

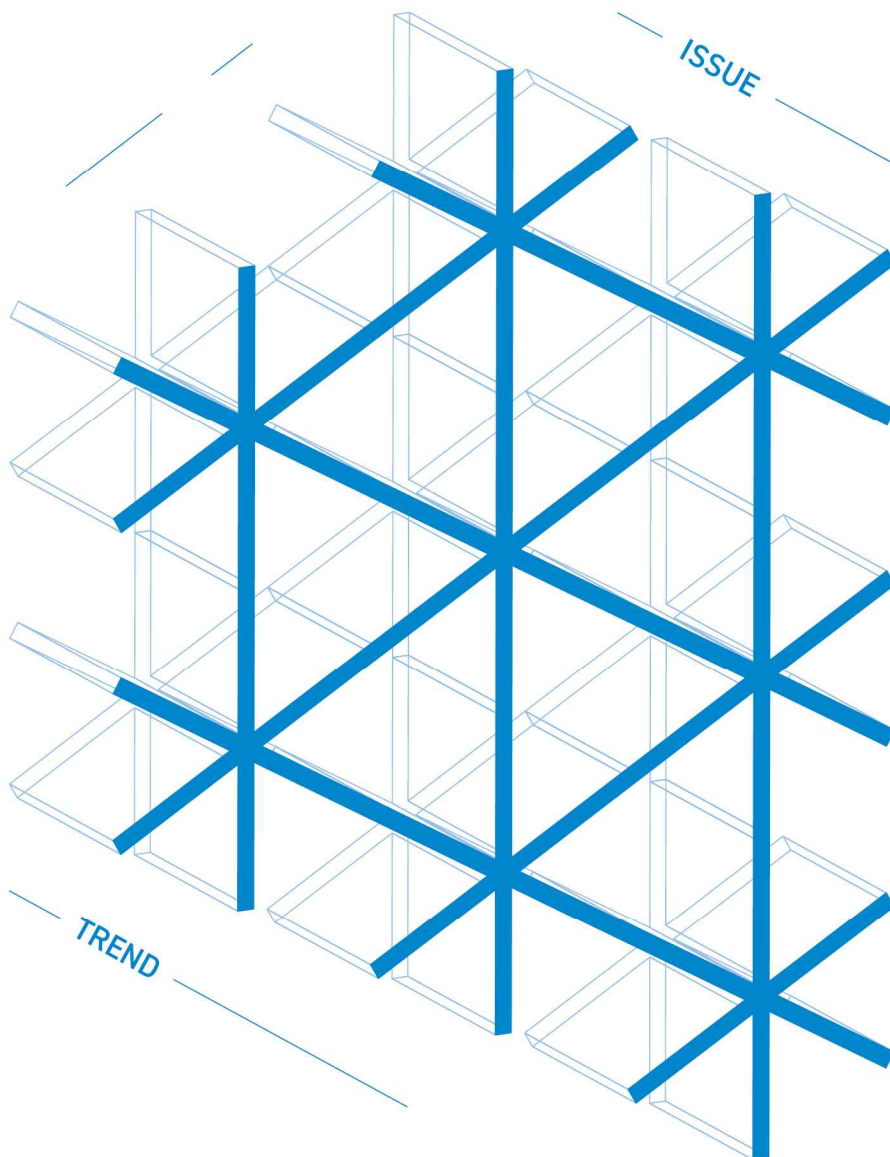
SSiS 이슈&트렌드

Vol. 03

발행인 김현준

발행처 한국사회보장정보원

발행일 2025년 08월 01일



신기술

응급안전안심 서비스 고도화를 위한
경량 엣지 컴퓨팅 기반 플랫폼 설계 전략

한국사회보장정보원 | 임덕선

응급안전안심 서비스 고도화를 위한 경량 엣지 컴퓨팅 기반 플랫폼 설계 전략



【요약】

고령자 및 취약계층의 응급상황 대응 시 발생하는 네트워크 불안정성과 현장 인지의 한계를 보완하기 위해, 본 연구에서는 ‘위험 지속시간’을 반영한 경량 엣지 컴퓨팅 기반의 지능형 플랫폼을 제안함. 제안된 시스템은 중앙 서버에 의존하지 않고, 소형 엣지 디바이스에서 데이터를 수집·분석하여, 사용자의 일상 생활 중 이상 징후가 지속될 경우 이를 자동으로 감지하고 복지 서비스의 개입을 유도하도록 설계되었음. 플랫폼은 이상 탐지 모델을 통해 정상 패턴과의 편차를 점수화하고, 분류기를 활용하여 위험 등급을 세분화함. 특히, 이상 점수와 지속시간을 함께 고려하는 이중 판단 구조를 적용함으로써 오탐지율을 낮추고 실시간 대응 성능을 향상시킴. 시뮬레이션 결과는 기존 서비스 방식보다 정밀도와 평균 탐지 시간 측면에서 우수한 성능을 보였으며, 고위험군의 조기 감지와 복지 서비스의 대응 고도화를 위한 효과적인 기술적 기반으로 활용 가능함.

I 문제제기

● 현황 및 과제 인식

[그림 1] 응급안전안심 서비스 댁내 장비



자료: 초고령사회 대비 응급안전안심 서비스 대상자 확대방안, 한은희 외 (2025), 보건복지부 제공

- 응급안전안심 서비스는 독거노인 및 장애인 등 돌봄 취약계층¹⁾의 안전을 실시간으로 관리하기 위해, ICT 기반 감지 장비와 통신 기술이 결합한 통합 관리 체계로 운영되고 있음.
- 주요 장비로는 활동감지기, 화재감지기, 출입문 감지기, 응급호출기 등이 있으며, 각 장치는 게이트웨이를 통해 LTE 통신망 기반의 디지털통합관리시스템으로 데이터를 전송하고, 보호자 및 119등 대응기관과 연계되어 자동으로 알림을 전달함²⁾.
- 현행 시스템은 중앙집중형 서버 구조이며, 다음과 같은 한계를 지님.
 - 낮잠이나 장시간 정지 상태에서도, 불필요한 경보가 발생하는 경우가 있음.
 - 센서 오작동이나 통신 오류로, 반복적인 오경보가 발생할 수 있음³⁾.
 - 중앙 처리 구조로 인해, 단순 이상에도 현장 확인이 필요함.

● 기술적 보완

- 본 연구는 경량 엣지 컴퓨팅 기반의 지능형 대응 시스템을 제안하며, 이를 통해, 제한된 자원 환경에서도 실시간 처리가 가능한 저전력·저지연 분산 컴퓨팅 플랫폼을 구현하는 가능성을 확보하고자 함.
 - 소형 엣지 디바이스⁴⁾가 실내 조도, 전력, 모션 등 센서 데이터를 분석하고, 유사시 로컬에서 독립적으로 판단함.
 - 이상 점수와 지속시간을 함께 고려하는 이중 기준 탐지 방식을 적용하여, 단발성 오류나 일시적 무반응으로 인한 오탐을 줄이고, 일정 시간 이상 지속된 이상 상태에 한해 위험 등급을 판별함.
 - Autoencoder* 기반 이상 탐지 모델과 LightGBM** 기반 분류기를 조합하여, 사용자 맞춤형 판단과 경보 발생이 가능하도록 설계됨.

* Autoencoder: 입력 데이터를 압축하고 다시 복원으로 데이터의 패턴을 학습하는 신경망 구조

** LightGBM: 효율성과 정확도를 동시에 고려한 결정 트리 기반의 프레임워크

- 이상 점수와 지속시간을 함께 고려한 이중 기준 판단 구조를 통해 오탐지율을 감소시키고, 민감도와 특이도 간의 균형을 유지함으로써 대응의 정확성과 운영 효율성을 동시에 향상함.
- API 기반 설계를 통해 기존 복지 시스템과 유연하게 연동 가능하며, 모듈화 구조로 다양한 서비스의 도입이 용이함.

II 경량 엣지 컴퓨팅 기반 플랫폼의 작동 원리와 구조

● 시스템 구조 개요

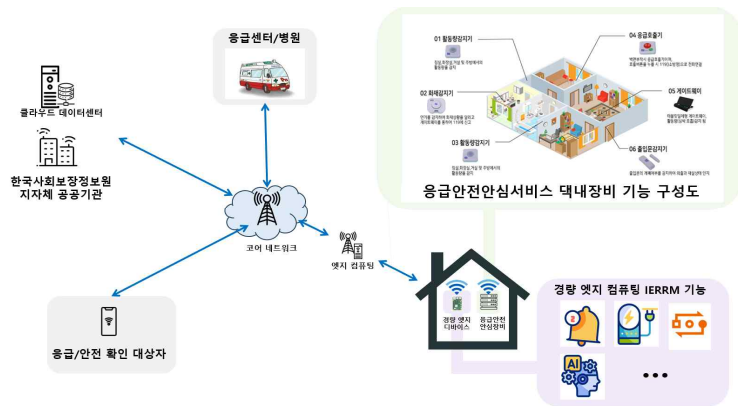
- 응급안전안심 서비스⁵⁾는 돌봄 취약계층의 위기 상황을 조기에 감지하고, 지자체·복지사·119 등 관련 기관에 자동으로 알람을 전송해 구조를 유도하는 사회 공공 기반 ICT 서비스⁶⁾임.
 - 고립된 생활환경에 놓인 고위험군의 생명을 보호하고, 돌봄 공백을 최소화 하는 사회적 안전망 구축을 목표로 함⁷⁾.
- 제안하는 구조는 사용자 단말 가까이에서 직접 판단을 수행함으로써, 네트워크 지연 없이 신속하고 안정적인 응급 대응이 가능하도록 설계됨.

● 시스템 아키텍처

- 엣지 디바이스: 저전력·저비용 기기 기반으로, 서버 없이도 현장에서 판단이 가능한 독립적인 처리 환경을 구축함.
 - GPIO⁸⁾, USB, microSD 확장 가능하며, UPS와 연계해 정전 시에도 일정 시간 작동 유지 가능.

* GPIO: 외부 장치와의 디지털 신호 입출력을 제어하기 위한 범용 핀 인터페이스

[그림 2] 경량 엣지 플랫폼 기반의 시스템 구조도



- 지능형 위기 판단 및 대응 모듈(IERRM)
 - IERRM(Intelligent Emergency Recognition and Response Module)은 다양한 센서 데이터를 로컬에서 실시간 분석하여 응급 위기 상황을 판단하고 즉시 대응함.
- 통신 및 연동 모듈
 - 판단 결과 및 상태 변화는 Wi-Fi⁹⁾, LTE¹⁰⁾, LoRa¹¹⁾* 등을 통해 전용 앱 또는 지자체 운영 시스템으로 전송됨.

* LoRa(Low Range): 저전력, 장거리 무선 통신을 위한 LPWAN 기술

- REST API* 또는 MQTT^{12)**} 기반 구조로 기존 응급안전안심 서비스와 연동되며, 119 자동신고 체계와도 호환 가능.

* REST API (Representational State Transfer API): TTP 프로토콜 기반으로 자원을 요청·응답하는 웹 서비스 인터페이스

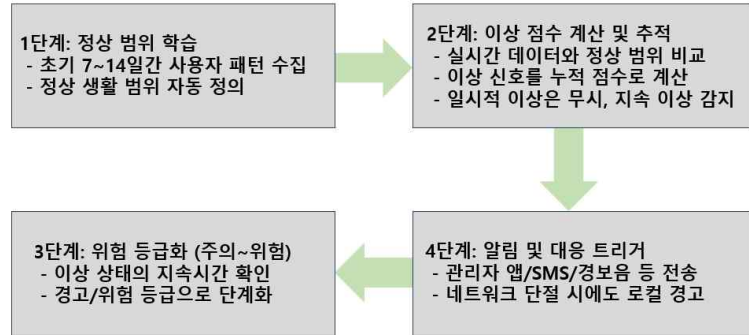
** MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): 경량 메시지 전송 프로토콜로, 저대역폭 환경에서 IoT 장치 간 통신에 적합

- 클라우드¹³⁾ 데이터 센터 연계 및 피드백 루프
 - 엣지 디바이스에서 생성된 이벤트 로그와 판단 결과는 주기적으로 중앙 서버에 업로드되어 정책 수립, 서비스 개선, 알고리즘 보완 등에 활용됨.
- 본 장에서는 실시간 판단 및 위기대응 강화를 위한 경량 엣지 컴퓨팅 기반 플랫폼의 작동 원리와 구조적 특징을 제시함.

● 판단 로직 및 위험 인지 구조

- 1단계: 초기 학습*을 통한 정상 범위 정의
 - 사용자의 초기 데이터를 기반으로 기준값을 설정한 후, 이후 감지 데이터와의 차이를 통해 정상 여부를 판단함.
 - * 사용자의 초기 일상 데이터를 기반으로 비지도 학습을 수행하여 정상 행동의 기준값을 정의함.
- 2단계: 이상 점수 산출 및 누적 추적
 - 이상 점수는 센서 데이터의 통계적 편차 또는 예측 오차 기반으로 산출됨.
 - 일정 임계값 초과 및 지속적인 누적 시에 경고를 발생시킴.
- 3단계: 이상 지속시간 기반 위험 등급화
 - 이상 점수와 지속시간을 함께 고려해 위험 상황으로 판단하고, 이를 경보 및 대응 기준으로 활용함.
- 4단계: 대응 트리거 및 알림 전송
 - 경고등급 이상 발생 시 앱 또는 SMS로 알림을 전송하며, 심각 단계에는 보호자와 담당자에게 동시 전달되고, 네트워크 장애 시에는 로컬 경보음을 통해 현장 알림이 이루어짐.

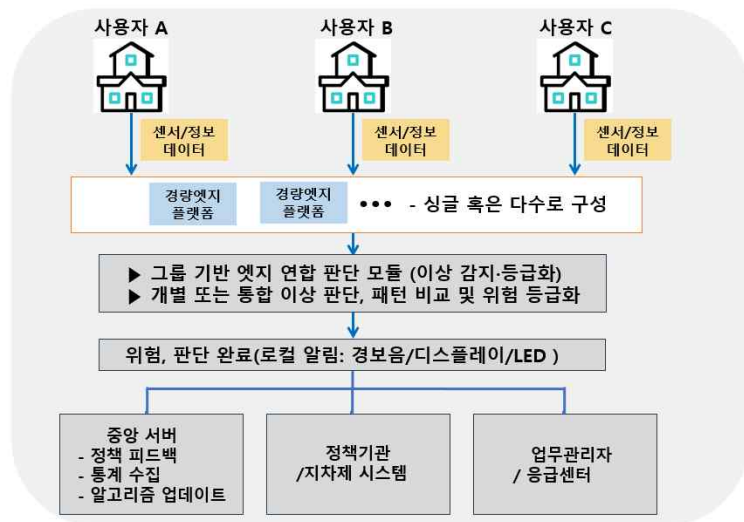
[그림 3] 로직 및 위험 인지 관련 흐름도



● 구조적 구성 및 동작 흐름

- 엠티 디바이스는 개별 또는 그룹 단위로 설치되며, 조도, 전력, 모션 등 센서 데이터를 기반으로 판단 알고리즘을 로컬에서 실행함.
- 수집된 데이터는 주기적으로 중앙 서버와 동기화되며, 서버는 통계 분석, 알고리즘 업데이트, 정책 피드백을 수행함.
- 또한, 다수 사용자로부터 수집된 데이터를 통합 분석함으로써 위험 상황에 대한 예측 정확도를 향상할 수 있도록 설계됨.

[그림 4] 그룹 기반 경량 엠티 플랫폼 확장 흐름 구조도



● 확장성과 정책 연계

- 판단 결과를 바탕으로, 조정 및 피드백 루프를 형성할 수 있으며, 이를 통해 의사결정 간의 연계성이 강화됨.

III 성능 분석

- 그룹 단위 구조는 지역 커뮤니티나 공공시설 등으로의 확장이 용이하며, 다양한 응급상황에 유연하게 대응할 수 있음.

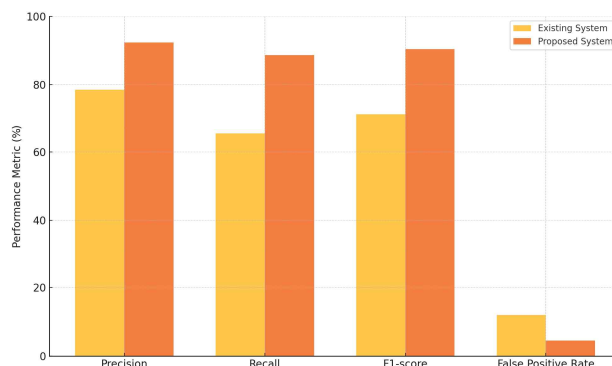
● 실험 환경

- 본 실험은 파이썬 기반의 시뮬레이션 환경에서 수행되었으며, 고령자 및 1인 가구의 생활패턴을 반영한 가상 데이터를 기반으로 구성됨.
 - 오전 및 오후 특정 시간대의 반복적인 외출과 반경 1km 이내의 단거리 이동 패턴을 반영함.
 - 주거지, 의료기관, 마트 등 주요 목적지를 중심으로 시나리오를 설계하여 프라이버시 민감도와 이동 유틸리티 간의 균형을 고려함.
- 사용자는 ‘정상 그룹’과 ‘고위험 그룹’으로 분류되며, 시간 경과에 따라 정상 그룹은 점수가 안정적으로 유지되고, 고위험 그룹은 중반 이후 점차 상승하도록 시나리오를 구성함.
- 모델 학습에는 정상 및 이상 상황이 포함된 시계열 데이터를 활용하였으며, 이상 탐지는 Autoencoder 기반의 재구성 오류와 LightGBM의 누적 점수 분석을 결합하여 위험 등급을 분류하는 방식으로 구현함.
- 성능 평가는 기존 방식과 비교하여 정확도 지표(Precision, Recall, F1-score, FPR)는 물론, 탐지 시간, 메모리, 전력 소모 등 실시간성과 효율성 지표를 포함하여 측정함.
- 단, 센서 노이즈, 사용자 행동의 다양성, 네트워크 지연 등 실제 환경에서 발생할 수 있는 요소는 일부만 반영되었으며, 이는 향후 실증 실험을 통해 보완하고 상호 검증할 필요가 있음.

● 시뮬레이션 실험 결과

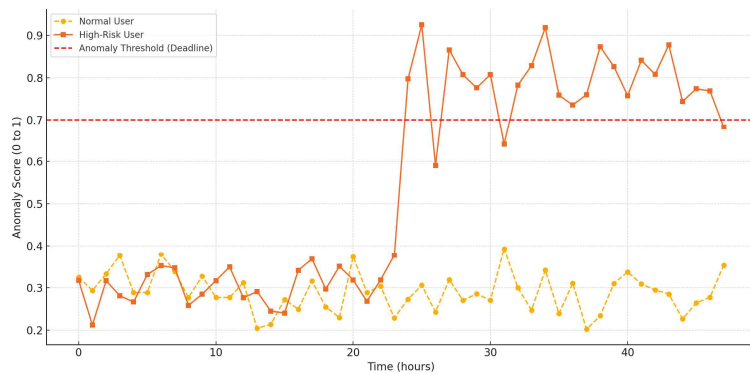
- 제안 시스템 대비 기존 시스템의 주요 성능 지표 비교

[그림 5] 기존 시스템과 제안 시스템의 지표 성능 비교



- 제안 시스템은 정밀도 92.3%, 재현율 88.7%, F1-score 90.4%를 기록하며, 기존 대비 전반적인 성능 향상을 보였음.
- 특히, 정밀도와 재현율 간의 균형 있는 성능은 위험 상황을 놓치지 않으면서 불필요한 경고 발생을 최소화함.
- 관리자의 경고 피로(alert fatigue)를 줄여 실제로 대응이 필요한 이벤트에 자원을 집중시키며, 응급 대응의 정확성과 효율성을 높임.
- 이상 점수 변화에 따른 시뮬레이션 결과 분석

[그림 6] 이상 점수 변화에 따른 결과



- 실험 결과, 정상 사용자는 전 구간에 걸쳐 평균 이상 점수가 0.3 이하로 유지된 반면, 고위험 사용자는 24시간 이후부터 이상 점수가 0.7 이상으로 급격히 상승하며, 설정된 위험 지속시간 기준을 초과함.
- 특히 고위험 사용자에서는 높은 이상 점수가 일정 시간 이상 지속되어, 정상적인 생활 패턴과 명확히 구분되는 이상 행동이 관찰됨.
- 이상 상태가 임계 수준을 넘고 일정 시간 지속될 때에만 위험으로 판단하는 모델의 탐지 원리를 입증함.

IV 기대효과 및 정책 시사점

● 제안한 기술의 핵심 특성과 장점

- 고위험 사용자의 위기 징후를 조기에 정량적으로 탐지할 수 있어, 기존 이벤트 기반 시스템 대비 정밀도와 신속성이 우수함.
- 배터리 교체 주기 및 수명 이력 관리 모듈을 통해 예측 기반 유지보수가 가능하며, 관리 효율성이 향상됨.
- 경량 엣지 디바이스에서 실시간 판단이 가능한 방법의 도입으로, 통신 장애나 재난 상황에서도 지속적이고 안정적인 대응이 가능함.

● 정책적 활용 가능성

- 업무 담당자의 반복적인 모니터링 부담을 줄이고, 고위험 사용자에게 대한 자동화된 이상 징후 감지를 통해 대응 효율을 향상할 수 있음.
- 고독사 위험 가구 대응체계를 데이터 중심으로 전환하고, 안심 서비스·스마트 플러그·AI 스피커 등과 연동 가능한 통합 기술로 확장 가능함.

● 실현 가능성 및 비용 효율성

- 소형 디바이스를 활용해 저비용 구축이 가능하며, 기존 가정 내 통신망을 활용하고 인공 지능 모델을 단말 내에서 직접 작동시키는 방식으로 에너지 소비와 운영비용 측면에서 장점을 가짐.
- 향후 통신 거리 및 방식에 따른 실시간성 차이를 분석하고, 엣지 기반 분산 시스템의 구조적 이점과 다수 사용자를 고려한 후속 연구를 기대함.



참고문헌

- 1) 통계청, (2024), “고령자통계”, 사회통계기획과(9월).
- 2) 보건복지부, (2025), “의료 요양 돌봄 통합지원 추진 방향”, 의료 요양 돌봄 통합지원 정책 토론회 발표자료, 3월 13일 서울 피스앤피크컨벤션.
- 3) 한국사회보장정보원, (2022), “고독사에 대한 지자체 대응 양상과 함의: ICT 접근을 중심으로”, 사회보장정보 Issue Paper, 12월 31일
- 4) G. A. R. de Oliveira. et al, (2023), “A Low-Cost Embedded System to Support Broadcasting Emergency Alerts”, IEEE Embedded Systems Letters, vol. 15, no. 3, pp. 45-48, Sep. ACM Digital Library. doi: 10.1109/LES.2023.3343641
- 5) 보건복지부, (2025). “2025년 제1차 의료·요양·돌봄 통합지원 시범사업 지자체 53개 선정”. 보도자료.
- 6) 보건복지부, “보건복지 공공데이터-업체별장비정보”, 국가보건의료정보센터.
- 7) 보건복지부(2025), “2025년 독거노인·장애인 응급안전안심서비스 사업안내”.
- 8) J. Smith and L. Wang, (2022), “Design and Implementation of an Embedded System for Emergency Vehicle Preemption,” in Proc. IEEE Int. Conf. Embedded Syst., San Francisco, CA, USA, Jun. pp. 123-127. doi: 10.1155/2013/834976.
- 9) Arisoğlu, Mustafa, et al. (2005), “802.11 wireless infrastructure to enhance medical response to disasters.” AMIA Annual Symposium Proceedings.
- 10) Seth, Manav, Sneha Kumar Kasera, and Robert P. Ricci. (2011) “Emergency service in Wi-Fi networks without access point association.” Proceedings of the 1st International Conference on Wireless Technologies for Humanitarian Relief. doi: 10.1145/2185216.218532.
- 11) Lopes, Isadora Rezende, et al, (2025), “Evaluating the Performance of LoRa Networks: A Study on Disaster Monitoring Scenarios.” IoT 6.1: 14, doi:

10.3390/iot6010014.

- 12) Akshatha, P. S., S. Divyashree, and S. M. Dilip Kumar, (2024), "Priority-enabled MQTT: a robust approach to emergency event messaging." Journal of Engineering and Applied Science 71.1: 67, doi: 10.1186/s44147-024-00400-2.
- 13) Orro, Alessandro, et al, (2024) "A Cloud Infrastructure for Health Monitoring in Emergency Response Scenarios." Sensors (Basel, Switzerland) 24.21: 6992, doi: 10.3390/s24216992.



04554 서울특별시 광진구 능동로 400 보건복지행정타운
대표전화 02-6360-6114 팩스 02-6360-6360 www.ssis.or.kr

집필자 임덕선
문의 02-6360-6114

본 원고의 내용은 집필자의 개인적 의견으로서 한국사회보장정보원의 공식적 견해와는 다를 수 있습니다.
