



## 실내 열환경 쾌적 조성 및 에너지 효율 극대화를 위한 지능형 재실자 활동량 산출모델 개발

Development of an Intelligent MET Estimation Model for Indoor Thermal Comfort and Energy Efficiency

---

저자 (Authors)	최은지, 이광호, 박보람, 최영재, 홍성협, 문진우 Eun Ji Choi, Kwang-Ho Lee, Bo Rang Park, Young Jae Choi, Sung-Hyup Hong, Jin Woo Moon
출처 (Source)	<a href="#">대한설비공학회 학술발표대회논문집</a> , 2019.6, 704-707(4 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한설비공학회</a> The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09293872">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09293872</a>
APA Style	최은지, 이광호, 박보람, 최영재, 홍성협, 문진우 (2019). 실내 열환경 쾌적 조성 및 에너지 효율 극대화를 위한 지능형 재실자 활동량 산출모델 개발. <a href="#">대한설비공학회 학술발표대회논문집</a> , 704-707
이용정보 (Accessed)	중앙대학교 165.194.26.*** 2020/07/28 15:01 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

# 실내 열환경 쾌적 조성 및 에너지 효율 극대화를 위한 지능형 재실자 활동량 산출모델 개발

## Development of an Intelligent MET Estimation Model for Indoor Thermal Comfort and Energy Efficiency

최은지(Eun Ji Choi)<sup>1</sup>, 이광호(Kwang-Ho Lee)<sup>2</sup>, 박보랑(Bo Rang Park)<sup>3</sup>, 최영재(Young Jae Choi)<sup>4</sup>,  
홍성협(Sung-Hyup Hong)<sup>5</sup>, 문진우(Jin Woo Moon)<sup>6†</sup>

<sup>1,3,4,6</sup>중앙대학교 건축학과, <sup>2</sup>고려대학교 건축학과, <sup>5</sup>한밭대학교 건축공학과

<sup>1,3,4,6</sup>Chung-Ang University, 84 Heukseok-ro, 06974, Korea

<sup>2</sup>Korea University, 145 Anam-ro, 02841, Korea

<sup>5</sup>Hanbat National University, 125 Dongseo-daero, 34158, Korea

**Abstract** 본 연구는 실내 열환경의 쾌적 요소 중 하나인 재실자의 활동량(Metabolic rate, MET)을 산출하기 위한 지능형 MET 산출모델을 개발하는 것을 목적으로 한다. MET 산출모델 개발을 위해 딥러닝을 적용하였으며 재실자의 실내 활동 이미지 상의 인체 관절 좌표를 학습하여 MET를 출력한다. MET 산출모델 개발은 총 3단계로 진행되었다. 1) 학습 이미지 데이터 구축, 2) 모델 구조 설정 및 학습, 3) 학습 성능 평가. 학습 결과, MET 산출모델의 최적 구조는 14개의 인체 주요 관절 좌표 (x,y) 값을 입력 받는 입력층, 4개의 은닉층 및 1개의 출력층으로 구성되며 최적 모델의 MET 산출 정확도는 82.03%이다. 결과적으로 MET 산출모델의 개발을 통해 실내 재실자의 MET 측정 가능성 확인 및 PMV 제어 기반을 마련하였다.

**Key words** Thermal comfort(열쾌적), Predictive mean vote(평균온열감), Metabolic rate(활동량), Deep Learning(딥러닝), Building energy(건물에너지)

† Corresponding author, E-mail: [gilbert73@cau.ac.kr](mailto:gilbert73@cau.ac.kr)

## 1. 서론

국제에너지기구(IEA)에 따르면 전세계 총 에너지 소비량 중 건축물에 사용되는 에너지는 약 30%를 차지하며 그 중 냉난방에 사용되는 에너지 비중이 가장 크다.<sup>(1)</sup> 냉난방 에너지는 재실자의 열쾌적(Thermal Comfort) 만족도와 관련이 깊다. 건물의 열쾌적은 에너지뿐만 아니라 실내 환경의 질(Indoor Environment Quality, IEQ)을 결정짓는 중요한 요소로써 실내 재실자의 삶의 질 및 건강을 위해 반드시 고려되어야 한다.<sup>(2)</sup>

열쾌적을 평가하는 지표는 평균온열감(Predictive Mean Vote, PMV)으로 6가지 온열 요소를 고려하며 그 중 재실자의 활동량(Metabolic rate, MET) 등 개인적 요소의 정확한 측정을 통해 세밀하고 개인화된 열환경 조성이 가능하다. 하지만 현재 재실자 개개인의 MET 측정은 기기를 부착 및 휴대하여야 하며 심박동 수, 호흡량 및 맥박 등 인체의 부가적인 정보를 통해 측정한다.<sup>(3)</sup> 이와 같은 간접적인 방법은 오차의 발생이 빈번하고 편의성 및 적용성이 낮다. 따라서 개개인의 MET 측정에 있어 보다 정확하고 인체의 행동을 인식하여 MET를 측정하는 근본적인 방법이 필요하다.

본 연구는 개인 맞춤형 PMV 제어를 위해 재실자의 개인적 요소 중 MET를 산출하는 지능형 모델을 개발하고자 한다. 재실자의 실제 행동 인식 기반 MET 산출모델 개발을 위해 사람의 인지 능력을 모방한

딥러닝(Deep Learning)을 적용하였다. 개발된 모델은 추후 실제 PMV 계산에 적용될 수 있으며 PMV 제어 시 건물 에너지 소비 절감 및 실내 환경 쾌적 제어가 가능함을 시뮬레이션을 통해 확인해보고자 한다.

## 2. MET 산출모델 개발

MET 산출모델은 사람의 인지 능력을 모방하여 데이터 학습 및 정답 도출 과정을 수행할 수 있는 딥러닝 기법을 적용하여 실내 영상 이미지를 통해 재실자의 행동을 인지하고 MET를 산출한다. 이때, MET 산출모델은 선행 모델인 좌표 인식 모델과 연결된다. 선행 연구로 Han et al.<sup>(4)</sup>에 의해 개발된 관절 인식모델은 재실자의 이미지에서 사람의 관절 좌표 14쌍을 출력하며 본 연구의 MET 산출모델은 선행 모델에서 인식된 관절 14쌍의 좌표 값을 사용하여 사람의 포즈 및 MET를 산출한다.

재실자 실내활동은 ASHRAE에서 제공하는 ASHRAE 55의 표 5.2.1.2 “Metabolic Rates for Typical Tasks”를 기준으로 선정하였다.<sup>(5)</sup> 선택된 활동은 총 10가지로, ‘sleeping’, ‘reclining’, ‘seated,quiet’, ‘standing,relaxed’의 주된 주거활동 4가지와 ‘reading,seated’, ‘writing’, ‘typing’, ‘filing,seated’, ‘filing,stand’, ‘walking about’으로 주요 오피스활동 6가지를 설정하였다. (Table 1)

실내활동 이미지를 학습하기 위해 Table 1의 실내활동 각각 50개의 이미지를 수집하였다. 이미지 수집은 기존에 공개된 Open Dataset 중 실내 활동에 해당하는 이미지 데이터 일부를 활용하였다. 수집된 이미지는 학습 전 이미지 좌우반전, 회전 등의 과정을 거쳐 총 198배 증식 시켰다. 이때, MET 산출모델은 이미지 속 인체 주요 관절 14개의 절대 좌표 (x, y)를 학습하기 때문에 양쪽 발목, 무릎, 골반, 손목, 팔꿈치, 어깨 그리고 목과 이마로 인체의 주요 관절 14쌍을 추가로 설정하였다.

## 3. MET 산출모델 성능 분석

### 3.1 MET 산출모델의 학습 및 정확도 분석

MET 산출모델은 인체 관절 14쌍의 (x,y) 좌표 28개가 입력되고 해당하는 실내활동 및 MET를 출력한다. Fig.1은 산출모델의 기본 구조로 딥러닝의 형태인 입력층, 2개 이상의 은닉층, 출력층 구조를 가지며 입력뉴런 28개, 출력뉴런 1개로 구성된다. 결과적으로 산출모델을 통해 출력되는 재실자 포즈 정보로 MET 값 예측이 가능하다. 또한, 딥러닝 학습 시에 발생하는 느린 학습 속도, 학습 데이터의 과적합 및 그라디언트 소실 및 폭주(Gradient Vanishing or Exploding) 등의 문제를 해결하기 위한 모델 파라미터를 설정하였다.

본 연구에서는 성능이 가장 좋은 최적모델을 찾기 위해 Table 2와 같이 은닉층의 수(Number of Hidden Layer, NHL) 및 은닉뉴런의 수(Number of Hidden Neurons, NHN)를 변경하며 학습을 진행하였다. 학습 시 적용할 NHL 및 NHN에 대한 20 가지의 Case를 설정하였고, NHL은 기존 딥러닝 신경망에서 주로 발생하는 5가지 형태별 구조를 기반으로 표현하였다. NHN은 입력층의 뉴런 수와 비례하게 2~6배로 뉴런수를 증가시켰다. 즉, 은닉층은 형태별로 5가지 Case (Case1 ~ Case5)와 각 Case에서 뉴런 수를 변경한 4가지의 세부 Case로 구성되며 총 20개의 모델에 대한 학습이 수행되었다.

앞서 구축한 이미지 데이터는 MET 산출모델의 학습에 사용되는 Train dataset (80%)과 학습된 모델의 최종 성능을 평가하기 위한 Test dataset (20%)으로 분리하였다. 이때, Train dataset과 Test dataset은 총 5번의 서로

Table 1 학습 데이터 실내활동 및 MET 구성

Home activities		Office activities	
Indoor Activities	MET	Indoor Activities	MET
sleeping	0.7	reading.seated	1.0
reclining	0.8	writing	1.0
seated.quiet	1.0	typing	1.1
standing.relaxed	1.2	filing.seated	1.2
		filing.standing	1.4
		walking about	1.7

다른 이미지로 구성 가능하며 학습은 총 8,000번씩 5번 반복 진행하였다.

성능평가는 학습이 완료된 모델에 Test dataset를 적용하였으며 5번의 학습에 대한 평균 정확도를 통해 모델의 성능을 확인하였다. 정확도 측정 결과, 은닉층의 구조별 MET 분류 평균 정확도는 Table 3과 같다. 평균 정확도가 가장 높은 모델은 은닉층 4개와 은닉뉴런 140-112-84-56개의 구조를 가지는 Case 5- b로 평균 정확도 82.03%를 나타낸다. (Table 3) 주된 오차는 ‘walking about’과 ‘standing.relaxed’와 같이 단일 이미지 상에서는 동일한 포즈로 보일 수 있는 행동에 대해 반대로 분류하여 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 문제는 일정 제어기간 동안 재실자의 MET를 연속적으로 산출한 뒤 MET의 평균 또는 높은 빈도 값을 대푯값을 적용하는 추가 과정을 통해 정확도 향상이 가능할 것으로 사료된다.

### 3.2 MET 산출모델 적용에 따른 건물에너지 및 쾌적 성능평가

MET 산출모델의 성능을 토대로 실제 건물에서 정확한 MET 산출이 가능할 경우 PMV 제어에 따른 에너지 및 쾌적 성능을 확인하였다. EnergyPlus 시뮬레이션을 통해 에너지 및 쾌적 성능을 기존의 건구온도 제어와 비교하였으며 PMV 제어 방식은 Thermostatsetpoint:Thermal Comfort:Fanger Object를 활용하였다. 대상건물은

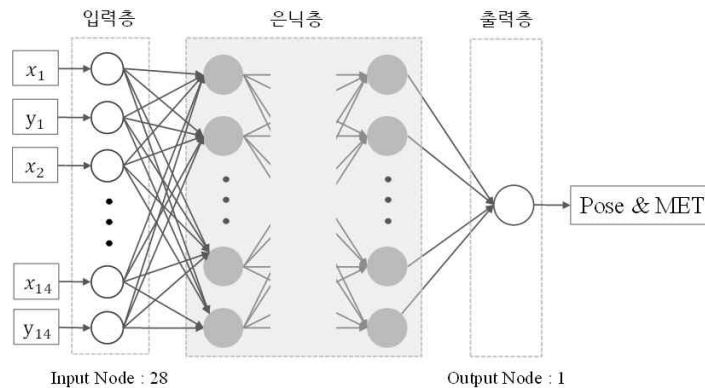


Fig. 1 MET 산출모델의 기본 구조

Table 2 Case별 은닉층 구조

구조도	Case	NHL	NHN	구조도	Case	NHL	NHN
	1-a	1	200		4-a	3	56-84-112
	1-b	1	250		4-b	4	56-84-112-140
	1-c	1	300		4-c	5	56-84-112-140-168
	1-d	1	350		4-d	6	56-84-112-140-168-196
	2-a	3	56-84-56		5-a	3	112-84-56
	2-b	4	56-84-84-56		5-b	4	140-112-84-56
	2-c	5	56-84-112-84-56		5-c	5	168-140-112-84-56
	2-d	6	56-84-112-112-84-56		5-d	6	196-168-140-112-84-56
	3-a	3	84-56-84				
	3-b	4	84-56-56-84				
	3-c	5	112-84-56-84-112				
	3-d	6	112-84-56-56-84-112				

Table 3 MET 산출모델의 은닉층 구조별 평균 정확도(%)

은닉층 구조	Cases				
	1	2	3	4	5
구분 a	77.14	80.80	80.42	80.50	81.94
구분 b	78.18	80.93	80.60	80.00	82.03
구분 c	80.31	80.27	81.28	81.15	81.32
구분 d	78.67	80.52	81.39	80.54	81.82

15층 규모의 일반 아파트로 선정하였다. 건구온도 제어의 경우 국내 주거건물에서 흔히 사용되는 바닥복사 난방 시스템과 벽걸이형 에어컨을 적용한 냉난방 시스템 모델을 추구하고 여름철 25℃, 겨울철 21℃로 제어하였고 PMV 제어의 경우 제어 범위를  $\pm 0.5$ 로 설정하였다.<sup>(6)</sup>

시뮬레이션 결과, 건구온도 제어의 경우 MET가 높은 경우 PMV가 최대 1.5까지 증가하는 등 재실자 쾌적성을 고려하지 못하는 시간이 많았다. PMV 제어의 경우 시스템 상태가 ON일 때 모든 시간에서 쾌적성을 만족하였으며 건구온도제어 방식 대비 연간 약 15.7%의 냉난방 에너지 감소를 나타내었다.

## 4. 결 론

본 연구는 실내 PMV 예측 제어를 위해 재실자의 개인적 요소 중 MET를 산출하고자 인체 관절 좌표를 통해 포즈 및 MET를 출력하는 MET 산출모델 개발 및 성능평가를 진행하였다. 결론은 다음과 같다.

- (1) MET 산출모델의 최적 구조는 입력층 1개, 은닉층 4개, 출력층 1개, 입력뉴런 28개, 은닉뉴런 140-112-84-56개, 출력뉴런 1개로 구성되며 8,000번의 학습 후 평균 정확도 82.03%를 나타냈다. 즉, MET 분류 알고리즘 성능이 양호한 수준으로, MET 산출모델 개발을 통해 재실자 MET 측정 방법의 가능성을 확인 할 수 있다.
- (2) 정확한 MET 값에 기반한 PMV 제어 시 기존의 건구온도 제어 대비 쾌적 만족 시간이 증가하였고 연간 냉난방 에너지 소비량은 15.7%의 감소율을 보였다. 이를 통해 PMV 제어가 건구온도제어 대비 재실자 쾌적성 만족도와 에너지 소비량 측면에서 우수함을 확인 할 수 있다.

본 연구의 한계점은 학습에 사용한 이미지가 500개로 다소 적었고 실내활동의 범위를 제한하였기 때문에 실제 적용 시 다양한 활동에 대한 MET 측정에 제한이 있다. 따라서 추후 도구를 인식하는 모델의 개발 등을 통해 실내활동의 범위를 다양하게 늘리고 이미지 데이터를 추가로 수집하는 등 모델 성능 개선을 위한 연구가 지속될 필요가 있다. 또한 추후 PMV 제어 알고리즘 개발을 통해 지정한 제어기간 동안 재실자 MET의 지속적 산출을 통한 대푯값을 PMV 계산에 사용하여 재실자 맞춤 PMV 제어의 기반을 확립하고 쾌적한 실내환경 조성과 건물 에너지 효율 극대화를 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후기

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20182010600010)

## References

1. 포스코가 그리는 친환경 미래 도시, 에너지 자립 건물 ‘제로에너지빌딩’
2. 박보량, 최은지, 이효은, 김태원, 문진우, 2017, 재실자 활동량 산출을 위한 딥러닝 기반 선행연구 동향, 한국생태환경건축학회 논문집, pp. 95-100.
3. 최은지, 2019, 딥러닝 기반 재실자 포즈별 MET 산출모델 개발, 중앙대학교 석사학위논문
4. 한지훈, 최은지, 문진우, 유용석, 2018, 심층신경망 기반 재실자 이미지 학습을 통한 인체 관절 인식 모델 개발, 생활환경학회
5. ANSI/ASHRAE, 2010, ANSI/ASHRAE Standard 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, Atlanta.
6. Hong, S., Lee, J., Moon, J., & Lee, K. (2018). Thermal Comfort, Energy and Cost Impacts of PMV Control Considering Individual Metabolic Rate Variations in Residential Building. *Energies*, 11(7), 1767.