

기후위기 대응을 위한 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템

: 건강형평성 관점에서의 선결과제와 기대효과에 대한 고찰

김예진^{1*}, 안소진^{1*}, 이환희^{1, 2, 3*†}

초록

기후위기의 가속화로 폭염, 한파, 대기오염 등 환경적 위험이 증가하면서 노인, 장애인 등 건강 취약계층의 건강 피해와 건강불평등이 심화되고 있다. 디지털 헬스케어 기술은 이러한 위험 대응의 잠재적 수단으로 주목받고 있으나, 파편화된 정보 제공과 높은 디지털 진입 장벽으로 인해 오히려 취약계층이 배제되는 한계를 보인다. 본 논문은 이러한 문제의식에 기반하여 기존 정보 제공형 디지털 헬스케어를 넘어서는 대안으로 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 의사, 약사, 환경보건 전문가 역할의 에이전트가 개인 건강 정보와 환경 노출 정보를 통합적으로 해석하고, 이를 종합하여 이해 가능하고 실행 가능한 행동 지침을 제공하는 구조를 갖는다. 본고는 이 시스템이 건강 위험 대응 역량의 개인 간 격차를 완화함으로써 건강형평성 증진에 기여할 수 있는 가능성을 논의하고, 동시에 책임성, 접근성, 인간 돌봄과의 관계 등 윤리적·구조적 과제를 비판적으로 고찰한다. 구체적으로 AI 기반 서비스가 인간 돌봄을 대체하는 방식으로 오용될 가능성, 구조적 제약이 개인 책임으로 전가될 위험, 알고리즘 편향에 따른 불평등의 심화, 책임 소재와 안전성 문제, 그리고 디지털 인프라 접근성 격차를 주요 쟁점으로 제시한다. 다만 이러한 조건들이 적절히 설계·관리될 경우, 본 시스템이 환경·의학·복약 정보를 통합적으로 해석함으로써 건강 위험에 대한 판단·대응 역량의 개인 간 격차를 완화하고, 공공 보건 및 돌봄 체계와의 연계를 통해 취약집단 보호와 지역 단위 개입 근거를 확장할 수 있는 기대효과를 논의한다.

주요 용어: 기후위기, 건강형평성, 디지털 헬스케어, 다중 에이전트 시스템, 환경보건

¹ 부산대학교 정보융합공학과

² 부산대학교 의생명융합공학과

³ 기후변화 대응 환경보건센터

* 공동1저자, † 교신저자 (E-mail: whanhee.lee@pusan.ac.kr)

투고일: 2025.12.26./ 수정일: 2026.2.11./ 게재확정일: 2026.2.12.

I. 서론

기후위기가 가속화됨에 따라 폭염, 한파, 미세먼지 등 환경적 요인은 인류의 건강에 중대한 영향을 미친다(Intergovernmental Panel on Climate Change[IPCC], 2022). 특히 신체조절 능력이 저하되어 있거나 만성질환을 앓고 있는 노인, 장애인, 어린이, 임신부 등 건강 취약계층에게 이러한 급격한 환경 변화는 치명적일 수 있다(Marmot et al., 2008). Romanello et al.(2023)의 란셋 카운트다운 보고서에 따르면, 고령층의 온열 질환 사망률은 기후변화로 인해 급격히 증가하고 있으며, 이는 사회경제적 요인과 결합하여 건강격차를 더욱 심화시킨다.

이렇게 건강불평등이 심화되는 가운데 디지털 헬스케어 기술은 나날이 발전하고 있다(Abernethy et al., 2022). 그러나 역설적으로 이러한 기술의 발전은 또 다른 형태의 불평등인 ‘디지털 건강 격차’를 야기하고 있다(Nouri et al., 2020). 이는 디지털 헬스케어 기술이 의료 접근성과 건강 정보 이용을 확대할 잠재력을 지니고 있음에도 불구하고, 디지털 리터러시, 일반 인구 기준의 설계, 복잡한 사용자 인터페이스 및 파편화된 정보 구조로 인해 취약계층이 디지털 헬스케어의 혜택에서 배제되기 때문이다(Western et al., 2025; 박나영 등, 2022).

본 논문은 이러한 문제의식에서 출발하여 기존의 단순 정보 제공형 디지털 헬스케어의 한계를 넘어설 대안으로 ‘다중 에이전트 시스템(Multi-Agent System)’을 제안한다. 이는 생성형 AI가 가상의 전문 의료진, 임상 약사, 환경보건 전문가 등의 페르소나를 수행하며 여러 정보를 통합하여 사용자에게 실질적인 행동 지침을 제공하는 모델이다(Park et al., 2023). 본고에서는 이 시스템이 어떻게 건강형평성을 제고할 수 있는지를 논의하고, 동시에 발생할 수 있는 윤리적 쟁점 및 선결 과제를 비판적으로 고찰하고자 한다(김창엽, 2019).

II. 본론

1. 기존 디지털 헬스케어의 한계

현재의 디지털 헬스케어 서비스는 대체로 개별 기능 단위의 일률적인 정보 제공에 머물러 있다. 예를 들어 기상청 앱은 폭염이나 한파, 미세먼지 정보를 전달하고, 복용 관리 앱은 복용 시간을 상기시키며, 만성질환 관리 서비스는 혈당 또는 혈압과 같은 생체 지표를 기록하는 식이다. 그러나 실제 건강 위험은 단일 요인이 아니라 환경 노출, 기저질환, 복용 약물, 생체 지표가 상호작용하는 과정에서 발생하며, 이러한 복합적 맥락을 통합적으로 해석하지 못할 경우 적절한 예방 행동이나 조기 대응이 이루어지기 어렵다(IPCC, 2022). 의학적 지식이 충분하지 않은 환자가 파편화된 정보를 스스로 종합하여 변화하는 기후 및 환경 조건 속에서 자신의 질환과 복용 상태를 고려한 최적의 대응 판단을 내리는 것은 현실적으로 매우 어렵다(Nouri et al., 2020).

이와 같은 정보의 분절성은 의료 접근성과 돌봄 자원이 제한된 집단에게 더욱 불리하게 작용한다(Marmot et al., 2008). 사회적·경제적 자원이 충분한 일부 집단은 주치의, 방문 간호, 가족 돌봄 등 다양한 인적 자원을 통해 파편화된 정보들을 통합적으로 해석하고 관리할 수 있는 반면, 이러한 지원에 접근하기 어려운 사람들은 파편화된 디지털 정보에 보다 크게 의존할 수밖에 없는 구조에 놓인다(박나영 등, 2022; Western et al., 2025). 기술이 고도화될수록 오히려 취약계층이 디지털 헬스케어의 실질적 혜택에서 배제되는 이른바 ‘디지털 헬스케어의 역설’이 발생한다(Western et al., 2025). 이러한 맥락에서 향후 디지털 헬스케어는 기술적 성능 및 기능의 확장에 초점을 두기보다, 사용자의 건강 상태와 환경적 맥락을 이해하고 판단을 지원하는 ‘적정기술(Appropriate Technology)’로서의 AI 역할에 주목해야 한다(김창엽, 2019).

2. 새로운 접근: 다중 에이전트 기반의 맞춤형 케어

최근 대규모언어모델(LLM)의 발전은 의료·보건 분야에서 개인 맞춤형 정보 제공과 의사소통 방식의 새로운 가능성을 제시하고 있다. LLM 기반 시스템은 자연어 이해 및 생성 능력을 바탕으로 건강 정보 접근성을 향상시키는 데 기여해왔으나, 단일 모델이 복잡한 환경·의학·약물 정보를 동시에 해석하고 종합적인 판단을 수행하는 데에는 구조적인 한계가 존재하며, 안전성 확보를 위한 설계가 필요하다. 이러한 한계를 극복하고 복잡한 문제 해결 능력을 높이기 위해 주목받는 개념이 다중 에이전트 시스템이다(Park et al., 2023). 인공지능 연구에서 에이전트(agent)는 주어진 환경을 인지하고, 목표에 기반한 판단을 수행한 뒤, 그 결과를 행동으로 연결하는 주체(소프트웨어 시스템)를 의미한다. 다중 에이전트 시스템은 이러한 에이전트들이 서로 다른 역할과 전문성을 가지고 상호작용함으로써, 복잡한 문제를 다각적으로 분석하여 통합적인 결론을 도출하는 구조를 갖는다(Park et al., 2023).

이러한 배경에서 본 논문이 제안하는 시스템은 생성형 AI가 가상의 전문 의료진, 임상 약사, 환경보건 전문가 등의 페르소나를 수행하며, 환경 정보, 개인 건강 기록, 복용 정보 등을 통합적으로 해석하여 사용자에게 이해하기 쉽고 실행 가능한 행동 지침을 제공하는 것을 목표로 한다. 의료 분야에서도 다중 에이전트 기반 LLM 협업을 의사결정에 적용한 선행 연구가 보고되고 있다. 예를 들어, Kim et al.(2024)의 MDAgents는 의료 질의 복잡도를 평가한 뒤, 그 결과에 따라 단일 에이전트 또는 팀 기반 협업 구조를 자동으로 구성하고, 에이전트 간 토론을 거쳐 최종 결정을 도출하는 프레임워크를 제안하였다. 또한 이 프레임워크는 Moderator, Recruiter, Specialist 등 역할을 분화해 다학제 협진과 유사한 협업 과정을 모사한다. 이러한 사례는 본 연구가 제안하는

“환경·의학·복약 정보를 통합 해석하는 다중 에이전트 기반 건강 피드백”이 타 분야(의료 의사결정)에서 이미 유사한 협업 구조로 구현·평가된 바 있음을 보여주며, 본 시스템의 설계 타당성과 확장 가능성에 대한 근거로 활용될 수 있다.

본 논문이 제안하는 구체적인 프레임워크의 예시는 다음과 같다.

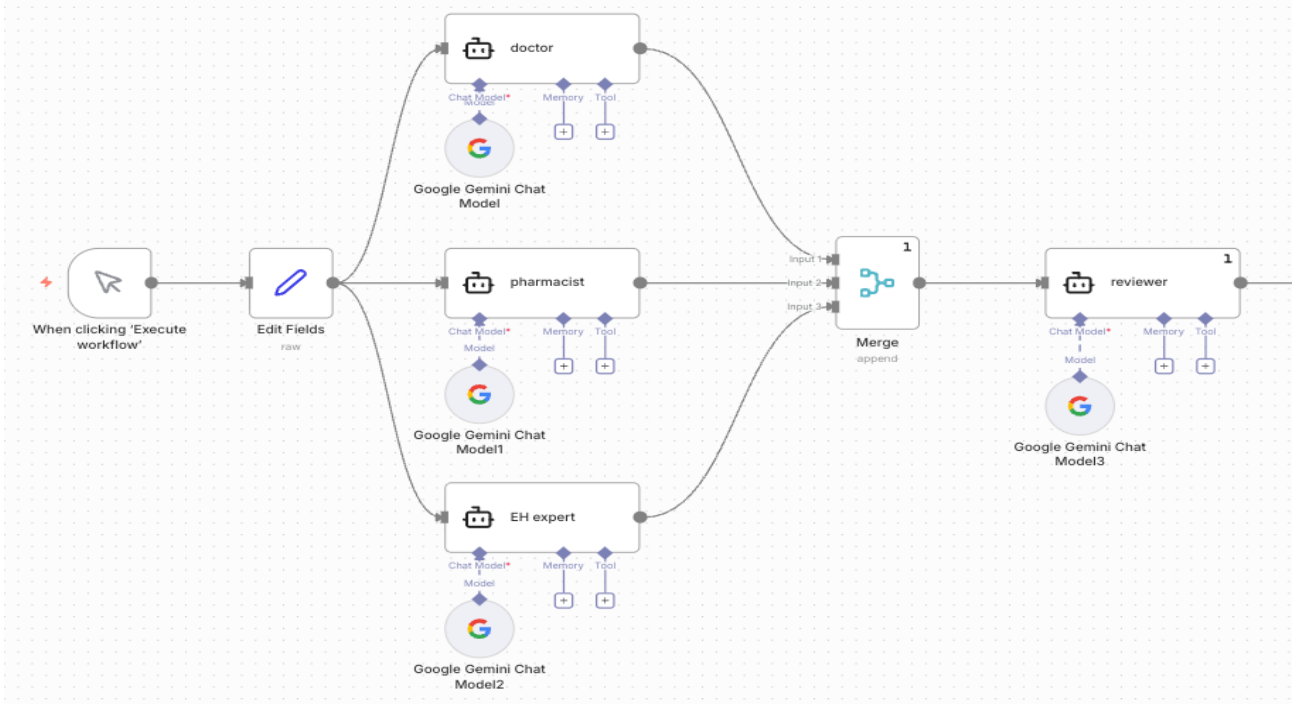
[예시 1: 폭염(Heatwave) 프레임워크의 예시]

1) 의사 에이전트: 사용자의 웨어러블 기기 기반 생체지표, 개인 건강 기록(PHR) 등을 분석하여 “사용자는 CKD 3기 환자이기 때문에 탈수는 치명적입니다. 현재 심박수가 평소 대비 15% 상승하였으므로 즉각적인 휴식이 필요합니다”라는 건강 정보를 제공한다.

2) 약사 에이전트: 사용자의 복용 정보를 기반으로 “사용자가 복용 중인 혈압약은 수분 배출을 촉진합니다. 지금은 추가적인 약물 복용보다는 전해질 음료 섭취가 우선시되어야 합니다”라는 약물 상호작용 정보를 제공한다.

3) 환경보건 전문가 에이전트: 사용자의 위치정보와 기상청 API를 연동하여 “현재 사용자의 위치에서 폭염 경보가 발효 중이며 습도가 높고, 지난 20분간 활동량이 지속되고 있어 열 노출 위험이 ‘매우 높음’ 단계로 판단됩니다”라는 환경 위험 요인을 감지한다.

4) 검토자(통합) 에이전트: 세 전문가 에이전트의 피드백을 한 번 더 검토하고 종합하여 “지금 밖이 너무 덥습니다. 심장이 평소보다 조금 더 빨리 뛰고 있어요. 드시는 혈압약 때문에 땀을 많이 흘리면 위험할 수 있습니다”라는 최종 피드백을 생성하고, “① 즉시 그늘로 이동하여 10분간 앉아서 쉬세요. ② 즉시 물이나 이온음료를 두 모금 정도 드세요. ③ 안정을 취한 뒤에도 가슴이 두근거리면 보호자에게 연락하세요” 등의 건강 지침을 직



출처: 저자 작성

주: 본 시스템은 의사, 약사, 환경보건 전문가 에이전트가 각각 건강 상태, 복약 정보, 환경 노출을 분석하고, 검토자 에이전트가 이를 종합하여 사용자 맞춤형 최종 건강 판단을 제공하는 구조임.

[그림 1] 다중 에이전트 기반 개인맞춤형 건강 판단 시스템 구조

관적으로 생성한다.

[예시 2: 고농도 미세먼지(PM2.5) 프레임워크의 예시]

1) 의사 에이전트: 사용자의 개인 건강 기록(PHR)과 실시간 활동 데이터를 분석하여 “사용자는 천식 기저질환이 있어 기도 과민성이 높습니다. 현재 웨어러블 기기 상 활동량이 ‘달리기’ 수준으로 증가하여 호흡수가 가파르게 늘어나고 있는데, 이는 오염 물질 흡입량이 평소보다 3배 이상 급증하여 급성 천식 발작을 유발할 수 있는 위험한 상태입니다”라는 의학적 위험 정보를 제공한다.

2) 약사 에이전트: 사용자의 처방 내역을 기반으로 “사용자는 정기적인 흡입 스테로이드제 외에 필요 시 사용하는 응급용 기관지 확장제(벤토린 등)를 처방받았습니다. 현재와 같은 고위험 환경 노출 시에는 반드시 응급 약물을 소지하고 있는지 확인이 필요합니다”라는 약물

관련 주의사항을 제공한다.

3) 환경보건 전문가 에이전트: 사용자의 위치정보와 대기질 API를 연동하여 “현재 사용자 위치의 초미세먼지(PM2.5) 농도는 ‘매우 나쁨’ ($85\mu\text{g}/\text{m}^3$) 수준입니다. 대기가 정체되어 오염물질이 지상에 가라앉아 있으며, 호흡기 노출 위험이 ‘매우 심각’ 단계로 판단됩니다”라는 환경 위험 요인을 감지한다.

4) 검토자(통합) 에이전트: 세 전문가 에이전트의 피드백을 검토하고 종합하여 “현재 계신 곳의 미세먼지 농도가 최악 수준입니다. 천식이 있으신데 지금처럼 야외에서 뛰게 되면 나쁜 먼지가 폐 깊숙이 들어가 갑자기 숨이 차오르는 발작이 올 수 있어 매우 위험합니다”라는 최종 피드백을 생성하고, “① 지금 당장 야외 운동을 멈추고 실내로 이동하세요. 오늘의 운동은 실내 스트레칭으로 대체해주세요. ② 부득이하게 이동해야 한다면 일반 마스크가 아닌 KF94 등급 이상의 보건용 마스크를

📌 오늘의 건강 예보 (위험도: 높음)

"박민수 님, 오늘은 폭염으로 인해 건강에 매우 주의하셔야 합니다. 메트포르민, 글리메피리드를 복용 중이시므로 저혈당 위험이 높고, 탈수 증상도 나타날 수 있습니다. 즉시 시원한 곳으로 이동하여 휴식을 취하고, 아래 3가지 사항을 꼭 지켜주세요."

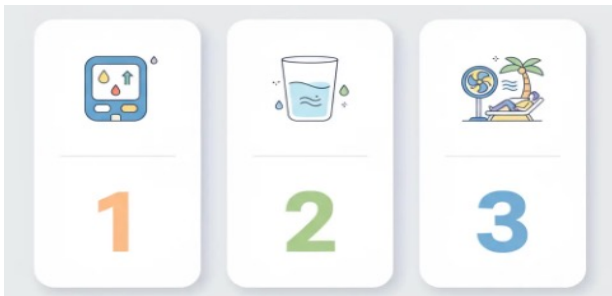
⚡ 오늘 꼭 지켜야 할 3가지

1. 즉시 혈당을 측정하고, 70mg/dL 미만일 경우 사탕이나 주스를 섭취하세요. 현재 복용 중인 메트포르민, 글리메피리드가 저혈당을 유발할 수 있으며, 폭염으로 인한 식사량 감소와 탈수가 이를 악화시킬 수 있습니다.
2. 시원한 물을 충분히 섭취하여 탈수를 예방하세요. 땀을 많이 흘리면 혈압이 떨어지고 현기증이 심해질 수 있습니다. 다만 신장 질환이 있으시다면 의사 선생님과 먼저 상의하여 적절한 수분 섭취량을 결정해주세요.
3. 시원한 곳에서 휴식을 취하고, 격렬한 활동은 피하세요. 고온 환경은 신체에 큰 부담을 주어 혈당 조절을 어렵게 만들 수 있습니다.

🗣️ 전문가 말씀

글리메피리드는 혈당을 낮추는 효과가 강하므로, 저혈당 증상에 특히 주의해야 합니다. 식사를 거르지 말고, 어지러움이나 식은땀이 나면 즉시 혈당을 확인하세요. 폭염 속에서는 냉방 기기를 적절히 사용하여 실내 온도를 유지하고, 햇볕이 강한 시간대에는 외출을 자제하는 것이 좋습니다.

—
* 이 메시지는 진단이 아니며, 심한 어지러움·가슴 통증 시 119에 연락하세요.



출처: 저자 작성
주: 본 시스템으로부터 출력되는 맞춤형 건강피드백 예시임.

[그림 2] 맞춤형 건강피드백

코 지지대까지 눌러 착용하세요. ③ 가슴이 답답하거나 기침이 나면 즉시 비상용 흡입기를 사용하고 안정을 취하세요" 등의 건강 지침을 직관적으로 생성한다.

3. 선결 과제 및 윤리적 고려사항

본 논문에서 제안하는 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템은 적절한 설계와 운영을 전제로 할 경우 건강형평성 증진에 기여할 잠재력을 지닌다. 그러나

이러한 기술은 적용 방식에 따라 기존의 건강불평등을 충분히 완화하지 못할 가능성 또한 함께 내포하고 있다 (Western et al., 2025). 따라서 이러한 잠재적 한계를 인식하고, 이를 예방하기 위한 비판적 검토와 신중한 설계가 필요하다.

첫째, 돌봄 제공 방식의 차이로 인한 건강형평성의 저해 가능성이 있다. 다중 에이전트 시스템의 도입이 공공 돌봄 영역에서 예산 삭감이나 필수 인력 감축의 명분으로 활용되지 않아야 한다. 특히 비용 효율성이나 운영 편의성을 이유로 AI 기반 서비스가 인간 돌봄을 대체하는 방식으로 적용될 경우, 사회경제적 여건에 따라 돌봄 경험의 격차로 이어져 건강형평성을 저해할 가능성이 있다. 따라서 다중 에이전트 시스템은 인간 돌봄을 대체하는 수단이 아니라, 기존의 공공 돌봄 체계를 보완하고 지원하는 방향으로 활용될 필요가 있다(김창엽, 2019).

둘째, 구조적 제약이 개인의 문제로 해석될 가능성이 있다. 다중 에이전트 시스템은 개인의 건강관리에 대한 지원을 통해 건강형평성 향상에 기여할 수 있으나, 사회적·환경적 제약을 충분히 고려하지 않은 채 적용될 경우 건강 위험이 개인의 생활방식이나 실천 수준의 문제로만 해석될 가능성이 있다. 예를 들어 냉방 시설이 없는 주거 환경에서 생활하는 사람에게 반복적으로 "실내온도를 낮추라"라는 권고가 제공될 경우, 이는 실행하기 어려운 조언일 뿐 아니라 주거환경이라는 구조적 요인이 개인 차원의 문제로 간주되는 상황으로 이어질 수 있다. 이러한 문제가 발생하지 않도록 하기 위해서는 다중 에이전트 시스템이 개인의 행동 변화만을 강조하기보다는 건강 위험에 영향을 미칠 수 있는 사회적·환경적 요인을 고려하여 설계될 필요가 있다. 특히 취약계층을 대상으로 하는 서비스의 경우, 개인 행동 지침뿐 아니라 냉방 시설 지원 및 지역 돌봄 자원 등의 정책적·제도적 지원과의 연계를 고려할 필요가 있다(박나영 등, 2022).

셋째, AI 알고리즘의 편향성(Algorithmic Bias)으로 인한 건강 불평등의 심화 가능성이 있다. 다중 에이전트 시스

템이 학습하는 데이터가 기존의 사회적 불평등을 내포하고 있을 경우, AI는 이를 비판 없이 수용하여 취약계층에게 불리한 판단을 내릴 위험이 있다(Obermeyer et al., 2019). 예를 들어, 동일한 환경 노출 조건에서도 노인이나 저소득층의 위험도를 과소평가하거나, 부적절한 행동 지침을 제공할 경우 이는 기술에 의한 차별을 고착화하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 에이전트 설계 단계에서부터 공정성(Fairness)을 검증하는 기술적·윤리적 감시 체계가 필수적이다.

넷째, 책임 소재와 안전성 문제이다. 다중 에이전트 시스템은 여러 전문가 역할의 에이전트가 상호작용하며 통합적인 판단을 생성한다는 점에서 개인의 건강 상태와 환경적 맥락을 함께 고려한 맞춤형 건강관리 지원을 가능하게 하지만, 그만큼 의사결정 구조가 복잡하기 때문에 책임 소재와 안전성 확보가 중요한 과제이다. 시스템의 오류나 부적절한 권고에 대한 책임과 대응이 명확하지 않을 경우, 사용자 집단 간 대응 역량의 격차로 인해 취약계층이 더 큰 불이익을 겪을 수 있다(Western et al., 2025).

다섯째, 스마트 기기 및 디지털 인프라 접근성에 따른 격차 문제이다. 본 논문에서 제안하는 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템은 스마트폰, 웨어러블 기기, 위치 정보, 네트워크 환경 등 디지털 인프라를 전제로 작동한다. 그러나 이러한 전제 조건은 모든 개인에게 동등하게 충족되지 않는다. 고령자, 장애인, 저소득층의 경우 스마트폰 소지 여부, 웨어러블 기기 사용 경험, 안정적인 인터넷 접근성에서 이미 상당한 격차가 존재하며, 이는 디지털 헬스케어 서비스 이용 가능성 자체의 차이로 이어질 수 있다. 특히 웨어러블 기기를 활용한 생체 신호 기반 판단은 기기 보유 여부와 사용 지속성에 크게 의존하기 때문에, 이러한 접근성의 차이는 맞춤형 건강관리 서비스의 혜택이 특정 집단에 집중되는 결과를 초래할 위험이 있다.

4. 건강형평성 관점에서의 기대효과

본 논문에서 제안하는 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템은 건강 위험에 대응할 수 있는 개인 간 역량 격차를 완화하는 도구로서 건강형평성 증진에 기여할 잠재력을 지닌다. 특히 개인의 질환 상태, 약물 정보, 환경 노출, 사회적 맥락을 통합적으로 고려함으로써 기존 디지털 헬스케어에서 충분히 고려하지 못했던 취약계층의 사회적·경제적 제약을 보완할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

첫째, 의학적·환경적 판단 역량의 격차를 완화할 수 있다. 기존의 디지털 헬스케어 환경에서는 건강 정보를 해석하고 이를 행동으로 전환할 수 있는 능력이 개인의 교육 수준, 디지털 리터러시, 의료접근성 등에 크게 의존해왔다(Nouri et al., 2020). 다중 에이전트 시스템은 의료, 약물, 환경 정보를 전문가 수준에서 사전에 통합적으로 해석하여 사용자에게 직관적인 행동 지침 형태로 제공함으로써 개인의 해석 능력에 따른 건강관리 격차를 줄이는 데 기여할 수 있다. 이는 ‘정보에 접근할 수 있는가’의 문제를 넘어 ‘정보를 활용할 수 있는가’라는 관점에서 건강 관리 격차를 완화하여 건강형평성을 증진하는 방향의 개입이라고 할 수 있다.

둘째, 의료 및 돌봄 자원 접근성의 지역·계층 간 불균형을 완화할 수 있다. 주치의, 방문 간호, 가족 돌봄 등 인적 자원은 사회경제적 여건과 거주 지역에 따라 접근 가능성의 차이가 있다. 다중 에이전트 맞춤형 건강 피드백 시스템은 이러한 인적 자원을 완전히 대체할 수 있는 것은 아니지만, 최소한의 의사결정 지원 및 위험 인지 기능을 제공함으로써 돌봄 자원 접근이 제한된 개인에게 보조적 대응 체계로 기능할 수 있다.

셋째, 환경 위험에 대한 대응의 형평성을 제고할 수 있다. 기후위기로 인한 건강 피해는 동일한 환경 노출하에서도 개인의 신체적 취약성, 주거 환경, 사회적 지원 수준에 따라 불균등하게 나타난다. 다중 에이전트 시스템

은 위치 기반 환경 정보와 개인 건강 데이터를 결합함으로써 획일적인 알람이 아닌 개인 위험 수준을 반영한 맞춤형 대응을 가능하게 한다. 이는 환경 위험을 모든 개인에게 동일하게 적용되는 문제로 인식해온 기존 방식에서 벗어나 취약집단에게 보다 충분한 보호가 제공되는, 형평성을 고려한 방식으로의 전환을 의미한다.

넷째, 공공 보건 및 돌봄 체계와의 연계를 통해 구조적 개입의 가능성을 확장할 수 있다. 다중 에이전트 시스템을 통해 축적되는 데이터는 개인 차원의 피드백을 넘어 지역 단위의 취약성 파악을 통한 공공 개입의 근거 자료로 활용될 수 있다. 예를 들어 특정 지역에서 반복적으로 폭염 관련 고위험 신호가 감지될 경우, 이는 냉방 지원, 방문 돌봄 강화, 지역 쉼터 운영 등과 같은 정책적 개입의 근거가 될 수 있다. 이러한 접근은 디지털 헬스케어를 개인의 건강 관리 도구에 한정하지 않고, 건강 격차 완화를 지원하는 건강형평성 증진의 도구로 활용할 수 있음을 시사한다.

결론적으로 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템은 기술의 발전을 넘어 건강 위험을 인지하고 대응할 수 있는 사회적·개인적 역량의 격차를 완화하는 방향으로 설계 및 운영될 경우 건강형평성 증진에 실질적으로 기여할 수 있다. 다만 이러한 기대효과는 기술의 도입 여부 자체보다는, 누구를 중심에 두고 어떠한 방식으로 기존의 보건 및 돌봄 체계와 연계되는가에 따라 달라진다는 점을 분명히 인식할 필요가 있다.

III. 결론

본 논문은 기후위기가 심화되는 환경 속에서 디지털 헬스케어가 건강 취약계층의 위험 대응을 충분히 지원하지 못하고 있다는 문제의식에서 출발하여, 기존의 단순

정보 제공형 디지털 헬스케어의 한계를 비판적으로 검토하였다. 특히 환경 노출, 기저질환, 복약 정보, 생체지표가 상호작용하는 실제 건강 위험의 발생 구조를 고려할 때, 파편화된 정보 전달 방식은 오히려 취약계층에게 더 큰 부담으로 작용하며 ‘디지털 헬스케어의 역설’을 심화시킬 수 있음을 논의하였다. 이러한 한계를 보완하기 위한 대안으로 본 논문은 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 의사, 약사, 환경보건 전문가 등의 역할을 수행하는 다수의 에이전트가 각기 다른 전문성을 바탕으로 정보를 분석하고, 이를 통합·검토하는 구조를 통해 사용자에게 이해 가능하고 실행 가능한 행동 지침을 제공하는 것을 핵심으로 한다. 이는 대학병원의 다학제 협진 모델을 디지털 환경 보건 영역에 적용한 개념으로, 기존 디지털 헬스케어가 충분히 수행하지 못했던 ‘판단 지원’과 ‘맥락 해석’을 기술적으로 구현하려는 시도라 할 수 있다.

또한 이러한 기술이 건강형평성 증진에 기여하기 위해 반드시 고려되어야 할 윤리적·구조적 과제를 함께 제시하였다. 다중 에이전트 시스템이 인간 돌봄을 대체하는 수단으로 오용될 가능성, 구조적 제약이 개인의 책임으로 전가될 위험, 책임 소재와 안전성의 문제, 그리고 디지털 인프라 접근성에 따른 격차 등은 기술 도입 과정에서 선결되어야 할 중요한 쟁점이다. 이는 다중 에이전트 기반 시스템이 단순히 기술적 혁신에 그칠 것이 아니라, 공공 보건 및 돌봄 체계와의 관계 속에서 사회적으로 책임 있게 설계·운영되어야 함을 시사한다.

그럼에도 불구하고, 본 논문에서 제안하는 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템은 개인의 건강관리 역량과 환경 위험 대응 능력의 격차를 완화할 수 있는 잠재력을 지닌다. 의료·환경 정보를 해석하고 판단하는 능력을 개인의 디지털 리터러시에만 의존하지 않고, 전문가 수준의 통합적 판단을 통해 보조함으로써 취약계층이 건강 위험에 보다 능동적으로 대응할 수 있는 기반을 제공할 수 있기 때문이다. 더 나아가, 이러한 시스템

은 개인 차원의 개입을 넘어 지역 단위의 취약성 파악과 공공 개입을 지원하는 도구로 확장될 가능성도 내포하고 있다.

결론적으로, 다중 에이전트 기반 맞춤형 건강 피드백 시스템은 디지털 헬스케어를 단순한 정보 전달 기술에서 벗어나, 건강 위험에 대한 사회적·개인적 대응 역량의 격차를 완화하는 방향으로 전환할 수 있는 하나의 가능성을 제시한다. 그러나 이러한 가능성은 기술의 존재 자체로 보장되는 것이 아니라, 누구를 중심에 두고 설계되는가, 기존의 보건·돌봄 체계와 어떻게 연계되는가, 그리고 건강형평성이라는 가치가 실제 운영 원칙으로 반영되는가에 따라 달라질 것이다. 향후 연구에서는 실제 적용 사례를 통한 효과 검증과 함께, 공공 보건 영역에서의 제도적 활용 가능성에 대한 실증적 논의가 추가로 이루어질 필요가 있다.

연구윤리

기관생명윤리위원회(IRB) 승인: 해당 없음.

사유: 본 논문은 실제 인간 대상 자료를 수집·분석하지 않고, 다중 에이전트 기반 디지털 헬스케어 시스템의 개념적 프레임워크와 건강형평성 관점에서의 적용 가능성을 논의한 개념·방법론 연구로서 「생명윤리 및 안전에 관한 법률」상 IRB 심의 대상에 해당하지 않음.

이해상충선언

본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

사사표기

해당없음.

참고문헌

- 김창엽. (2019). 건강의 공공성과 공공보건의료. 한울아카데미.
- 박나영, 장사랑, 송은솔, 박은자. (2022). 앱 기반 디지털 헬스의 형평성 제고 방향 고찰. 한국보건의사회연구원.
- Abernethy, A., Adams, L., Barrett, M., Bechtel, C., Brennan, P., Butte, A. et al. (2022). The Promise of Digital Health: Then, Now, and the Future. *NAM Perspect*, <https://doi.org/10.31478/202206e>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability (Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*. Cambridge University Press.
- Kim, Y., Park, C., Jeong, H., Chan, Y. S., Xu, X., McDuff, D., Lee, H., Ghassemi, M., Breazeal, C., & Park, H. W. (2024). MDAgents: An adaptive collaboration of LLMs for medical decision-making. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2404.15155>
- Marmot, M., Friel, S., Bell, R., Houweling, T. A. J., & Taylor, S. (2008). Closing the gap in a generation: Health equity through action on the social determinants of health. *The Lancet*, *372*(9650), 1661-1669. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61690-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61690-6)
- Nouri, S., Khoong, E. C., Lyles, C. R., & Karliner, L. (2020). Addressing equity in telemedicine for chronic disease management during the COVID-19 pandemic. *NEJM Catalyst Innovations in Care Delivery*, *1*(3). <https://catalyst.nejm.org/doi/full/10.1056/CAT.20.0123>
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, *366*(6464), 447-453. <https://doi.org/10.1126/science.aax2342>
- Park, J. S., O'Brien, J. C., Cai, C. J., Morris, M. R., Liang, P., & Bernstein, M. S. (2023). Generative agents: Interactive simulacra of human behavior. *arXiv preprint arXiv:2304.03442*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.03442>
- Romanello, M., di Napoli, C., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., et al. (2023). The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: The imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. *The Lancet*, *402*(10419), 2346-2394. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)01859-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)01859-7)
- Western, M. J., Smit, E. S., Gültzow, T., Neter, E., Sniehotta, F. F., Malkowski, O. S. et al. (2025). Bridging the digital health divide: A narrative review of the causes, implications, and solutions for digital health inequalities. *Health Psychology and Behavioral Medicine*, *13*(1), 2493139. <https://doi.org/10.1080/21642850.2025.2493139>

A Multi-Agent-Based Personalized Health Feedback System for Climate Change Response

: A Review of Prerequisites and Expected Effects from a Health Equity Perspective

Yejin Kim^{1*}, Sojin An^{1*}, Whanhee Lee^{1,2,3*†}

Abstract

The accelerating climate crisis—heat waves, cold waves, and air pollution—is exacerbating health inequalities among vulnerable populations including the elderly and people with disabilities. While digital healthcare technology has gained attention as a potential solution, fragmented information and high digital entry barriers often exclude those most in need. This paper proposes a multi-agent-based personalized health feedback system as an alternative that moves beyond existing information-providing digital healthcare.

The system features agents acting as a doctor, pharmacist, and environmental health expert, who comprehensively interpret personal health and environmental exposure data to deliver personalized feedback. This paper discusses the potential of this system to contribute to promoting health equity by mitigating the individual gap in capacity to respond to health risks. Simultaneously, it critically examines the ethical and structural challenges, including accountability, accessibility, and the relationship with human care.

This paper ultimately argues that, if properly designed, the system can reduce individual disparities in health risks response by integrating environmental, medical, and medication data—expanding protection for vulnerable groups and enabling community-level public health interventions.

Keywords: Climate Crisis, Health Equity, Digital Healthcare, Multi-Agent Systems, Environmental Health

¹ Department of Information Convergence Engineering, Pusan National University

² School of the Biomedical Convergence Engineering, Pusan National University

³ The Environmental Health Center for Climate Change

* Equal contribution, † Corresponding author (whanhee.lee@pusan.ac.kr)