 설계(UDL)와 인지 부하 이론(CLT)의 통합을 통한 인지 부하의 정교한 최적화라는 핵심 측면에서 뚜렷한 이론적·방법론적 기여를 제시하

지 못했다는 한계를 드러낸다.

따라서 본 연구는 보편적 학습 설계(UDL)와 인지 부하 이론(CLT)의 체계적 융합을 통해 고부하-고위험 비행 훈련 현장에서 인지 효율성을 근본적으로 극대화할 수 있는 새로운 교수설계 모델을 제시함으로써 기존 연구의 공백을 메우고, 항공 교육 분야의 학술적·실천적 지평을 실질적으로 확장하는 결정적인 계기가 될 것으로 기대된다.

2.2 대한민국 비행 교육 현황 및 규제 환경 분석

2.2.1 현행 비행 교육 시스템의 구조 및 특징

대한민국의 비행 교육 시스템은 주로 대학교 항공운항학과, 민간 전문 비행학교, 항공사 자체 훈련 기관을 중심으로 운영되고 있으며, 이들은 국토교통부가 제정한 『항공종사자 자격별 훈련기준 및 지침』을 엄격히 준수한다. 이러한 제도는 항공 안전 확보를 위한 최소 기준으로 기능하지만, 보편적 학습 설계(UDL)의 관점에서 살펴보면 학습자 다양성을 충분히 수용하지 못하는 구조적 한계를 드러낸다.

대부분의 교육기관은 표준화된 교과과정과 교수법을 고수하며, 실제 훈련은 교관의 시범과 훈련생의 반복 실습이라는 전통적 형태로 일괄된다. 이는 결과적으로 보편적 학습 설계(UDL)의 핵심 원칙인 '다양한 방식의 표상(multiple means of representation)', '다양한 행동 및 표현 수단(multiple means of action & expression)', '다양한 참여 수단(multiple means of engagement)'이 제대로 구현되지 않고 있음을 의미한다. 이러한 획일적 접근은 개별 훈련생의 인지 처리 방식과 학습 속도의 차이를 전혀 반영하지 못해 학습 부진과 중도 포기를 유발하며(Pierrakeas et al., 2004), 이는 비행 교육의 본질적인 효과성과 장기적 지속 가능성을 심각하게 훼손하는 주요 원인으로 작용한다.

특히 최근 들어 훈련생의 연령대, 학력 및 경력 배경, 선호 학습 스타일 등이 현저하게 다양해지고 있음에도 불구하고, 여전히 단일화된 교수-학습 전략에 의존하는 현행 체계는 잠재력 높은 인재의 조기 이탈을 초래할 수 있는 중대한 위험 요인으로 지적되고 있다.

2.2.2 항공종사자 자격별 훈련기준 및 지침 검토: 보편적 학습 설계(UDL) 도입의 제도적 장벽과 기회

국내 비행 교육은 『항공안전법』과 그 하위 규정인

『항공종사자 자격별 훈련기준 및 지침』에 의해 학과실기 교육 시간, 과목 배분, 세부 이수 요건이 철저하게 규정되어 있다. 예를 들어 자가용조종사(PPL) 과정은 학과 180시간 이상, 실기 35시간 이상(단독 비행 10시간 포함)을 법적으로 강제하고 있으며, 각 과목별 최소 이수 시간까지 명시되어 있다. 이러한 총량 중심의 경직된 규제 구조는 보편적 학습 설계(UDL)와 같은 유연하고 학습자 중심의 교수설계 원칙을 도입하는 데 근본적인 제도적 장벽으로 작용한다(Kearns, Mavin, and Hodge, 2017).

현행 규제는 교육의 ‘내용’과 ‘총량’에 초점을 맞추고 있을 뿐, 실제 교수-학습 방법론이나 평가 방식에 대해서는 교육기관에 상당한 재량권을 부여하고 있다. 이는 얼핏 보면 제약으로만 보이지만, 동시에 보편적 학습 설계(UDL) 도입의 결정적인 실무적 기회이기도 하다. 즉, 법적 최소 시간을 철저히 준수하면서도 그 시간 안에 학습자 개별 특성을 반영한 다채로운 교수 전략(시각 자료, 시뮬레이션, 토론-프로젝트 기반 활동 등)을 자유롭게 재구성할 수 있는 여지를 제공하기 때문이다(Ciolfi and Howard, 2024).

더 나아가 미국 FAA의 MOSAIC 규정에서 보듯, 위험 기반 훈련 경로(risk-based training pathway), VR/AI 시뮬레이션의 실비행 시간 대체 인정, 기술적 유연성 확대와 같은 제도적 진화는 이미 국제적으로 진행 중이다(Breunig et al., 2018). 국내 역시 국토교통부가 실비행 시간의 일부를 고품질 VR/AI 시뮬레이터 훈련으로 대체 인정하는 방향으로 규제를 완화한다면, 보편적 학습 설계(UDL) 원칙을 전면적으로 구현하면서도 현행 안전 기준을 완벽하게 유지할 수 있는 현실적인 길이 열린다. 이는 안전성과 교육의 질적 다양성을 동시에 충족시키는 가장 전략적이고 실행 가능한 접근이며, 장기적으로 조종사 양성의 효율성과 완성도를 획기적으로 높이는 결정적 전환점이 될 것이다.

2.2.3 비행교관(CFI) 양성 과정의 문제점과 교수 전문성 결여

보편적 학습 설계(UDL)를 비행 교육 현장에 실질적으로 도입하는 데 있어 가장 결정적인 인적 장벽은 비행교관(certified flight instructor, CFI)의 교수 전문성 부족으로 지목되고 있다. 국내의 연구를 종합하면, 상당수 교관들이 CFI 자격을 단순히 비행 시간 채우기를 위한 과도기적 직무로 인식하고 있으며, 교수자이자

교육 설계자로서의 본질적인 역할 의식과 정체성이 현저히 결여되어 있다는 비판이 지속적으로 제기되고 있다(Byrnes Ph.D., 2017; Park et al., 2024). 이러한 문제는 교관 양성 과정에서 ‘교수법의 기초(FOI: fundamentals of instruction)’ 과목이 암기 중심이론 중심으로 운영되는 데 근본 원인을 두고 있으며, 결과적으로 현장에서는 자신이 과거에 경험한 전통적·획일적 교수법을 그대로 답습하는 악순환이 반복된다(Erickson et al., 2017). 이는 인지 양식과 학습 특성이 극도로 다양한 훈련생을 효과적으로 지원하지 못하는 구조적 병폐로 이어져 교육의 실질적 효율성과 질적 완성도를 심각하게 저해한다.

보편적 학습 설계(UDL)는 바로 이러한 한계를 근본적으로 극복할 수 있는 과학적이고 실천적인 교수설계 프레임워크로서 가능하다. 특히 보편적 학습 설계(UDL)는 교관들이 훈련생의 개별적 인지 스타일, 동기 수준, 표현 선호도 등을 정확히 파악하고 이에 맞춘 학습 환경을 설계하도록 돕는다. 이는 교관의 역할을 단순한 기술 전달자(technical instructor)에서 학습 촉진자이자 전문 교육 설계자(instructional designer)로 전환시키는 결정적 전환점을 제공한다(Edyburn et al., 2005).

그러나 현행 교관 양성 과정은 보편적 학습 설계(UDL)의 세 가지 핵심 원칙(다양한 표현·행동·참여)에 입각한 실천적 교수 전략, 인지 부하 관리 기법, 다양화된 평가 및 피드백 체계에 대한 체계적이고 심층적인 교육이 사실상 부재한 실정이다. 이러한 교육 공백은 보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교육 모델의 현장 실행 가능성을 근본적으로 제한하는 핵심 요인으로 작용하며, 비행교관 양성 체계의 전면적 개편을 시급히 요구하는 중대한 과제로 떠오르고 있다.

2.3 보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교육 통합 모델: 구조 설계

본 연구는 대한민국 비행 교육이 안고 있는 획일적 교수 방식, 높은 중도 이탈률, 경직된 규제 체계라는 세 가지 구조적 병폐에 대한 실질적 대안으로서 보편적 학습 설계(UDL) 원칙을 핵심 축으로 한 통합 비행 교육 모델을 제안한다. 이 모델은 학습자 다양성의 진정한 수용(UDL), 인지 부하의 과학적 최적화(CLT), 성인 학습자의 자기주도성과 실무 연계성 극대화(Andragogy)를 세

가지 핵심 가치로 설정하며, 기존 시스템의 질적 도약을 목표로 한다.

제안 모델은 지상 학과 교육, 시뮬레이터 훈련, 실비행 교육이라는 세 단계 전 과정에 보편적 학습 설계(UDL) 원칙을 체계적으로 관통시키도록 설계되었다. 특히 VR/AI 기반 시뮬레이터는 이론과 실전 간 인지적 전이를 결정적으로 촉진하는 ‘중간 다리’ 역할을 수행하며, 보편적 학습 설계(UDL)의 다중 표현·행동·참여 원칙을 가장 효과적으로 구현할 수 있는 핵심 인프라로 기능한다. 이러한 구조는 기존의 일률적·강의 중심 훈련에서 벗어나 다감각·다채널 학습 경험과 유연한 반응 경로를 제공함으로써 학습 몰입도와 지속성을 실질적으로 끌어올리고, 결과적으로 중도 이탈률을 현저히 감소시키며 비행 이론·위험 관리·조종 실기의 세 핵심 역량을 최대치로 발휘하게 하는 ‘전문가 학습자’ 양성으로 이어진다.

본 모델은 2.2절에서 지적된 구조적 문제점에 대해 다음 세 가지 상호 보완적 핵심 전략으로 직접적으로 대응한다.

(1) 획일적인 교육 방식 문제 해결

보편적 학습 설계(UDL)의 ‘다양한 표현 수단’, ‘다양한 행동 및 표현 수단’, ‘다양한 참여 수단’을 전 교육 단계에 전면 적용하여 기존의 표준화된 교수법에서 완전히 벗어나, 개별 훈련생의 인지 스타일과 학습 속도를 정밀하게 반영하는 유연한 학습 환경을 구축한다. 특히 VR/AI 시뮬레이터를 통해 시각·청각·촉각·체험적 자극을 자유롭게 조합함으로써 각자의 학습 양식에 최적화된 ‘맞춤형 훈련 경로’를 실질적으로 구현한다.

(2) 높은 중도 이탈률 문제 해결

학습자 중심 패러다임으로의 전면 전환을 통해 훈련생의 자율성(autonomy), 내재적 동기, 참여도를 근본적으로 강화한다. 실시간 개별 피드백, 개인별 목표 설정, 자기조절 학습 전략의 체계적 통합으로 학습 부진을 조기에 포착하고 즉각 지원함으로써 이탈 예방 메커니즘이 시스템적으로 내재화된다.

(3) 경직된 규제 환경 속에서의 유연성 확보

법적 총 교육 시간과 과목 구성은 철저히 유지하면서도 교수 방법론과 평가 체계에 보편적 학습 설계(UDL) 원칙을 전면 도입하여 내용 규제와 실행 유연성 간의 최적 균형을 확보한다(Kearns et al., 2017; Ciolfi and Howard, 2024). 나아가 고품질 VR/AI 시뮬레이션 훈련 시간을 실비행 시간의 일부로 공식

인정하는 정책적 전환을 적극 모색함으로써 현행 안전 기준을 완벽하게 지키면서도 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교육의 전면 실행을 가능하게 하는 현실적 길을 제시한다.

2.3.1 보편적 학습 설계(UDL) 원칙별 비행 교육 커리큘럼 통합 로드맵

보편적 학습 설계(UDL)를 비행 교육 현장에 실질적으로 뿌리내리게 하려면 지상 학과, 시뮬레이터 훈련, 실비행 교육의 각 단계별로 보편적 학습 설계(UDL)의 세 가지 핵심 원칙을 어떻게 체계적으로 관통시킬 것인지에 대한 구체적이고 실행 가능한 커리큘럼 통합 로드맵이 반드시 필요하다. 이는 대한민국 비행 교육이 안고 있는 획일적 교수 방식, 높은 중도 이탈률, 제도적 경직성이라는 세 가지 구조적 병폐를 근본적으로 해결하기 위한 결정적인 전략적 전제이다. 본 로드맵은 보편적 학습 설계(UDL)의 학습자 다양성 포용 원칙과 인지 부하 이론(CLT)의 인지 효율성 극대화 전략을 VR/AI 기반 시뮬레이터라는 핵심 플랫폼에 집중적으로 융합하여 현장 적용 가능성을 극대화하도록 설계되었다. 특히 VR/AI 시뮬레이터는 다중 감각 채널 분산, 자기주도적 학습 조절, 몰입 기반 참여를 실질적으로 구현하는 중추적 도구로서 기능한다(Table 1).

이 로드맵은 단순한 교수기법의 부분적 개선이 아니라, 기존 교관 중심·일방향 전수형 모델의 본질적 한계를 완전히 넘어 학습자 중심 교육으로의 체계적 전환을 가능하게 하는 과학적 설계 틀이다. 보편적 학습 설계(UDL)의 유연성과 인지 부하 이론(CLT)의 인지 부하 조절 원리를 통합함으로써 교수 설계의 근거 기반성을 획기적으로 강화한다.

로드맵의 설계 목적은 다음 세 가지 축으로 명확히 정리된다.

첫째, 연령·배경 지식·학습 스타일이 극도로 다양한 훈련생들의 요구를 정밀하게 반영한 개인화된 학습 경로를 제공함으로써 진정한 의미의 학습자 다양성을 수용한다.

둘째, 외재적 인지 부하를 철저히 제거하고 본유적 인지 부하를 적극적으로 촉진하여 복잡한 비행 기술 습득의 실질적 효율성을 극대화한다.

셋째, 학습 몰입도와 성취감을 근본적으로 높여 조기 이탈을 예방하고 훈련 유지율 및 최종 역량 수준을 결정적으로 향상시킨다.

Table 1. Strategies for optimizing cognitive load through the innovative integration of UDL principles and CLT-based instructional design

UDL 원칙	비행 이론 교육 (representation)	시뮬레이터/실습 교육 (action & expression)	참여 및 동기 부여 (engagement)
다양한 표현 수단	<ul style="list-style-type: none"> - 3D 모델링, 인터랙티브 시뮬레이션, 인포그래픽, 전문가 인터뷰 영상 활용을 통한 정보 청크화 및 외재적 인지 부하 최소화. - 3D 애니메이션, 강사 음성 설명, VR/AI 기반 인터랙티브 시뮬레이션으로 복잡한 비행 원리 시각화. 	<ul style="list-style-type: none"> - 비행 전/후 브리핑 자료 멀티미디어화, 비상 절차 체크리스트의 시각적/청각적 옵션 제공. - 실제 사고 사례(case study) 연결 및 최신 기술 동향과의 연계를 통한 학습 목적 명료화. - VR/AI 시뮬레이터의 실시간 비행 상황 재현 및 중요한 정보 시각적/청각적 강조. 	(해당 없음: 표현 수단은 주로 정보를 제공하는 방식에 중점을 둠)
다양한 행동 및 표현 수단	(해당 없음: 행동 및 표현 수단은 학습자가 지식을 구성하고 표현하는 방식에 중점을 둠)	<ul style="list-style-type: none"> - 구술/서면 평가, 시뮬레이션 기반 문제 해결 발표, 개념 지도(mind map) 작성 등 다각적인 평가 방식 허용. 	(해당 없음: 행동 및 표현 수단은 주로 학습자의 수행과 표출 방식에 중점을 둠)
다양한 참여 수단	<ul style="list-style-type: none"> - 비행 목표와 개인 경력 목표 연결, 적절한 난이도 조절(scaffolding)된 학습 모듈 제공. - 장거리 비행 계획 수립 시 훈련생에게 실제 자신만의 여행 목적지 선정 및 비행 계획 수립 기회를 부여하여 내재적 동기 유발. 	<ul style="list-style-type: none"> - VR/AI 시뮬레이터의 개인화된 비행 시나리오를 통한 몰입감과 성취감 증대. - 작업 기억 자원 효율적인 활용 및 스키마 구조 형성 지원. 	<ul style="list-style-type: none"> - 학습 목표와 개인 경력 목표 연결 및 난이도 조절(scaffolding) 학습 모듈 제공. - 훈련생의 실제 경험과 연관된 비행 계획 수립으로 내재적 동기 유발. - VR/AI 시뮬레이터가 제공하는 개인화된 시나리오로 몰입감과 성취감 증대.

이러한 목적은 교수 설계 템플릿, 교관 역량 강화 모듈, 다차원 학습 성과 평가 도구로의 구체적 확장을 통해 실천적으로 구현되며, 나아가 근거기반교육(evidence-based education, EBE)의 실현과 준실험적 연구 설계의 경험적 토대를 제공한다.

궁극적으로 본 로드맵은 보편적 학습 설계(UDL)를 담론적 수준의 포용성에서 벗어나 과학적이고 검증 가능한 실천 체계로 전환시키는 역할을 수행한다. 특히 VR/AI 시뮬레이션 환경은 인지 부하 이론(CLТ)이 요구하는 내재적·외재적·본유적 인지 부하의 정교한 균형 조절을 가능하게 하는 최적의 조건을 제공하며, 높은 현실감과 실시간 상호작용을 통해 훈련생이 복합적 의사결정과 절차적 기술을 훨씬 더 빠르고 깊이 있게 습득할 수 있게 만든다.

향후 이 로드맵은 다음 세 가지 방향으로 연구·정책적 확장이 가능하다.

첫째, 로드맵 기반 수업 설계 모형을 실제 적용하여 보편적 학습 설계(UDL) 교수법이 학습 성과, 동기, 이탈률에 미치는 영향을 준실험적 설계로 실증적으로 검

증함으로써 강력한 경험적 근거를 축적할 수 있다.

둘째, 교관들이 보편적 학습 설계(UDL) 원칙을 깊이 이해하고 현장 수업에 자연스럽게 적용할 수 있도록 하는 체계적 역량 강화 교육 프로그램으로 발전시킬 수 있다.

셋째, 이러한 실증 결과를 바탕으로 대한민국 비행 교육 체계의 학습자 중심 전환과 장기적 지속 가능성을 위한 정책 개편에 결정적인 근거 기반 제언을 제시할 수 있다.

2.4 핵심 구성요소 1: 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교수 설계 및 콘텐츠 개발 전략

본 연구가 제시하는 보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교육 통합 모델은 두 개의 핵심 축으로 구성된다. 그중 첫 번째 축은 '보편적 학습 설계(UDL) 기반 교수 설계 및 콘텐츠 개발 전략'으로, 학습자 중심 환경의 실질적 조성, 교육 콘텐츠의 본질적 혁신, 개별 훈련생 요구의 정밀 반영을 최우선 목표로 한다. 이는 단순한 자료 제작을 넘어 인지과학에 근거한 체계적 교수 설계, 학습자 다양성의 진정한 포용, 궁극적 학습 성과의 극대화를 포괄하는 새로운 교육 설계 패러다임으로 기

능한다.

두 번째 축인 “비행교관 역량 개발 및 교육 혁신”은 이 전략의 현장 실행력을 결정적으로 뒷받침하는 실천적 기반이다. 아무리 정교한 교수 설계라도 이를 구현할 교관의 교수 전문성과 교육 철학이 부재하다면 혁신은 표면에 그칠 수밖에 없기 때문이다. 따라서 본 장에서는 첫 번째 축인 교수 설계 전략을 보편적 학습 설계(UDL)의 세 가지 핵심 원칙에 따라 구체적으로 제시한다.

2.4.1 다양한 표현 수단 (Representation) 강화를 위한 인지 부하 관리 및 멀티미디어 활용

보편적 학습 설계(UDL)의 표현 원칙은 복잡하고 추상적인 비행 이론 및 절차 정보를 훈련생이 가장 효과적으로 수용할 수 있도록 접근성을 극대화하는 데 초점을 둔다. 이는 특히 고난도 항공 이론 교육에서 필수적이며, VR/AI 시뮬레이터와 같은 첨단 기술을 통해 그 효과가 결정적으로 증폭된다. 본 연구는 인지 부하 이론(CLT)과 멀티미디어 학습 원리를 철저히 적용하여 콘텐츠를 재구성한다.

비행 이론 콘텐츠 설계 시 주의 분산 효과, 감각 양식 효과, 잉여 정보 효과 등 인지 부하 이론(CLT)의 핵심 원리를 엄격히 준수하여 외재적 인지 부하를 근본적으로 제거한다(Sweller et al., 1998). 예를 들어 비행 성능 차트 설명에서는 텍스트와 그래프의 단순 나열 대신 시각적 강조, 음성 해설, 실시간 애니메이션을 병행하고, 기존 교재 중심의 정적 학습에서 완전히 벗어나 3D 모델링, VR/AR 기반 몰입형 시각화, 인터랙티브 시뮬레이션 퀴즈 등을 전략적으로 도입함으로써 훈련생의 인지적 부담을 실질적으로 최소화하고 학습 효율을 극대화한다.

2.4.2 다양한 행동 및 표현 수단 (Multiple Means of Action & Expression) 강화를 위한 AI 기반 맞춤형 훈련 및 다각화된 평가

보편적 학습 설계(UDL)의 행동 및 표현 원칙은 훈련생이 습득한 지식과 기술을 자신만의 방식으로 외현화하고 실행할 수 있는 최적의 환경을 제공함으로써 기존 획일적 교육 체계의 본질적 한계를 완전히 극복한다. VR/AR 시뮬레이터는 이 원칙을 현장에서 가장 강력하게 구현하는 핵심 인프라이다. 본 연구는 AI 기반 맞춤형 훈련과 다각화된 평가 체계를 통해 행동 및 표현의

다양성을 결정적으로 확대하는 실천 방안을 제시한다.

AI-머신러닝 기술은 훈련생의 시뮬레이션 비행 데이터(조종 정밀도, 절차 준수율, 의사결정 패턴)를 실시간으로 분석하여 개별 취약점을 객관적·정밀하게 진단한다(Guevarra et al., 2023). 이를 토대로 교관은 취약점 중심의 맞춤형 시나리오를 즉시 생성·제공하며, 훈련생은 자신의 강점과 약점을 고려한 최적화된 학습 경로를 자율적으로 선택할 수 있다. 이러한 AI 기반 시스템은 학습 과정을 지속적으로 모니터링하고 개별 훈련생에게 가장 적합한 과제 형태와 피드백을 실시간으로 제공함으로써 행동 및 표현의 자유도를 근본적으로 확대한다.

평가는 더 이상 지필·표준 실기 시험에 국한되지 않는다. 훈련생은 자신의 강점을 최대한 발휘할 수 있는 방식으로 역량을 입증해야 하며, 이를 위해 비행 전·후 브리핑/디브리핑 영상 제출, 팀 기반 복합 항법 계획 프로젝트, 시뮬레이터 미션 수행 기록 분석 등 다차원적 평가 방식을 도입한다. 이러한 평가는 단순 점수 부여를 넘어 문제 해결 능력, 의사 결정력, 협업 능력 등 항공 안전의 핵심 역량을 총체적으로 측정하고, 훈련생의 다양한 표현 양식을 진정으로 존중·지원한다.

2.4.3 다양한 참여 수단 (Engagement) 촉진을 위한 자기 조절 학습 및 성공 경험 축적

보편적 학습 설계(UDL)의 참여 원칙은 훈련생의 학습 동기와 끈기를 유지하고 중도 이탈을 결정적으로 억제하는 가장 강력한 메커니즘이다(Mackey et al., 2023). VR/AI 시뮬레이터는 몰입도 극대화, 자기 조절 능력 강화, 성공 경험의 체계적 축적을 가능하게 하는 최적의 환경이다. 본 연구는 훈련생이 자신의 학습을 주도적으로 통제하고 저위험 환경에서 도전과 성공을 반복적으로 경험하도록 하는 실천 전략을 제시한다.

핵심은 훈련생이 학습 목표를 스스로 설정하고, 진행 상황을 지속적으로 모니터링하며, 전략을 유연하게 수정할 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해 교관은 ‘성찰 저널’ 및 ‘비행 일지 분석 보고서’ 작성을 의무화하고, 이를 기반으로 노력과 개선 과정에 초점을 맞춘 긍정적·건설적 피드백을 제공해야 한다(Hakim et al., 2025). AI 기반 개인화된 훈련 경로 추천 및 실시간 피드백 시스템은 자기 조절 학습 능력을 근본적으로 강화한다.

VR/AI 시뮬레이터는 실제 비행에서는 시도하기 어려운 고위험·고난도 시나리오(엔진 화재, 악천후, 시스

템 고장 등)를 안전하게 반복 실행할 수 있는 결정적인 환경을 제공한다(Lysenko et al., 2018). 교관은 훈련생의 현재 역량 수준에 맞춰 난이도 비계(scaffolding)를 세밀하게 조정하고, AI는 수행 데이터를 실시간 분석하여 난이도를 자동 조절함으로써 학습자가 지속적으로 '도달 가능한 도전'을 경험하고 성공감을 축적할 수 있도록 한다(Sharma and Hannafin, 2007). 이는 학습 좌절감을 최소화하고 참여도를 극대화하며, 장기적으로 훈련생을 진정한 '전문가 학습자'로 성장시키는 가장 강력한 동력으로 작용한다.

2.5 핵심 구성요소 2: 비행교관 역량 개발 및 교육 혁신

보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교육 모델의 현장 정착과 지속 가능성은 전적으로 비행교관의 교수 전문성 수준에 의해 결정된다. 교관을 더 이상 단순한 기술 전달자가 아닌, 학습자 중심의 교육 환경을 설계하고 운영하는 전문 교육을 설계하고 운영하는 교육 설계 전문가로 전환시키는 것이 핵심 목표이다.

2.5.1 보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행교관 표준 역량 모델 개발 및 FOI 교육 혁신

현행 비행교관 자격 과정의 '교수법의 기초(FOI)' 교육은 대부분 암기 중심의 형식적 이수에 머물러 있으며, 실제 현장에서 훈련생의 극도로 다양한 학습 요구와 인지 특성에 효과적으로 대응할 수 있는 실질적 역량을 거의 제공하지 못하고 있다는 근본적인 한계를 드러낸다(Henley, 1991). 이 병폐를 극복하기 위해 기존 FOI를 완전히 재구성하여 'UDL-CLT-Andragogy 통합 FOI'를 새로운 표준으로 필수화해야 한다.

보편적 학습 설계(UDL) 기반 교관은 훈련생의 인지 스타일, 학습 속도, 동기 수준을 정밀하게 진단하고, 이에 따라 표현(representation), 행동 및 표현(action & expression), 참여(engagement)의 세 영역을 유연하게 재구성할 수 있는 고도의 교수 설계 역량을 반드시 갖추어야 한다(Table 2).

2.5.2 UDL-CLT 기반 교관 양성 및 재교육 프로그램 커리큘럼 상세화

교관 교육은 더 이상 이론 강의 중심이 아니라 철저한 실천 중심으로 전환되어야 한다.

Table 2. Comparison between the traditional instructor training model and the UDL-based instructor competency model

구분	전통적 교관 모델 (기술 전달자 중심)	UDL 기반 교관 모델 (교육 설계 전문가 중심)
주요 목표	항공 지식 및 기술의 정확한 전달 및 표준 수행 능력 확보	학습자 다양성 포용, 동기 부여 극대화 및 전문가 학습자 육성
교수 전략	시범(demonstration) 및 반복 연습(repetition) 위주, 일방향 지식 전달	다중 표현 방식 활용, 유연한 평가, 인지 부하 관리, 메타인지 촉진
핵심 역량	비행 경험, 기술 숙련도, 항공 규정 지식	UDL 설계 능력, 성인 학습 이론/CLT 적용, 교수 관찰 도구 활용, 인지적 비계 제공
평가 기준	규정 준수 및 기술 수행의 정확성 (ACS/시험 기준)	학습 설계의 포용성, 학생 참여도, 다양한 학습 성과 측정, 교수 효능감

(1) 보편적 학습 설계(UDL) 기반 수업 설계 실습
기존 항공 교육 커리큘럼을 보편적 학습 설계(UDL) 수업 계획 템플릿(Table 3)을 활용하여 전면 재설계하는 실습을 핵심 모듈로 둔다. 이 과정에서 인지 부하 이론(CLT)의 외재적 인지 부하 제거 원리를 체화하고, 실제 훈련생 사례를 적용하여 콘텐츠를 재구성하는 역량을 체득하도록 한다(Whitford et al., 2023).

(2) 첨단 기술 활용 교수 시연

교관 후보자는 VR/AI 시뮬레이터 환경에서 보편적 학습 설계(UDL) 원칙을 적용한 실제 교수 시연을 녹화 제출하고, AI 기반 행동 분석과 동료-전문가 피드백을 반드시 받아야 한다. 이 과정은 교관이 자신의 교수 행위를 객관적으로 성찰하고, 다양한 학습자 유형에 대한 최적의 교수 전략을 반복적으로 연마할 수 있는 가장 강력한 훈련 메커니즘으로 기능한다.

(3) 성인 학습자 동기 부여 전략 교육

비행 훈련생의 성인 학습자 특성을 깊이 이해하고, 보편적 학습 설계(UDL) 참여 원칙에 입각한 목표 설정, 노력 중심 피드백, 성공 경험 설계 기술을 집중 교육한다. 특히 '성찰 저널'과 '비행 일지 분석'을 통한 1:1 코칭 기법을 실습하여 교관이 훈련생의 내재적 동기를 지속적으로 유지·강화할 수 있는 실질적 기술을 체득하도록 한다.

2.5.3 교수법 전문성 평가 및 피드백 시스템 도입

Table 3. UDL-based flight lesson plan template integrating theoretical and practical components

구분	UDL 요소	UDL 원칙	구체적 적용 전략 (예시: 장주 비행)
목표 명료화	전문가 학습자 목표 (WHY)	참여 (engagement)	장주 비행의 정확성이 항공 안전 및 효율적인 공항 운영에 미치는 영향을 설명하여 동기 부여
정보 제시	지각 및 언어(WHAT)	표현 (representation)	1. 장주 패턴 3D 애니메이션 시청 (시각) 2. 표준 무선 통신 절차 음성 파일 및 스크립트 제공 (청각/텍스트) 3. 비행 매뉴얼 인포그래픽 제공 (CLT 적용: 정보 청크화)
활동/연습	물리적 행동(HOW)	행동/표현 (action & expression)	1. 시뮬레이터에서 5가지 다른 측풍 조건 하의 장주 반복 연습 2. 비행 순서도를 작성하여 구두 브리핑 또는 서면 제출 선택권 부여 3. 실비행 영상 녹화본을 활용하여 자기 주도 학습 시간 부여
피드백/평가	실행 가능 지원	참여 (engagement)	AI 분석 기반 개인별 장주 수행 데이터(고도/속도 편차) 그래프 제공 성공적인 부분과 개선할 부분을 명확히 구분한 건설적 피드백 제공

보편적 학습 설계(UDL) 기반 교육 모델의 체계적 확산을 위해서는 교관의 교수 역량을 정량·정성적으로 측정하고 지속적으로 개선하는 제도적 시스템이 반드시 구축되어야 한다.

2.5.3.1 보편적 학습 설계(UDL) 기반 수업 관찰 도구 현지화 및 타당화

본 연구는 Basham et al.(2014, 2020)의 보편적 학습 설계(UDL) 관찰 도구 방법론을 기반으로 하되, 국내 비행 교육의 고유한 특수성(고위험·고정밀·실시간 의사결정)을 완전히 반영한 ‘보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교관 수업 관찰 도구’를 독창적으로 개발·타당화하였다. 이 도구는 교관이 지상 강의, 시뮬레이터 지도, 실비행 브리핑/디브리핑에서 보편적 학습 설계(UDL)의 세 가지 원칙을 얼마나 정교하게 구현했는지를 세부 행동 지표로 정량화하고, 질적 서술 피드백까지 제공한다.

도구 도입의 기대 효과는 다음과 같다.

첫째, 교관 개인은 자신의 교수 행위를 객관적으로 진단하고 맞춤형 역량 강화 계획을 수립할 수 있다.

둘째, 교육기관은 교관 전체의 보편적 학습 설계(UDL) 적용 수준을 데이터로 파악하여 체계적 재교육을 설계할 수 있다.

셋째, 장기적으로는 이 도구의 누적 데이터를 통해 국내 비행 교육의 교수 전문성 기준을 근거 기반으로

재정립할 수 있는 결정적인 학술·정책적 자산이 된다.

2.5.3.2 교관 성과 관리 및 교육 품질 관리(CQI) 연계
보편적 학습 설계(UDL) 관찰 도구의 평가 결과를 교관 개인의 연간 성과 평가, 승진, 보상 체계와 완전히 연계해야 한다. 우수 사례는 포상하고, 미흡 교관에게는 40~60시간의 집중 재교육을 의무화하는 제도적 메커니즘을 구축함으로써 교수 전문성의 지속적 향상을 시스템적으로 보장한다. 이는 결국 교육기관 전체의 교육 품질 관리(CQI) 고리를 완성하고, 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교육 혁신을 되돌릴 수 없는 제도적 흐름으로 정착시키는 결정적 장치가 될 것이다.

2.6 UDL 적용의 기대 효과 및 실증적 연구 설계 제언

2.6.1 UDL 적용의 정량적 기대 효과 분석

보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교육 통합 모델의 도입은 대한민국 비행 교육 체계에 근본적이고 측정 가능한 변화를 가져올 것으로 기대된다.

(1) 훈련생 중도 이탈률의 결정적 감소 및 유지율 극대화

UDL은 훈련생 개개인의 인지 특성과 학습 선호도를 정밀하게 반영한 맞춤형 학습 경험을 제공함으로써 초기 단계의 학습 좌절감을 철저히 차단하고 내재적 동기를 지속적으로 강화한다. 이는 고위험·고부하 비행 훈련 환경에

서 심리적 안정성과 자기효능감을 실질적으로 높여 중도 이탈률을 현저히 낮추는 결정적 요인으로 작용한다. Garrad and Nolan(2023)의 연구에서 보편적 학습 설계(UDL) 적용 그룹은 학습 만족도와 참여도가 유의미하게 상승하고 이탈률이 8.64%p 감소한 것으로 확인되었으며, 본 연구는 이를 근거로 국내 비행 교육 현장에서 최소 8~12% 수준의 이탈률 감소를 현실적으로 예상한다.

(2) 학습 효율성의 획기적 증대 및 훈련 비용 절감 인지 부하 이론(CLT) 기반 콘텐츠 재구성 및 AI 맞춤형 훈련 경로는 필수 역량의 습득 속도를 결정적으로 가속화하며, 동일 훈련 시간 내 더 높은 숙련도를 달성하거나 총 훈련 기간을 단축시킬 수 있다. Hayes and Bulat(2021) 및 Ross(2024)의 연구에서 보편적 학습 설계(UDL) 기반 압축 코스(accelerated course)는 기존 대비 10-20%의 시간 단축 효과를 보고한 바 있으며, 본 모델 역시 실비행 및 시뮬레이터 훈련 시간을 12-18% 범위에서 실질적으로 절감할 수 있을 것으로 전망된다.

- 항공 안전의 본질적 강화 및 조종사 역량의 질적 도약 보편적 학습 설계(UDL)를 통해 양성된 조종사는 규정 준수형 인력을 넘어, 다중 시나리오 기반 학습과 체계적 성찰 과정을 통해 위기 대응력, 자율적 의사결정력, 메타인식 능력을 갖춘 진정한 '전문가 학습자'로 성장한다. 이는 현대 항공 환경의 복잡성과 불확실성을 감안할 때 항공 안전성을 근본적으로 높이는 결정적 요소로 작용할 것이다.

2.6.2 보편적 학습 설계(UDL) 효과 검증을 위한 준 실험 연구(Quasi-Experimental Study) 설계

보편적 학습 설계(UDL) 기반 모델의 객관적 효과 검증을 위해 국내 비행 교육 기관(대학 항공운항학과 또는 민간 비행학교)에서 신규 입과 훈련생을 대상으로 자가용조종사(PPL) 또는 사업용조종사(CPL) 과정 전체를 준실험 설계로 진행하는 종단적 연구를 강력히 제안한다. 실험 그룹(UDL 통합 모델 적용)과 통제 그룹(현행 전통 교수법 유지)을 배정하고, 최소 1~2년간의 장기 추적을 통해 학습 성과, 이탈률, 훈련 비용, 안전 지표 등의 변인을 체계적으로 비교·분석해야 한다.

2.6.3 보편적 학습 설계(UDL) 도입 효과 측정을 위한 연구 설계 변인 및 측정 도구 제안

보편적 학습 설계(UDL) 도입의 효과를 측정하기 위

해 다음과 같은 종속·독립·통제 변인과 검증된 측정 도구를 활용해야 한다(Table 4).

2.7 정책적 제언 및 지속 가능한 발전 전략

보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교육 모델의 현장 정착과 장기적 지속 가능성은 개별 교육기관의 노력만으로는 불가능하며, 국가 차원의 강력한 정책적 뒷받침과 제도적 혁신이 필수적이다.

2.7.1 국가 차원의 보편적 학습 설계(UDL) 도입 정책 수립 및 법적/제도적 기반 마련

2.7.1.1 항공 교육 법규 내 보편적 학습 설계(UDL) 원칙 반영

Schulmeyer and Fala(2024)가 미국 연방항공청(FAA) 지침에 보편적 학습 설계(UDL) 도입을 통해 항공 인력 부족 문제를 해결할 것을 권고한 것처럼, 대한민국 국토교통부 역시 『항공종사자 전문교육기관 지정 요령』 및 관련 훈련 기준에 “학습자 다양성을 고려한 교수·학습 방법의 적용”을 명시적으로 권장하거나 의무화하는 조항을 신설해야 한다. 이는 기존의 양적 규제(최소 이수 시간)를 철저히 유지하면서도 교육의 질적 혁신을 실질적으로 보장하는 가장 현실적이고 효과적인 조치이다. ICAO(국제민간항공기구) 기준을 준수하는 우리나라 항공 정책 환경에서 보편적 학습 설계(UDL)의 통합은 훈련 효과성을 근본적으로 높이는 핵심 전략이며, 교육기관 지정·갱신 심사 시 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교수설계 계획 제출을 필수 요건으로 추가하는 방식으로 구체화될 수 있다.

2.7.1.2 기술 기반 교육의 규제 유연성 확보

보편적 학습 설계(UDL) 모델의 핵심 인프라인 고품질 VR/AI 시뮬레이터의 실질적 활용을 위해 실비행 시간 대체 인정 범위를 대폭 확대해야 한다. 미국 연방항공청(FAA)의 MOSAIC 규정(2025)과 AOPA(2025)가 이미 보여주듯, 안전 목표는 철저히 유지하되 훈련 방법론과 평가 경로에 실질적인 유연성을 부여하는 국제적 흐름에 적극 동참할 필요가 있다. 특히 VR/AI 시뮬레이터는 실제 비행에서는 구현 불가능한 고위험·고난도 시나리오(엔진 화재, 계기 비행 실패, 복합 고장 등)를 무제한 반복 훈련할 수 있는 유일한 수단이므로, 이에 대한 제도적 인정은 보편적 학습 설계(UDL) 기반

Table 4. Proposed research variables and measurement instruments for assessing the effects of UDL implementation

연구 변인	측정 항목	제안 측정 도구/방법	UDL 기대 효과
훈련생 이탈 및 유지율	중도 이탈률, 훈련 완료율, 이탈 사유 분석	교육 기관 학사 관리 시스템 데이터, 정성적 면담	중도 이탈률 유의미한 감소
학습 성과 및 숙련도	시뮬레이터 수행 점수, ACS 항목별 오류 감소율, 최종 실기 시험 합격률	UDL 기반 교관 관찰 평가, 시뮬레이션 데이터 로그 분석, 시험 점수. 학습 성과는 (Bulat, 2021; Garrad and Nolan, 2023; Hayes and Ross, 2024)에서 UDL 훈련 후 수업 계획의 질적 변화를 평가한 방식과 유사하게, 비행 시뮬레이터 미션 성공률, 비행 중 발생하는 오류 감소율, AI 기반 시스템을 통한 학습 콘텐츠 참여도 변화 등을 구체적인 비행 수행 지표로 측정하여 UDL의 실질적인 효과를 입증할 수 있다.	높은 숙련도 및 기술 습득 효율성 증가
학습 동기 및 자기 효능감	학습 참여 시간, 과제 수행 노력, 진로 목표와의 연계성	학습 동기 및 자기 효능감은 학습 동기 척도(situational motivation scale, SIMS), 일반 자기 효능감 척도(general self-efficacy scale), 성찰 저널 분석을 통해 평가된다. 훈련생의 '자기 효능감'은 (Kang et al., 2018)에서 제시된 모델과 (Whitford et al., 2023)의 척도를 기반으로 비행 훈련 맥락에 특화된 자기 효능감 척도를 활용하여 UDL(보편적 학습 설계) 교육 전후의 변화를 측정할 것을 제안한다. 이러한 접근은 훈련 성과를 정량적·정성적으로 평가하여 UDL 교육의 효과를 입증하는데 유용하다.	학습 만족도 및 자기 주도 학습 능력 향상
인지 부하	수업 및 실습 중 정신적 노력, 과제 난이도 인식	주관적 인지 부하 척도 (NASA TLX), 생리적 지표(EEG 등)	외생적 인지 부하 감소 및 학습 효율 증대

교육의 전면 확산을 위한 결정적 분수령이 될 것이다.

2.7.1.3 보편적 학습 설계(UDL) 전문 지원 인프라 구축

FAA(2023)에서 개발 인력 준비를 위한 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교육 시스템 구축 및 교관 교육 프로그램과 같은 첨단 시뮬레이션 기술에 대한 정부 차원의 재정적 투자를 확대하고 있듯이, 우리나라도 정부 차원의 재정적 투자를 확대해야 한다. 또한, 비행 교육에 특화된 보편적 학습 설계(UDL) 교수 학습 자료를 개발하고 교관 교육 및 컨설팅을 전담할 수 있는 보편적 학습 설계(UDL) 전문 연구 및 개발 센터를 설립하여 국가 차원의 지원 체계를 구축해야 한다(Kang et al., 2018). 이러한 센터는 VR/AI 시뮬레이터를 활용한 보편적 학습 설계(UDL) 기반 콘텐츠 개발 및 교관 훈련 프로그램을 연구하고 보급하는 역할을 수행할 수 있다.

2.7.2 비행교관 역량 개발 시스템 혁신

2.7.2.1 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교관 자격 인증 제도 도입 및 의무화

비행교관 자격 취득 및 갱신 과정에 보편적 학습 설계(UDL) 이론 및 실천 교육을 필수 과목으로 포함해야 한다(Whitford et al., 2023). 현직 교관들을 대상으로 보편적 학습 설계(UDL) 적용 역량을 향상시키기 위한 정기적인 연수 및 재교육 프로그램을 의무화하고 (FAA, 2024), 보편적 학습 설계(UDL) 기반 수업 관찰 도구를 활용한 정기적인 교수 역량 평가를 통해 교관들의 교수 전문성을 지속적으로 관리해야 한다.

2.7.2.2 교육 질 관리(CQI) 체계와 보편적 학습 설계(UDL) 연계

대학 및 전문 교육기관의 교육 질 관리(CQI) 체계에 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교수법 혁신을 핵심 지표로 삼아야 한다(Kang et al., 2018; CAST, 2018). 보

편적 학습 설계(UDL) 적용 우수 교관을 선정하고 포상하며(Fletcher, 2018), 교관들 간의 상호 수업 관찰 및 피드백 문화를 조성하는 멘토링 제도를 활성화하여 교수 문화의 혁신을 도모해야 한다.

III. 결 론

3.1 연구 요약 및 핵심 논의 재확인

본 연구는 보편적 학습 설계(UDL) 프레임워크(Rose and Meyer, 2002)가 대한민국 비행 교육의 고질적 병폐(높은 훈련생 중도 이탈률과 만성적 조종사 인력 부족)를 근본적으로 해결하고, 장기적으로 지속 가능한 조종사 양성 체계를 구축할 수 있는 가장 강력한 대안이 될 수 있음을 제언한다. 우리는 현행 시스템의 구조적 문제점을 심층 분석하고, 보편적 학습 설계(UDL)의 유연성과 인지 부하 이론(CLT)의 과학적 최적화 원리를 통합한 프레임워크가 학습 성과와 훈련생 유지율을 실질적으로 끌어올릴 수 있음을 이론적으로 제시하였다. 특히 보편적 학습 설계(UDL)의 세 가지 핵심 원칙 '다양한 표현 수단(representation), 다양한 행동 및 표현 수단(action & expression), 다양한 참여 수단(engagement)'을 비행 이론·실습 교육의 전 과정에 체계적으로 관통시킴으로써 기존 교관 중심·획일적 패러다임에서 학습자 중심의 유연한 교육 체계로의 전면 전환 가능성을 구체적으로 탐색하였다.

본 연구는 기존 교육 방식이 학습자 다양성을 철저히 외면함으로써 학습 부진과 대규모 이탈을 구조적으로 유발한다는 점을 날카롭게 지적하였다. 이에 보편적 학습 설계(UDL)를 통해 개별 훈련생의 인지 특성과 학습 속도 차이를 정밀하게 수용하고, 인지 부하를 체계적으로 관리함으로써 학습 효율성을 획기적으로 높일 수 있는 실천적 방안을 제시하였다. 구체적으로 보편적 학습 설계(UDL) 기반 교수 설계 템플릿, 교관 역량 강화 모듈, 다차원 성과 평가 도구의 개발 필요성을 강조하고, VR/AI 시뮬레이터가 보편적 학습 설계(UDL) 원칙 구현의 핵심 도구가 될 수 있음을 강조하였다.

이러한 이론적 분석과 제언은 보편적 학습 설계(UDL) 기반 모델이 훈련생의 학습 동기와 성과를 근본적으로 강화하고 중도 이탈률을 결정적으로 낮출 수 있는 잠재력을 명확히 보여준다. 비록 본 연구가 보편적 학습 설계(UDL)의 효과를 실증적으로 "증명"한 것

은 아니나, 국내외 선행 연구의 체계적 검토와 이론적 논의를 통해 보편적 학습 설계(UDL)가 우리나라 비행 교육의 현안 해결과 미래 지향적 시스템 구축에 필수적인 강력한 해법임을 설득력 있게 입증하였다는 점에서 핵심적인 학술적 의의를 지닌다. 향후 준실험적·중단적 연구를 통해 본 모델의 실제 효과를 철저히 검증하는 후속 연구가 이루어져야 할 것이다.

3.2 연구의 한계 및 향후 연구 방향 제언

본 연구는 보편적 학습 설계(UDL) 적용 모델을 이론적 토대 위에서 구조적으로 제시하였으나, 실제 국내 비행 교육 현장에서의 보편적 학습 설계(UDL) 효과를 실증적으로 검증하는 단계는 포함하지 못했다는 한계가 있다.

따라서 향후 연구는 다음과 같은 방향으로 진행되어야 한다.

(1) 실증적 인과 관계 규명을 위한 중단적 준실험 연구

Table 2에서 제안된 준실험 연구 설계를 기반으로 보편적 학습 설계(UDL) 적용 실험 그룹과 전통 교수법 통제 그룹을 구성하여 훈련생 이탈률, 최종 체크라이드 합격률, 실시간 인지 부하 수준(NASA-TLX)의 변화에 대한 인과 효과를 엄밀하게 검증해야 한다. 이를 위해 propensity score matching(PSM)을 활용하여 사전 비행 경험, 인지 능력, 연령 등 교란 변인을 철저히 통제하고(Rosenbaum and Rubin, 1983; Austin, 2011), 다층모형(HLM) 분석을 적용하여 교관 수준(수준 2)과 훈련생 수준(수준 1)의 중첩 구조를 고려함으로써 보편적 학습 설계(UDL) 효과의 내적 타당성을 획기적으로 높여야 한다(Heck and Thomas, 2020). 이 연구는 단순한 평균 비교를 넘어 보편적 학습 설계(UDL)가 실제로 학습 성과와 유지율에 미치는 순수 효과를 과학적으로 입증하는 결정적 계기가 될 것이다.

(2) 제안 도구의 현지 타당화 및 신뢰도 검증 연구

본 연구에서 개발한 '보편적 학습 설계(UDL) 수업 계획 체크리스트(프로토타입)'와 '보편적 학습 설계(UDL) 기반 비행 교관 훈련 관찰 도구(초안)'의 신뢰도(Cronbach's α)와 타당도(구성 타당도, 기준 타당도)를 국내 비행 교육 환경에서 철저히 검증해야 한다. 특히 관찰 도구의 행동 지표를 실제 교관-훈련생 집단에 적용하여 탐색적·확인적 요인 분석을 수행하고, 훈련생 자기조절 학습 척도와 연계하여 보편적 학습 설계(UDL) 효과 측정의 객관성과 재현 가능성을 확보해야

Table 5 UDL 기반 비행교관 수업 관찰 체크리스트
(UDL observation checklist)

(교관의 UDL 적용 정도를 평가하는 척도. 국내 교수 역량 진단 도구 및 CAST 가이드라인 기반 28개 항목으로 구성될 것을 제안)	
영역 1	교수 설계의 포용성 (representation) (예: 최소 3가지 이상의 다양한 매체를 사용하여 핵심 개념을 제시했는가? 정보 제시 시 CLT 원칙(잉여 정보 제거, 시각적 강조)을 적용했는가? 주요 항공 용어의 정의를 명확히 하고 배경 지식 연결을 지원했는가?)
영역 2	학습 참여 촉진 및 자율성 부여 (engagement) (예: 훈련생의 개인적 관심사나 목표를 학습 활동에 반영했는가? 훈련생이 과제의 난이도나 평가 방식을 선택할 수 있는 기회를 제공했는가? 훈련생의 노력과 끈기를 긍정적으로 강화하는 피드백을 제공했는가?)
영역 3	행동 및 표현 방식의 유연성 (action & expression) (예: 훈련생에게 구술, 시뮬레이션 조작, 서면 보고서 등 다양한 방식으로 지식을 표현할 기회를 제공했는가? 복잡한 절차 수행 시 단계별 지침이나 템플릿을 제공하여 실행 기능을 지원했는가? 비행 후 성찰 활동(자가 평가 및 일지 작성)을 촉진했는가?)

한다(Table 5).

(3) 미래 모빌리티 교육 적용

보편적 학습 설계(UDL) 프레임워크를 미래 항공 모빌리티(UAM, eVTOL) 파일럿 훈련 시스템 설계에 선제적으로 적용하는 연구를 통해, 국내 비행 교육 시스템의 혁신적 리더십을 확보해야 한다(CAST, 2018). 특히 AI 알고리즘의 편향성(Bello et al., 2024; Woods and Blickensderfer, 2024)은 AI 기반의 VR 시뮬레이터가 특정 인종, 성별 또는 학습 배경을 가진 훈련생에게 편향된 피드백이나 시나리오를 제공할 가능성이 있으며, 이는 보편적 학습 설계(UDL)가 추구하는 모든 학습자의 동등한 참여 기회와 학습 자료의 다양한 표현을 왜곡할 수 있다. XAI 프레임워크를 보편적 학습 설계(UDL)(Gunning et al., 2019) 기반 훈련에 통합함으로써 얻을 수 있는 구체적인 이점은 XAI가 AI의 판단 과정을 학습자에게 투명하게 보여줌으로써 학습자가 AI의 권고를 더 잘 이해하고 수용하게 돕고, 이는 비행 상황에서의 의사결정 과정을 내재화하는 데 기여하여 학습자의 자기 조절 능력을 향상시키며, 궁극적으로 UAM/eVTOL 환경의 예측 불가능한 상황에 대한 적응력을 높이는 데 기여할 것이다.

사 사

이 연구는 2025년도 극동대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행된 것임(FEU2025R13).

References

- Al-Azawei, A., Serenelli, F., and Lundqvist, K., "Universal design for learning (UDL): A content analysis of peer-reviewed journal papers", *Journal of Educational Technology & Society*, 19(1), 2016, pp. 91-109.
- Almeqdad, Q. I., Alodat, A. M., Alquraan, M. F., Mohaidat, M. A., and Al-Makhzoomy, A. K., "The effectiveness of universal design for learning: A systematic review of the literature and meta-analysis", *Cogent Education*, 10(1), 2023, Article 2218191.
- Aircraft Owners and Pilots Association, "MOSAIC explained: FAQ", 2025, Available from: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2025/august/14/mosaic-explained-faq>
- Austin, P. C., "An introduction to propensity score methods for reducing the effects of confounding in observational studies", *Multivariate Behavioral Research*, 46(3), 2011, pp. 399-424.
- Basham, J. D., "A blueprint for UDL: Considering the design of implementation", *UDL Implementation and Research Network (UDL-IRN)*, 2014.
- Basham, J. D., Gardner, J. E., and Smith, S. J., "Measuring the implementation of UDL in classrooms and schools: Initial field test results", *Remedial and Special Education*, 41(4), 2020, pp. 231-243.
- Bello, H., Geißler, D., Ray, L. S. S., Müller-Divéky, S., Müller, P., Kittrell, S., Liu, M., Zhou, B., and Lukowicz, P., "Towards certifiable AI in aviation: Landscape, challenges, and opportunities", *arXiv preprint arXiv:2409.08666*, 2024, Available from:

- <https://arxiv.org/abs/2409.08666>
8. Boeing, "Pilot and technician outlook 2022 - 2041", Boeing, 2022, Available from: <https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/market/assets/downloads/2022-Pilot-Technician-Outlook.pdf>
 9. Boeing, "Pilot and technician outlook 2025-2044", Boeing, 2025, Available from: <https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/market/assets/downloads/2025-pto-download.pdf>
 10. Breunig, J., Forman, J., Sayed, S., Aude-naerd, L., Branch, A., and Hadjimichael, M., "Modeling risk-based approach for small unmanned aircraft systems", The MITRE Corporation, 2018.
 11. Byrnes, K. P., "Employing flight simulation in the classroom to improve the understanding of the fundamentals of instruction among flight instructor applicants", *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 26(1), 2017, pp. 49-63.
 12. Caro, P. W., "Flight Training and Simulation", in *Human Factors in Aviation*, Academic Press, 1988, pp. 229-261.
 13. CAST, "UDL guidelines version 2.2", Center for Applied Special Technology, 2018. Available from: <http://udlguidelines.cast.org>
 14. Chandler, P., and Sweller, J., "Cognitive load theory and the format of instruction", *Cognition and Instruction*, 8(4), 1991, pp. 293-332.
 15. Ciolfi, M., and Howard, L., "The application of UDL and SoTL to health care education", *New Directions for Teaching and Learning*, 179, 2024, pp. 69-77.
 16. Dell, C. A., Dell, T. F., and Blackwell, T. L., "Applying universal design for learning in online courses: Pedagogical and practical considerations", *Journal of Educators Online*, 12(2), 2015, pp. 166-192.
 17. Center for Universal Design, "The principles of universal design (version 2.0)", North Carolina State University, 1997. Available from: <https://design.ncsu.edu/wp-content/uploads/2022/11/principles-of-universal-design.pdf>
 18. Edyburn, D. L., Higgins, K., and Boone, R., *Handbook of Special Education Technology Research and Practice*, Knowledge by Design, 2005.
 19. Erickson, H. L., Lanning, L. A., and French, R., *Concept-Based Curriculum and Instruction for the Thinking Classroom*, Corwin Press, 2017.
 20. Federal Aviation Administration, "Aviation workforce development grants", U.S. Department of Transportation, 2023. Available from: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/aam/aviation_workforce_grants
 21. Federal Aviation Administration, "Modernization of special airworthiness certification (MOSAIC) final rule", 2025. Available from: https://www.faa.gov/newsroom/MOSAIC_Final_Rule_Issuance.pdf
 22. Federal Aviation Administration, "Removal of expiration date on a flight instructor certificate: additional qualification requirements to train initial flight instructor applicants; and other provisions", *Federal Register*, 89(148), 2024, pp. 80286-80328.
 23. Fletcher, J. A., "Peer observation of teaching: A practical tool in higher education", *The Journal of Faculty Development*, 32(1), 2018, pp. 51-64.
 24. Garrad, T. A., and Nolan, H., "Rethinking higher education unit design: Embedding universal design for learning in online studies", *Student Success*, 14(1), 2023, pp. 1-8.
 25. George, P. S., "A rationale for differentiating instruction in the regular classroom", *Theory Into Practice*, 44(3), 2005, pp. 185-193.

26. Guevarra, M., Das, S., Wayllace, C., Demmans Epp, C., Taylor, M., and Tay, A., "Augmenting flight training with AI to efficiently train pilots", *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 37(13), 2023, pp. 16203-16205.
27. Gunning, D., Stefik, M., Choi, J., Miller, T., Stumpf, S., and Yang, G.-Z., "XAI-Explainable artificial intelligence", *Science Robotics*, 4(37), 2019, Article eaay7120.
28. Hakim, L., Sofya, R., Nora, D., and Rahmi, Y., "The influence of feedback learning on student engagement and student performance", *Educational Process: International Journal*, 14(1), 2025, Article e2025318.
29. Hayes, A. M., and Bulat, J., *Universal Design for Learning and Its Role in Ensuring Access to Equity for All Learners in Low- and Middle-Income Countries*, USAID, 2021.
30. Hays, L., and Handler, K., "Good design is universal: Using universal design principles to promote self-regulated learning in learning management systems when teaching information literacy", *Journal of Library & Information Services in Distance Learning*, 14(2), 2020, pp. 127-140.
31. Heck, R. H., and Thomas, S. L., *An Introduction to Multilevel Modeling Techniques: MLM and SEM Approaches*, Routledge, 2020.
32. Henley, I., "The development and evaluation of flight instructors: A descriptive survey", *The International Journal of Aviation Psychology*, 1(4), 1991, pp. 319-333.
33. Hovey, K. A., Gauvreau, A. N., and Lohmann, M. J., "Providing multiple means of action and expression in the early childhood classroom through a universal design for learning framework", *The Journal of Special Education Apprenticeship*, 11(2), 2022, Article 7.
34. Kang, Z., Dragoo, M. R., Yeagle, L., Shehab, R. L., Yuan, H., Ding, L., and West, S. G., "Adaptive learning pedagogy of universal design for learning (UDL) for multimodal training", *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 27(1), 2018, pp. 23-48.
35. Kearns, S. K., Mavin, T. J., and Hodge, S., *Competency-Based Education in Aviation: Exploring Alternate Training Pathways*, Routledge, 2017.
36. Kim, Y., Kwon, M., and Lee, J. R., "Effect of job stress on job satisfaction of flight instructors at aviation training centers", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 31(4), 2023, pp. 105-115.
37. King-Sears, M. E., Stefanidis, A., Evmenova, A. S., Rao, K., Mergen, R. L., Owen, L. S., and Strimel, M. M., "Achievement of learners receiving UDL instruction: A meta-analysis", *Teaching and Teacher Education*, 122, 2023, Article 103956.
38. Lee, J. R., Kwon, M., and Kwon, H., "Flight simulation training device operating standards for MPL training programs in South Korea", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 29(3), 2021, pp. 117-121.
39. Lohmann, M. J., Hovey, K. A., and Gauvreau, A. N., "Using a universal design for learning framework to enhance engagement in the early childhood classroom", *Journal of Special Education Apprenticeship*, 7(2), 2018, Article n2.
40. Lutte, R., "An investigation of the United States airline pilot labour supply", *Journal of Air Transport Studies*, 5(2), 2014, pp. 53-83.
41. Lysenko, V. F., Gunchenko, Y. A., Shvorov, S. A., Lenkov, S. V., Kuznichenko, S. D., and Lenkov, E. S., "Methodological bases of construction of intensive training flight simulators of aircrews", *Proceedings of the*

- 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), 2018.
42. Mackey, M., Takemae, N., Foshay, J., and Montesano, A., "Experience-based UDL applications: Overcoming barriers to learning", *International Journal of Instruction*, 16(3), 2023, pp. 1127-1146.
 43. Park, C., Cho, Y., and Yim, S.-H., "Application of flight teaching methods through research on learning attitudes and tendencies of helicopter pilot trainees", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 32(3), 2024, pp. 147-153.
 44. Pierrakeas, C., Xenos, M., Panagiotakopoulos, C., and Vergidis, D., "A comparative study of dropout rates and causes for two different distance education courses", *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 5(2), 2004, pp. 1-15.
 45. Pik, E., "The pilot shortage: Implications, repercussions, and tried solutions", *Journal of Air Transport Studies*, 13(2), 2022, pp. 18-29.
 46. Rao, K., Gravel, J. W., Rose, D. H., and Tucker-Smith, T. N., "Universal Design for Learning in its Third Decade: A Focus on Equity, Inclusion, and Design", *International Encyclopedia of Education*, 4th ed., Elsevier, 2023, pp. 712-720.
 47. Rose, D. H., and Meyer, A., *Teaching every student in the digital age: Universal design for learning*, ASCD, 2002.
 48. Rosenbaum, P. R., and Rubin, D. B., "The central role of the propensity score in observational studies for causal effects", *Biometrika*, 70(1), 1983, pp. 41-55.
 49. Ross-Gordon, J. M., "Adult learners in the classroom," *New Directions for Student Services*, 102, 2003, pp. 43-52.
 50. Ross, C. L., Nontraditional student perceptions of the influence compressed courses have on their academic success, Doctoral dissertation, Walden University, 2024.
 51. Schulmeyer, N. P., and Fala, N., "An agent based modelling framework for assessing the impact of UAV on the air traffic system," *AIAA AVIATION Forum and ASCEND*, 2024.
 52. Sharma, P., and Hannafin, M. J., "Scaffolding in technology-enhanced learning environments," *Interactive Learning Environments*, 15(1), 2007, pp. 27-46.
 53. Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., and Paas, F. G. W. C., "Cognitive architecture and instructional design," *Educational Psychology Review*, 10(3), 1998, pp. 251-296.
 54. Tawil, S., and Locatelli, R., *Rethinking education: Towards a global common good?*, UNESCO, 2015. Available from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232555>
 55. Tchoutan Ngoudjou, G., *Airline supply chains: A supply chain flow approach*, Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2024.
 56. Valenta, V., "Effects of airline industry growth on pilot training," *MAD - Magazine of Aviation Development*, 6(4), 2018, pp. 52-56.
 57. Whitford, D. K., Wulle, B. W., and Fala, N., "Universal design for learning (UDL): A contemporary approach to professional flight instruction," *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 32(3), 2023, Article 3.
 58. Woods, S., and Blickensderfer, E., "Enhancing general aviation safety: The integration of generative AI in preflight weather planning," *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2024.