

ISSN 2287-5026 (Print)  
ISSN 2288-159X (Online)

# Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers

2026 **4** 제 63 권 4호

Vol.63, No.4 April 2026

## AI Signal Processing

- 69 S2F-CLIP: CLIP-based Adaptive Fusion of Sequence and Similarity for Short-term Action Recognition / Yeong-seok Lee and Yun-ha Park
- 78 Design and Performance Analysis of a Cross-attention Transformer Model for Single-person 3D Keypoint Detection / In-Yeong Shin and Seung-Ho Lee
- 84 Performance-improving Dimensionality Reduction with Tensor Decomposition and Integrated Positional Encoding / Hee-Yeol Lee and Seung-Ho Lee
- 91 Adaptive Class-aware Transfer Learning for Semantic Segmentation in Off-road Autonomous Driving / Je-ho Ryu, Yong-hwi Kim, SeungJoo Lee, Tae-Yoon Lim, Ho-Jung Sohn, Yong-Jin Jo, and Jihyuk Cho
- 104 Mitigating Korean Semantic Ambiguity and Improving Classification Performance via Cross-attention-based Fusion of English Multi-representations / Tae-Yoon Lee and Seung-Ho Lee
- 110 Cross-Attention Fusion for Audio-Visual Multimodal Emotion Recognition / Jeong-Yoon Kim and Seung-Ho Lee
- 117 TranAD-GAT : Improvement of Anomaly Detection Model by Simultaneous Reflection of Time and Variable Relationships in Multivariate Time Series Data / Jun-Hyeok Oh and Seung-Ho Lee

## Industry Electronics

- 125 Region-based Approach for Safe Target Tracking of Multirotor UAVs based on GPS / Jeonggeun Lim

전자공학회 논문지

2026  
4

제 63 권  
4호

IEIE  
사단  
법인  
대한전자공학회

## Semiconductor and Devices

- 3 Design and Implementation of an IREE Bytecode Interpreter on RISC-V SoCs for Efficient AI Inference / Sangcheol Park, Jin-Ku Kang, and Yongwoo Kim
- 12 Design and Implementation of an IREE Compiler based RISC-V SoC Architecture for On-device AI Inference / SuHwan Park, Jin-Ku Kang, and Yongwoo Kim
- 22 Performance Evaluation of a Bandwidth-efficient Systolic Array with Adaptive Block-wise Data Reuse / Young-Jun Hwang and Young-Sik Kim
- 29 A Design of Low-power, High-resolution Capacitance-to-pulse Time Converters based on OTA-C Integration / Jae-Bon Lee, Doojin Jang, and Ji-Mann Park
- 38 A 30V APT Buck Converter to Improve Efficiency of GaN Power Amplifiers in Base-station Applications / Seong-Jun Youn, Jeonghun Kim, Min-Ju Kim, Gyujin Choi, Soo-Jin Park, So-Min Park, Sung-Uk We, and Ji-Seon Paek
- 45 High Voltage Level Selection Swtich to improve 5G BS-PA power Efficiency / Juyeon Myung, Ik-Jun Choi, Min-Ju Kim, and Ji-Seon Paek

## Computer and Information

- 53 Communication-optimized Tensor Parallelism for Efficient Multi-GPU Training of Complex-valued CNNs / Sunwoo Kim, Jane Rhee, and Myung Kuk Yoon

WWW.theieie.org

Vol.63, No.4 April 2026

The Institute of Electronics and Information Engineers (IEIE)  
Room #907, The Korea Science Technology Center The first building, 22,  
Teheran-ro 7 Gil, Gangnam-gu, Seoul, Republic of Korea



전자공학회 논문지

•이 논문집은 한국연구재단 우수등재학술지임.



# 차 례

2026년 4월

제63권 제4호

## SD / 반도체

### [ SoC 설계 ]

- 3 효율적인 AI 추론을 위한 RISC-V 기반 IREE 바이트코드 인터프리터의 설계 및 구현 ..... 박상철, 강진구, 김용우
- 12 온디바이스 AI 추론을 위한 IREE 컴파일러 기반 RISC-V SoC 아키텍처 설계 및 구현 ..... 박수환, 강진구, 김용우
- 22 적응형 데이터 재사용 기법을 적용한 대역폭 효율적 시스틀릭 어레이 아키텍처의 성능 평가 ..... 황영준, 김영식
- 29 OTA-C 적분 기반 저전력·고분해도 용량-펄스시간 변환기 설계 ..... 이재분, 장두진, 박지만

### [ RF 집적회로기술 ]

- 38 기지국용 GaN PA 전력 효율 개선을 위한 30V APT Buck Converter ..... 윤성준, 김정훈, 김민주, 최규진, 박수진, 박소민, 위성욱, 백지선
- 45 5G용 BS-PA 전력 효율 개선을 위한 고전압 Level Selection Switch ..... 명주연, 최익준, 최규진, 김민주, 백지선

## CI / 컴퓨터

### [ 인공지능 및 보안 ]

- 53 복소수 합성곱 신경망의 효율적인 다중 GPU 학습을 위한 텐서 병렬화 기반 통신 최소화 기법 ..... 김선우, 이제인, 윤명국

## AISP / 인공지능 신호처리

### [ 영상 신호처리 ]

- 69 S2F-CLIP: CLIP 기반 시퀀스 및 유사도 적응적 융합을 이용한 단기 행동 인식 ..... 이영석, 박윤하
- 78 단일 사람 3D 키포인트 검출을 위한 Cross Attention 트랜스포머 모델 설계 및 성능 분석 ..... 신인영, 이승호
- 84 성능 향상을 위한 Positional Encoding을 통합한 텐서 분해 기반 차원 축소 기법 ..... 이희열, 이승호
- 91 야지 자율주행을 위한 적응형 클래스 인지 전이학습 기반의 의미론적 분할 ..... 류제호, 김용휘, 이승주, 임태윤, 손호정, 조용진, 조지혁

### [ 음향 및 신호처리 ]

- 104 교차 어텐션 기반의 영어 다중 표현 융합을 이용한 한국어 의미 모호성 완화 및 분류 성능 향상 ..... 이태윤, 이승호
- 110 오디오-비주얼 멀티모달 감정 인식을 위한 Cross-Attention Fusion ..... 김정윤, 이승호
- 117 TranAD-GAT : 다변량 시계열 데이터의 시간과 변수 관계 동시 반영을 통한 이상 탐지 모델 개선 ..... 오준혁, 이승호

## IE / 산업전자

### [ 신호처리 및 시스템 ]

- 125 GPS 기반 멀티로터 UAV의 안전한 목표 추적을 위한 영역 기반 접근법 ..... 임정근

논문 2026-63-4-12

# 교차 어텐션 기반의 영어 다중 표현 융합을 이용한 한국어 의미 모호성 완화 및 분류 성능 향상

(Mitigating Korean Semantic Ambiguity and Improving Classification  
Performance via Cross-attention-based Fusion of English  
Multi-representations)

이 태 윤\*, 이 승 호\*\*

(Tae-Yoon Lee and Seung-Ho Lee<sup>©</sup>)

## 요 약

본 논문은 교차 어텐션 기반의 영어 다중 표현 융합을 이용한 한국어 의미 모호성 완화 및 분류 성능 향상 방법을 제안한다. 한국어는 복잡한 어미 활용과 구조적 모호성으로 인해 최신 NLP 기술의 발전에도 불구하고 영어 모델 대비 성능 격차가 여전히 존재한다. 이를 해결하기 위해 제안하는 모델은 기계 번역된 병렬 코퍼스를 입력으로 사용하며, 단순 임베딩을 넘어 자모(Jamo) 및 문자 단위 N-gram TF-IDF를 보조 특징으로 추출해 미세한 형태소 정보를 보강하였다. 이렇게 추출된 이중 언어 특징들은 교차 어텐션(Cross-Attention)을 통해 융합되는데, 이 과정에서 명확한 문장 성분을 가진 영어의 특성을 단서로 활용하여 한국어의 의미적 불확실성을 상호 보완한다. 또한, 교차 엔트로피 손실에 지도형 대조 학습(Supervised Contrastive Loss)을 결합하여 입력 문장 형태 변화에도 강건한 모델을 구축하였다. K-MHaS 데이터셋 실험 결과, 제안 모델은 F1-weighted 0.9317, 정확도 0.9212를 기록하며 기존 단일 언어 모델 대비 유의미한 성능 향상을 입증하였다.

## Abstract

In this paper, we proposes a method of mitigating Korean semantic ambiguity and improving classification performance via cross-attention-based fusion of English multi-representations. Despite advancements in NLP, a performance gap persists for Korean due to its complex ending inflections and structural ambiguity compared to English-based models. To address this, our approach utilizes a machine-translated parallel corpus and reinforces fine-grained morphological details by extracting Jamo and character-level N-gram TF-IDF as auxiliary features. These heterogeneous features are fused via Cross-Attention, leveraging English's clear sentence constituents as cues to mutually complement Korean's semantic uncertainty. Furthermore, combining Supervised Contrastive Loss with Cross-Entropy Loss during training ensures model robustness by increasing vector cohesion against input variations. Experimental results on the K-MHaS dataset show that the proposed model achieves an F1-weighted score of 0.9317 and an accuracy of 0.9212, demonstrating significant improvement over existing monolingual models.

**Keywords** : Agglutinative language, Supervised contrastive learning, Multilingual representation, Morphological awareness, Natural language processing

\*학생회원, \*\*평생회원, 국립한밭대학교 전자공학과(Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University)

<sup>©</sup> Corresponding Author(E-mail : shyolee@hanbat.ac.kr)

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 학·석사연계ICT핵심인재양성사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2026-RS-2022-00156212).

Received ; December 19, 2025

Revised ; January 16, 2026

Accepted ; January 21, 2026

## I. 서론

최근 자연어 처리(NLP) 분야는 대규모 다국어 언어 모델의 등장으로 비약적인 발전을 이루었으나, 언어 간 구조적 차이로 인한 정보 이론적 한계와 성능 격차는 여전히 해결해야 할 주요 과제로 남아있다<sup>[1]</sup>. 특히 영어와 같이 문법적 구조가 명확한 고립어와 달리, 한국어는 어간에 조사나 어미가 결합하는 교착어적 특성을 가지며, 이러한 언어적 상이성은 최신 한국어 언어 모델 평가(KLUE)에서도 영어 기반 모델 대비 뚜렷한 성능 저하의 원인으로 지적되고 있다<sup>[2]</sup>. 이와 같은 구조적 모호성은 특히 혐오 표현 탐지와 같이 고도의 문맥 이해가 요구되는 과제에서 모델의 판단력을 흐리게 하며, 실제로 한국어 온라인 뉴스 댓글 데이터셋 구축 연구에서도 이러한 언어적 특수성으로 인한 난이도가 보고된 바 있다<sup>[3]</sup>.

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 이중 정보 간의 상호 보완적 결합을 가능케 하는 교차 어텐션(Cross-Attention) 메커니즘을 적용하여 영어의 명확한 문장 성분 정보를 한국어의 의미적 단서로 활용하는 융합 방법론을 제안한다<sup>[4]</sup>. 또한, 단순한 분류 정확도 향상을 넘어 임베딩 공간 내에서의 클래스 간 응집도를 높이기 위해, 최근 NLP 분야의 파인튜닝 단계에서 그 효용성이 입증된 지도형 대조 학습(Supervised Contrastive Learning)을 도입하여 모델의 강건함을 강화하였다<sup>[5]</sup>.

아울러 본 연구는 모델의 일반화 성능을 극대화하기 위해, 텍스트 분류 과제에서 성능 향상을 이끌어내는 것으로 알려진 무작위 삭제 및 교체 기반의 데이터 증강 기법을 학습 과정에 적용하였다<sup>[6]</sup>. 모델의 기반 아키텍처로는 대규모 비지도 학습을 통해 언어 간 표현을 정렬한 공유 다국어 인코더(XLM-R)를 채택하여 한국어와 영어의 의미 정보를 공통된 벡터 공간으로 투영하였다<sup>[7]</sup>. 마지막으로, 다국어 인코더가 놓칠 수 있는 한국어의 미세한 형태론적 정보를 보강하기 위해, 자모 및 음절 단위의 특징 추출이 한국어 텍스트 분류에 유효하다는 선행 연구에 기반하여 자모(Jamo) 및 N-gram TF-IDF를 보조 특징으로 융합하였다<sup>[8]</sup>.

본 논문은 이러한 다각적인 접근을 통해 한국어의 언어적 한계를 영어의 구조적 정보로 상호 보완하고, 최종적으로 한국어 텍스트 분류 성능을 획기적으로 향상시키는 것을 목표로 한다.

## II. 본론

### 1. 제안 방법의 전체 프레임워크

본 연구에서 제안하는 모델은 한국어의 교착어적 한계를 영문 다중 표현의 대조적 융합으로 보완하여 분류 성능을 극대화하는 것을 목적으로 한다. 전체적인 학습 파이프라인은 그림 1과 같이 진행된다.

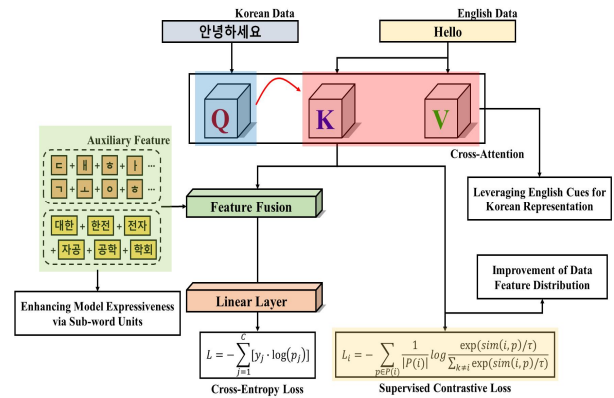


그림 1. 제안 방법의 전체 프레임워크 구조도  
Fig. 1. Overall Architecture of the Proposed Method.

학습 과정은 크게 세 단계로 구분된다. 우선, 한국어 원문 데이터를 기계 번역 시스템을 통해 영어로 변환하여 병렬 코퍼스를 구축하고, 데이터의 다양성 확보를 위해 확률적 증강 기법을 적용한다.

다음으로, 구축된 데이터셋에서 이원화된 특징 추출을 수행한다. 공유된 다국어 인코더를 통해 양 언어의 의미론적 임베딩 벡터를 생성함과 동시에, 한국어의 형태적 특성을 반영하기 위해 자모 및 N-gram 기반의 TF-IDF 보조 특징을 별도로 산출한다.

최종적으로 추출된 특징들은 두 가지 손실 함수를 통해 학습된다. 의미 벡터의 pair는 지도형 대조 학습을 통해 임베딩 공간 내에서의 정렬을 유도하며, 교차 어텐션으로 융합된 최종 특징 벡터는 분류 손실 함수를 통해 최적화된다. 모델은 이 두 가지 손실의 합을 최소화하는 방향으로 업데이트된다.

### 2. 병렬 코퍼스 구축

제안 모델은 이중 언어 간의 상호 보완적 정보를 활용하므로, 고품질의 한국어-영어 병렬 데이터셋 구축이 선행되어야 한다. 번역의 질이 낮을 경우 원문의 의미가 훼손되어 모델의 학습 성능을 저하시킬 위험이 있다. 이에 본 연구에서는 K-MHaS 데이터셋의 모든 한

국어 문장을 고성능 번역 API를 활용하여 영어로 변환함으로써 신뢰도 높은 병렬 코퍼스를 생성하였다. 이렇게 쌍을 이룬 한국어와 영어 문장은 동일한 감정 레이블을 공유하게 되며, 이는 후술할 지도형 대조 학습 과정에서 긍정 쌍(Positive Pair)을 정의하는 핵심적인 기준이 된다.

3. 확률적 텍스트 변형 기법

한정된 학습 데이터 내에서 모델의 과적합을 방지하고, 다양한 입력 패턴에 대한 강건성을 확보하기 위해 훈련 단계에서 데이터 증강을 수행하였다. 원본 한국어 텍스트에 대해 다음 두 가지 기법이 확률적으로 적용된다.

첫째, 무작위 삭제 기법이다. 이는 문장 내 전체 단어 중 일정 비율(예: 10%)을 임의로 제거하는 방식으로, 모델이 특정 단어에 과도하게 의존하는 것을 막고 문맥을 통한 추론 능력을 배양한다.

둘째, 무작위 교환 기법이다. 문장 내 두 단어의 위치를 맞바꾸는 이 방식은, Transformer 기반 모델이 엄격한 어순에 구애받지 않고 문장의 핵심적인 의미 정보를 포착하도록 유도하는 역할을 한다.

4. 이중 언어 특징 추출 메커니즘

본 모델은 텍스트의 심층적인 의미 정보와 표층적인 형태 정보를 동시에 활용하기 위해, 다음과 같이 이원화된 특징 추출 과정을 거친다.

가. 공유 다국어 인코더 기반의 의미 표현

문맥에 내포된 고차원적 의미를 포착하기 위해 사전 학습된 다국어 언어 모델(Multilingual PLM)을 공유 인코더로 채택하였다. 한국어 원문과 이에 대응하는 영어 번역문은 동일한 인코더를 통과하며, 인코더의 최종 레이어에서 출력된 토큰 시퀀스의 hidden state들에 대해 평균 mean-pooling을 수행한다. 이를 통해 가변 길이의 문장 정보를 압축한 고정 크기의 의미 벡터를 획득한다. 수식 (1)은 이러한 과정을 통해 도출된 한국어 및 영어의 핵심 의미 표현 벡터를 나타낸다

$$h_{ko}, h_{en} \in \mathbb{R}^{d_{plm}} \tag{1}$$

나. 형태론적 정보 보강을 위한 보조 특징

일반적인 PLM은 형태소 변화가 심한 한국어의 미세한 문법적 정보를 놓칠 가능성이 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 통계적 가중치 기법인 TF-IDF

(Term Frequency-Inverse Document Frequency)를 활용하여 두 가지 보조 특징을 추출한다. TF-IDF는 특정 단어의 문서 내 빈도와 전체 문서 집합 내 역빈도를 고려하여 그 중요도를 수치화한다. 첫째, 자모(Jamo) TF-IDF는 한글을 초성, 중성, 종성 단위로 분해하여 자모의 분포 패턴을 벡터화한다. 둘째, 문자 N-gram TF-IDF는 텍스트를 N개 단위의 문자열로 분절하여 빈도 특징을 추출한다. 이러한 서브 캐릭터(Sub-character) 수준의 접근은 용언의 활용이나 파생어 등에서 나타나는 공통적인 자모 패턴을 포착하여 교차어적 특성에 강건한 모델링을 가능하게 한다. 또한, 신조어나 오타와 같이 사전에 없는 단어(OOV)에 대해서도 유연하게 대처할 수 있게 한다. 이외에도 문장 길이, 특수문자 빈도 등의 스칼라 특징이 함께 계산되어 입력 정보의 풍부함을 더한다. 그림 2는 이러한 보조 특징 추출 프로세스를 도식화한 것이다.

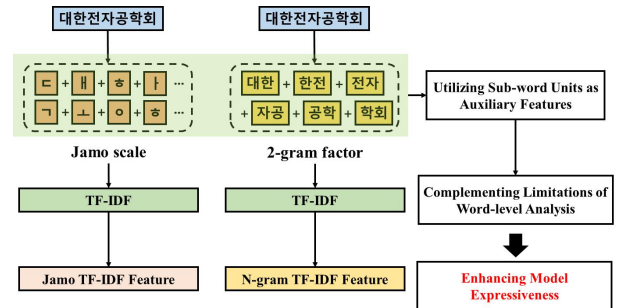


그림 2. 형태론적 정보 보강을 위한 보조 특징 추출 방법  
Fig. 2. Auxiliary Feature Extraction Method for Reinforcing Morphological Information.

5. 특징 융합 모델 및 손실 함수 설계

본 연구의 핵심 알고리즘은 교차 어텐션 기반의 이중 언어의 fusion과 지도형 대조 학습으로 특징 공간의 최적화로 요약된다. 모델의 상세 구조 및 동작 원리는 다음과 같다.

우선, 모델의 입력은 한국어 의미 벡터  $h_{ko}$ , 영어 의미 벡터  $h_{en}$ , 그리고 보조 특징 벡터  $f_{aur}$ 로 구성된다.

다음으로, 교차 어텐션을 통해 언어 간 정보를 융합한다. 이때, 의미적 불확실성이 높은 한국어 표현  $h_{ko}$ 을 Query로 설정하고, 상대적으로 문장 성분이 명확한 영어 표현  $h_{en}$ 을 key와 value로 사용해 attention 메커니즘을 수행한다. 이를 위해 각 입력 벡터는 학습 가능한 가중치 행렬을 통해 선형 변환된다. 수식 (2)-(4)는 각각 변환된 Q, K, V를 정의한다.

$$Query = \mathbb{Q} = h_{ko} W_Q \quad (2)$$

$$Key = \mathbb{K} = h_{en} W_K \quad (3)$$

$$Value = \mathbb{V} = h_{en} W_V \quad (4)$$

이 과정을 통해 산출된 어텐션 결과값  $h_{attn}$ 은 영어 문장의 명확한 구조적 단서를 바탕으로 한국어 표현을 보정한 결과물이다. 수식 (5)는 이러한 융합 표현의 산출 식을 나타낸다.

$$h_{attn} = Attention(\mathbb{Q}, \mathbb{K}, \mathbb{V}) = softmax\left(\frac{\mathbb{Q}\mathbb{K}^T}{\sqrt{d_k}}\right)\mathbb{V} \quad (5)$$

이어서 최종 특징 벡터를 생성한다. 분류기의 입력으로 사용될 최종 벡터  $h_{fused}$ 는 원본 한국어 벡터, 교차 어텐션을 통과한 융합 벡터, 그리고 별도의 linear layer를 거친 보조 특징 벡터들을 결합(Concatenation)하여 형성된다. 이는 의미적 맥락과 형태적 특징을 모두 포함하는 고밀도 표현이다. 수식 (6)은 최종 특징 벡터의 구성을 보여준다.

$$h_{fused} = concat([h_{ko}, h_{attn}, Proj(f_{aur})]) \quad (6)$$

마지막으로, 모델은 분류 성능과 표현 학습의 효율을 동시에 높이기 위해 이중 손실 함수를 사용한다. 최종 벡터  $h_{fused}$ 는 MLP 분류기를 거쳐 감정 레이블을 예측하며, 이때 예측값과 실제값 사이의 교차 엔트로피 오차를 통해 분류 손실을 계산한다. 동시에, 임베딩 공간  $\mathbb{Z}$ 으로 투영된 한국어  $h_{ko}$ 와 영어  $h_{en}$  표현에 대해 지도형 대조 손실을 적용한다. 이는 동일한 감정 레이블을 가진 샘플들의 거리를 좁히고 다른 레이블 간의 거리는 멀어지게 하여, 입력 문장의 형태 변화에도 변치 않는 강건한 특징 공간을 구축한다. 최종적으로 모델은 이 두 손실 함수의 가중 합( $L_{total} = L_{cls} + \alpha \cdot L_{supcon}$ )을 최소화하도록 학습된다. 그림 3은 제안하는 모델의 전체적인 아키텍처를 보여준다.

### III 실험

#### 1. 실험 환경

본 논문에서 제안하는 모델의 학습과 추론은 Intel(R) Xeon(R) Silver 4210 2.2GHz CPU와 128GB의 시스템 메모리, 그리고 24GB의 V-RAM을 탑재한 NVIDIA RTX A5000 GPU 기반의 하드웨어 환경에서

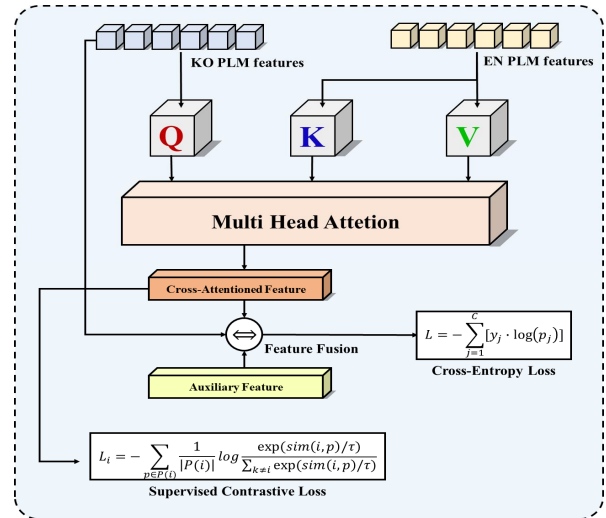


그림 3. 교차 어텐션 융합 및 이중 손실 최적화를 활용한 제안 모델의 전체 아키텍처

Fig. 3. Overall architecture of the proposed model utilizing Cross-Attention fusion and dual loss optimization.

수행되었다. 소프트웨어 환경으로는 Ubuntu 20.04 운영체제를 기반으로 딥러닝 프레임워크인 Pytorch 2.6.0+ cu126 및 CUDA 12.6 버전을 사용하였으며, 언어 모델 구현을 위해 Transformers 4.50.0 라이브러리를 활용하여 실험을 진행하였다.

#### 2. 데이터셋

영어 다중 표현의 융합이 한국어 텍스트 분류 성능에 미치는 영향을 검증하기 위해, 본 논문에서는 K-MHaS(Korean Multi-label Hate Speech) 데이터셋<sup>[9]</sup>을 채택하였다. 이 데이터셋은 뉴스 댓글을 기반으로 수집된 약 10만 9천 개 이상의 문장으로 구성되어 있으며, 정치, 지역, 욕설, 편견 등 8가지의 다양한 혐오 표현 유형에 대한 다중 레이블을 포함한다. 특히 K-MHaS는 교착어 특유의 복잡한 어미 변화와 문맥적 모호성, 그리고 다중 문장 구조를 빈번하게 포함하고 있어, 본 연구가 목표로 하는 언어적 한계 극복 및 고난도 분류 성능을 평가하기에 적합한 데이터이다.

실험은 8개 범주 전체 데이터를 대상으로 진행되었으며, 한국어 원문과 이에 대응하는 영어 번역문 및 다중 표현을 대조군으로 구성하여 입력을 처리하였다. 모든 텍스트 데이터는 토큰나이징 과정을 거쳐 최대 시퀀스 길이를 128로 통일하였다.

데이터셋 분할은 전체의 80%를 모델 학습에, 나머지 20%를 성능 평가에 사용하도록 무작위 배정하였으며, 학습 단계에서는 한국어와 영어의 특징이 효과적으로

융합될 수 있도록 두 언어 정보를 동시에 입력받는 구조를 취하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안하는 대조적 융합 방법론이 한국어의 교착어적 특성으로 인한 한계를 극복하고 분류 정확도를 개선하는지 확인하기 위해, 기존의 대표적인 단일 언어 모델들과의 비교 실험을 수행하였다. 비교 대상으로는 다국어 모델인 BERT-multilingual을 포함하여, 한국어에 특화된 KoBERT, KoELECTRA, KR-BERT-c, KR-BERT-s를 선정하였다. 각각의 모델은 모두 동일하게 3배 증강된 데이터에 대해 고정된 seed로 분할하여 실험을 진행하였다. 표 1은 동일한 데이터셋 환경에서 각 모델이 기록한 분류 성능을 비교한 결과이다. 성능 평가지표로는 전체적인 정답률을 나타내는 Accuracy와 함께, 클래스별 데이터 분포를 고려하여 가중 평균한 F1 weighted score, 그리고 모든 클래스를 동등하게 취급하여 평균한 F1 macro score를 사용하여 모델의 성능을 다각도로 분석하였다. 모든 성능 지표 수치는 100배 scale 하였다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 딥러닝 모델의 loss, F1-score 및 accuracy에 대한 학습 추이를 나타낸다.

표 1. 제안 모델과 기존 모델의 정량적 성능 비교  
Table 1. Quantitative performance comparison between the proposed model and baseline models.

Language model	Accuracy (↑)	F1 macro (↑)	F1 weighted (↑)
BERT (Multilingual)	88.78	69.12	81.19
KoELECTRA (Korean-single)	91.22	72.45	84.80
KoBERT (Korean-single)	90.83	76.51	84.24
KR-BERT-s (Korean-single)	90.76	72.45	84.37
KR-BERT-c (Korean-single)	90.28	74.44	84.70
<b>The proposed method (Multilingual)</b>	<b>92.12</b>	<b>91.04</b>	<b>93.17</b>

또한, 본 논문에서는 제안하는 다중 기법들의 유기적인 결합 효과를 검증하기 위해, 단순히 한국어와 영어 특징을 concatenation한 모델과의 비교 분석을 수행하였다. 실험 결과, 별도의 융합 메커니즘 없이 이중 언어

정보를 단순히 결합한 경우 accuracy 88.25%, f1-macro 77.95%, f1-weighted 79.46%를 기록하여 한국어 단일 모델보다 오히려 소폭 하락한 성능을 보였다. 이는 정렬되지 않은 언어 정보의 단순 추가가 학습에 노이즈로 작용했기 때문으로 판단된다. 이에 반해, 교차 어텐션 기반의 융합과 형태론적 보조 특징, 지도형 대조 학습을 모두 적용한 제안 모델은 단순 결합 방식 대비 Accuracy는 3.87%, f1-macro는 13.09%, f1-weighted는 13.71% 향상된 최종 성능을 달성하였다. 이러한 결과는 제안하는 방법론이 각 모듈의 단순한 합을 넘어, 이중 정보 간의 상호 보완적 시너지를 통해 분류 성능을 획기적으로 개선했음을 입증한다.

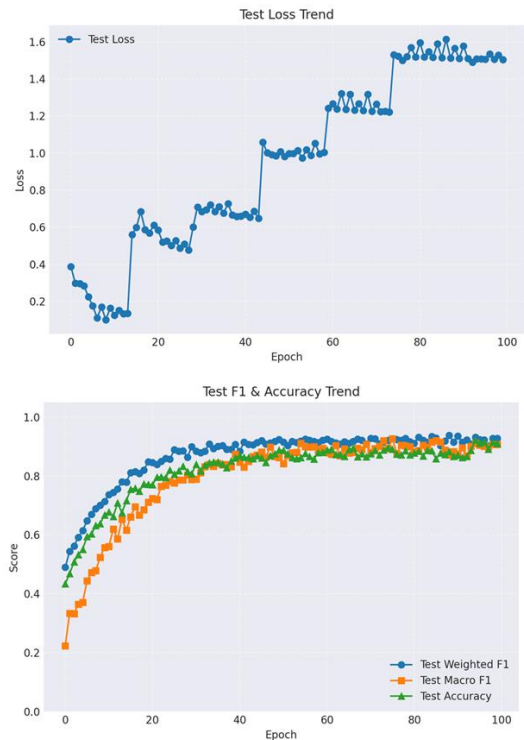


그림 4. 제안한 딥러닝 모델의 loss, F1-score 및 accuracy에 대한 학습 추이

Fig. 4. Training trends for loss, F1-score and accuracy of the proposed deep learning model.

IV. 결 론

본 논문에서는 영어의 다중 표현을 대조적으로 융합함으로써 한국어가 가진 교착어적 구조의 한계를 넘어서고, 이를 통해 분류 성능을 극대화하는 새로운 기법을 제시하였다. 제안된 아키텍처는 한국어 원문과 기계번역된 영문을 병렬로 처리하며, 공유된 다국어 인코더와 교차 어텐션 메커니즘, 그리고 자모 등의 보조 특징

을 유기적으로 결합하여 정밀한 감정 분류를 수행한다. 실험을 통해 확인한 결과, cross-attention 및 지도형 대조 학습을 적용한 본 융합 방법론은 기존의 단일 언어 모델 대비 유의미하게 향상된 정확도와 F1 점수를 달성하였다. 이는 고립어인 영어가 제공하는 명확한 언어적 단서가 교착어인 한국어의 구조적 난점을 보완하는 데 실질적인 기여를 함을 증명한다. 이러한 이중 언어 간의 상호 보완적 메커니즘은 혐오 표현 분류에 국한되지 않으며, 문장의 호흡이 길고 구조적 복잡도가 높은 뉴스 분석이나 의미의 명확성이 필수적인 법률 문서 분류 등 다양한 자연어 처리 도메인에서도 범용적인 성능 향상을 이끌어낼 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 본 연구는 분류 성능의 극대화에 집중한 만큼 그에 따른 연산 비용 증가에 대한 심도 있는 분석은 수행되지 않았으며, 향후 연구를 통해 모델의 효율성 개선 및 최적화가 이루어져야 할 것이다.

## REFERENCES

[1] Chi, Z. et al. (2021). InfoXLM: An Information-Theoretic Framework for Cross-Lingual Language Model Pre-Training. Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, 3576-3588.

[2] Park, S. et al. (2021). KLUE: Korean Language Understanding Evaluation. Datasets and Benchmarks Track of the Neural Information Processing Systems (NeurIPS) 2021.

[3] Moon, J. et al. (2020). BEEP! Korean Corpus

of Online News Comments for Toxic Speech Detection. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 25-31.

[4] Tsai, Y. H. H. et al. (2019). Multimodal Transformer for Unaligned Multimodal Language Sequences. Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 6558-6569.

[5] Gunel, B. et al. (2021). Supervised Contrastive Learning for Pre-trained Language Model Fine-tuning. International Conference on Learning Representations (ICLR) 2021.

[6] Wei, J., & Zou, K. (2019). EDA: Easy Data Augmentation Techniques for Boosting Performance on Text Classification Tasks. Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 6382-6388.

[7] Conneau, A. et al. (2020). Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 8440-8451.

[8] Choi, S. et al. (2017). Syllable-based and Character-based Korean Text Classification with Convolutional Neural Networks. Proceedings of the KIISE Korea Computer Congress 2017, 760-762.

[9] Lee, J. et al. (2022). K-MHaS: A Multi-label Hate Speech Detection Dataset in Korean Online News Comment. Proceedings of the 29th International Conference on Computational Linguistics (COLING 2022), 3530-3538

## 저 자 소 개



이 태 윤(학생회원)  
2025년 국립한밭대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2025년~현재 국립한밭대학교  
전자공학과 석사과정.

<주관심분야: 자연어처리, 딥러닝>



이 승 호(평생회원) - 교신저자  
1986년 한양대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1989년 한양대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
1994년 한양대학교 전자공학과  
박사 졸업.

1994년~현재 국립한밭대학교 전자공학과 교수  
<주관심분야: 영상신호처리, 딥러닝, AR>