

통풍 매트리의 유연 구조 및 유동 제어 기구

Flexible Structure with Flow Control Mechanism for Ventilation Mattress

김준희¹, 김권희^{2,#}

Jun Hee Kim¹ and Kwon Hee Kim^{2,#}

¹ 고려대학교 대학원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Korea University)

² 고려대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Korea University)

Corresponding Author / E-mail: kwonhkim@korea.ac.kr, TEL: +82-2-3290-3360

ORCID: 0000-0002-5948-9790

KEYWORDS: Ventilation mattress (통풍매트), Pressure sore (욕창), Flexible structure (유연구조), Flow control (유동제어), Drying performance (건조성능)

Bedridden patients develop pressure sores, as a result of poor blood circulation and excessive humidity. Conventional bedsore mattresses are designed to vary interface pressure zones, between the body and mattress for improved blood flow. Another approach is to control interface humidity, by forced air circulation. An ideal solution may be interface humidity control, in addition to pressure zone control. In this paper, a thin and flexible structure is suggested for forced air ventilation, that can be placed atop pressure zone controlled mattresses. With fabric covers, drying performances are evaluated for a range of air flow rates.

Manuscript received: December, 5 2017 / Revised: August 1, 2018 / Accepted: September 3, 2018

NOMENCLATURE

Q_1 = Leak flow

Q_2 = Discharge rate

W_w = Weight of wet material

W_d = Weight of dried material

y = Moisture content

1. 서론

침상에서 장시간 누워있는 외상 환자의 경우, 신체와 침구가 접촉되는 면에 외부 공기가 차단되어 다량의 땀이 배출된다. 땀이 침구에 흡수되면 습도의 상승으로 세균 번식이 활발해져 다양한 피부 질환이 생길 수 있다. 외상 환자의 신체에 지속적으로 가해지는 압박으로 혈액순환이 부족한 상태에서 피부 질환이 발생하면 피부 및 피하 조직의 괴사로 발전하여 욕창이 발생하게 된다.

따라서 침구의 수분은 욕창 발생에 큰 영향을 끼친다.¹

대부분의 욕창 방지 매트리는 체중을 지지하는 위치를 주기적으로 변동시켜 혈액순환을 향상시키는 압력 변동식²⁻⁵이 주종을 이루고 있다. 매트리스의 건조를 위하여 공기를 강제로 순환시키는 통풍 구조에 대한 연구⁶⁻¹¹들이 있으나, 실제로 널리 사용되는 제품은 찾아보기 어렵다. 냉풍 매트리스,¹² 냉온풍 매트리스,¹³ 배관식 공기분사 매트리스¹⁴등의 선행기술에서는 공기를 매트 내부로 주입시켜 매트 상부의 다수의 구멍을 통해서 신체로 분사되도록 한다. 이 경우, 신체가 구멍을 막아서, 제습이 이루어져야 하는 부위로 공기가 분사되지 않고 열려 있는 구멍들로 공기가 낭비된다. 반면에 체중 감지식 공기분사 매트리스¹⁵는 공기분사 밸브와 배관을 포함하는 구조로 매트리스가 두꺼워져 기존의 압력 변동식 매트리스의 장점을 살리기 어렵게 되어 있다. 본 연구에서는 체중이 가해진 부위에만 공기가 분사되는 유동 제어 구조를 개발하였다. 종래의 압력 변동식 욕창 방지 매트리에 추가하여 사용할 수 있도록 얇고 유연하게 설계하였다. 단일 셀 구조의 유동 제어 기능을 확인하고, 매트 커버로 사용될 몇 가지 기능성 섬유에 대한 건조 성능을 확인하였다.

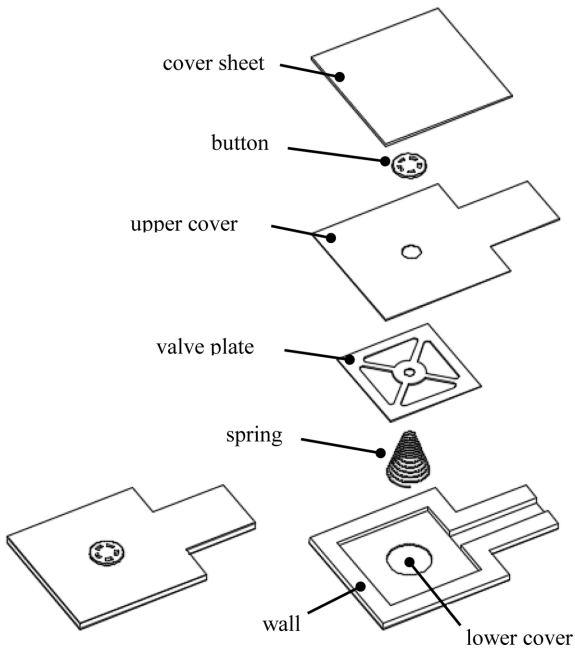


Fig. 1 Unit cell of ventilation mattress

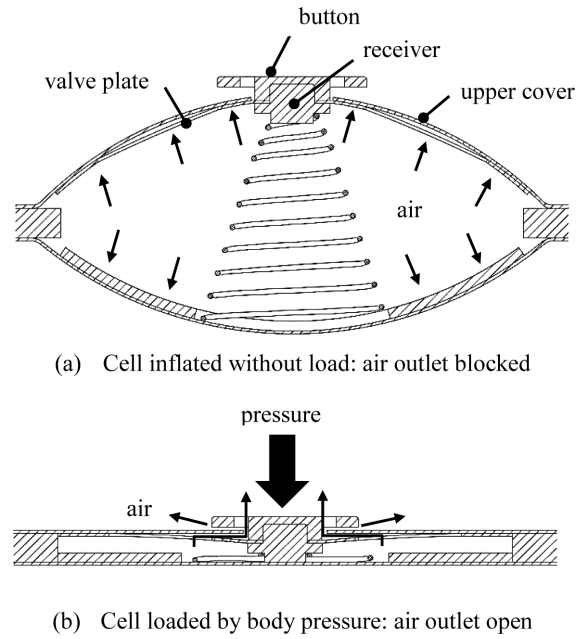


Fig. 2 Pressure responsive unit cell

2. 구조 및 작동 원리

2.1 구조

Fig. 1은 통풍 매트 단위 셀(Cell) 구조를 나타낸다. 각 셀은 상부 커버(Upper Cover), 하부 커버(Lower Cover)와 격벽(Wall)으로 구성되며 내부에 밸브(Valve) 기구를 수용한다. 밸브는 버튼(Button), 밸브 플레이트(Valve Plate)와 스프링으로 구성된다. 체중이 가해지면 버튼이 눌러 공기가 상부로 분출되며, 격벽은 체중을 지지하여 밸브의 구조를 보호하는 기능을 한다. 커버 시트는 수분 흡수와 통풍이 우수한 기능성 섬유로 선택된다.

2.2 작동 원리

각 셀에 공기가 주입되면, 상부 커버가 Fig. 2(a)와 같이 팽창한다. 압력의 영향으로 밸브 플레이트가 상부 커버에 밀착되어 공기 유출이 차단된다. 체중이 가해져 버튼이 눌리면 Fig. 2(b)에 나타난 것과 같이 밸브 플레이트와 상부 커버 사이에 간격이 발생하여 공기의 유출이 일어난다. 체중이 제거되면 스프링과 공기 압력으로 Fig. 2(a)의 형상이 복원된다.¹⁶

3. 구조 최적화

3.1 설계 인자

단위 셀에 내압 105 kPa를 가한 상태에서 닫힌 밸브의 누설량(Q_1)과 열린 밸브의 토출량(Q_2)을 측정하였다. 누설량을 최소화시키면서 토출량이 큰 구조를 도출하기 위해서 Fig. 3에 보인 4가지의 설계인자를 선정하였다. 밸브 플레이트 중심부(Plate Core)의 직경(A)이 크면 공기 유동에 대한 저항이 커져서 밀폐력이 증

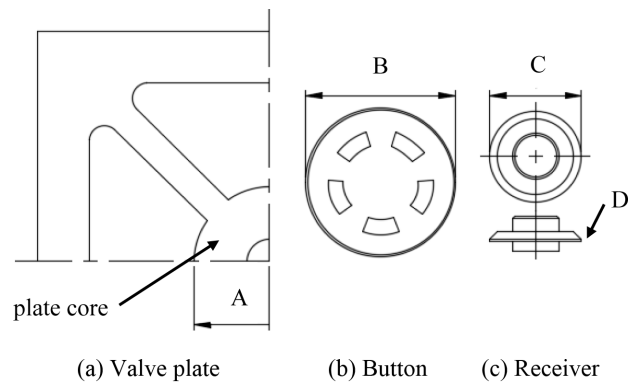


Fig. 3 Design parameters

Table 1 Four design parameters at two levels

Plate core diameter (A) mm		Upper button diameter (B) mm	
A1	15.0	B1	15.0
A2	22.5	B2	22.5
Receiver diameter (C) mm		Taper (D)	
C1	7.5	D1	No
C2	11.3	D2	Yes

가할 수 있다. 버튼의 직경(B)이 크면 토출되는 공기가 수직방향으로 분출되며, 반대의 경우는 수평방향으로 분출된다. Fig. 2(a)에 보인 것처럼 버튼과 스프링을 연결하고 밸브 플레이트 중심부와 버튼을 결합시키는 리시버(Receiver)의 직경이 밀폐 기능에 영향을 미칠 것으로 예상하였다. 또한, 밸브가 닫혀 셀이 팽창된 경우 리시버의 테이퍼 유무(D) 역시 밸브 플레이트와의 접촉부 형상을 좌우하므로 밀폐 성능에 영향을 미칠 수 있을 것으로 기

Table 2 Test results with the 4 design parameters in L8(2⁷) orthogonal array

RUN	A	B	C	D	Q ₁ (mL/min)	Q ₂ (mL/min)
1	1	1	1	1	0.0	22.5
2	1	1	2	2	13.8	47.5
3	1	2	1	2	1.5	17.5
4	1	2	2	1	0.0	20.0
5	2	1	1	2	1.0	20.0
6	2	1	2	1	2.5	15.0
7	2	2	1	1	1.4	2.3
8	2	2	2	2	10.0	0.0

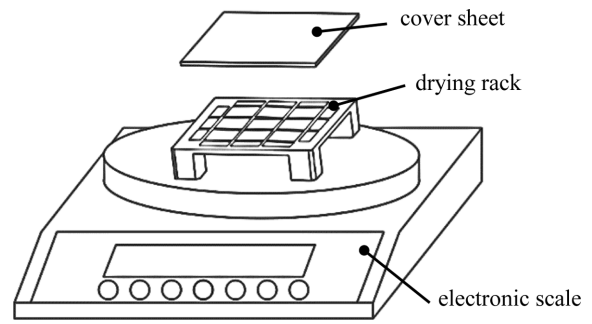


Fig. 5 Drying test of cover sheets on a rack

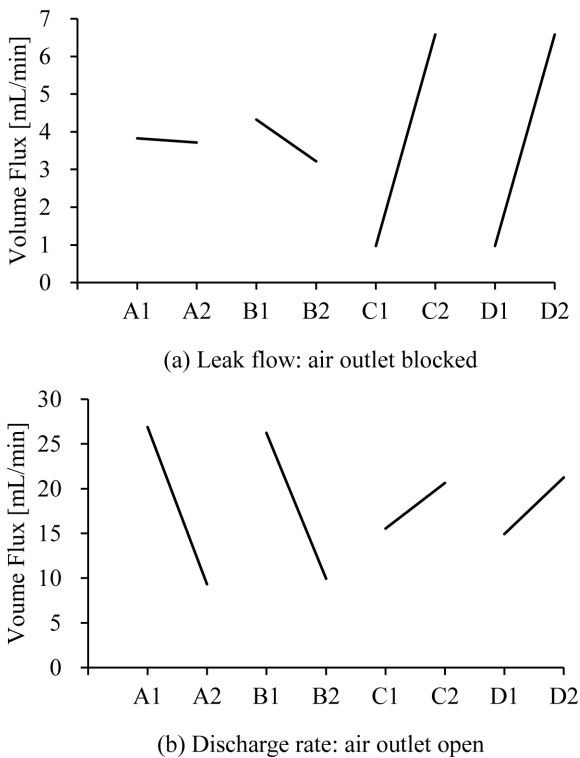


Fig. 4 Analysis of means for the four parameters in Table 1

대하였다. 각 인자들의 2 수준별 값들을 Table 1에 수록하였다. 각 인자들이 누설량과 토출량에 미치는 영향을 분석하기 위해서 Table 2의 L8(2⁷) 직교배열표¹⁶를 구성하고 실험을 진행하였다.

3.2 영향 평가

Table 2에 수록된 실험 결과에 대하여 평균치 분석을 실시하여 Fig. 4에 나타내었다. 매트가 팽창 시에 누설량(Leak Flow)에 대한 분석 결과에서는 변수 C, D 압축 시에 통풍량(Flow Rate)에 대한 결과에서는 변수 A, B가 기여도가 높은 것으로 나타났다. 누설 유량을 최소화 하기 위해서 C1, D1, 통풍량을 크게 하기 위해서는 A1, B1을 선정하게 되면, Table 2에서 Run1과 동일한 조건이 된다. Q₁이 0이고 Q₂가 22.5 mL/min으로 다른 모델들과 비교해 보았을 때 가장 최적화된 모델임을 알 수 있다.

4. 통풍매트의 건조성능 검증

4.1 커버시트 소재의 선택

기능성(흡한 속건성) 소재는 피부에서 나오는 땀을 흡수하여 신속하게 옷 바깥쪽으로 배출하는 기능을 가진다.¹⁸ 세균이나 악취 발생에 대한 저항력이 우수하고 세탁이 편리한 장점이 있어 매트의 최종 상단에 위치하는 커버시트로 사용된다. 기능성 의류에 많이 사용되는 4가지 소재로 건조 실험을 하였다. E는 벌집 모양의 엠보싱(Embossing) 가공이 되어있고, F는 섬유 사이에 공극이 형성되어 있고, G는 이중 구조를 가지고, H는 4채널(Channel) 섬유 구조이다.

4.2 소재 선택

네 가지 커버 시트 소재 중에서 가장 적합한 것을 찾기 위해서 Fig. 5에 보인 자연건조 방법을 사용하였다. 실내 온도 24°C, 습도 40%에서 65 × 65 mm 크기의 소재 3매 이상을 겹쳐서 물을 흡수시킨 후 건조대(Rack)에 올려놓고 30분 동안 5분 간격으로 소재의 무게를 측정하였다.

건조 과정 중 소재의 수분율(y)은 건조된 소재의 무게(W_d)에 대한 소재의 수분 보유량이며 다음과 같이 표현된다.¹⁷

$$y = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100(\%) \tag{1}$$

여기서 W_w는 젖은 소재의 무게이다. Fig. 6은 네 가지 소재에 대한 건조대 실험 결과를 나타낸다. 수분율 감소가 가장 빠른 소재 F를 최종적으로 선택하였다.

4.3 건조성능 평가 방법

앞선 실험 방법과 동일하게 온도, 습도, 커버시트 크기를 정하고 물을 흡수시킨 시트의 무게를 측정한다. 셀과 튜브를 사용한 방법에 대한 성능 비교를 실시하였다. Fig. 7은 시트와 셀 위에 하중(Load)을 가하여 매트가 인체를 지지하는 상황을 모사하는 건조 방법이다. Fig. 8은 셀 건조 방법과 유사하나 셀 대신 구멍이 있는 튜브를 사용하는 방법이다. 이는 매트리스 상부로 공기가 분출되는 종래의 욕창방지매트의 구조를 모사한 것이다. 튜브 구멍의 직경은 셀의 공기 출구 면적과 동일하게 설정하였다. 사이즈

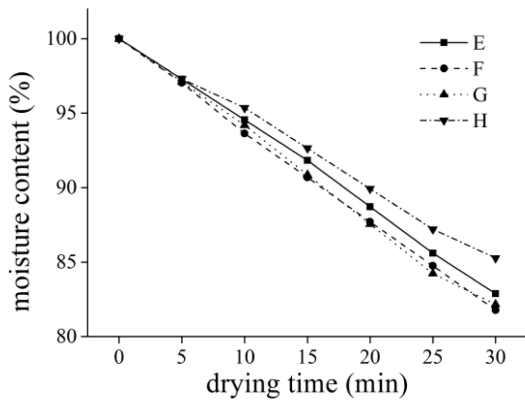


Fig. 6 Drying characteristics of the four fabrics for rack tests

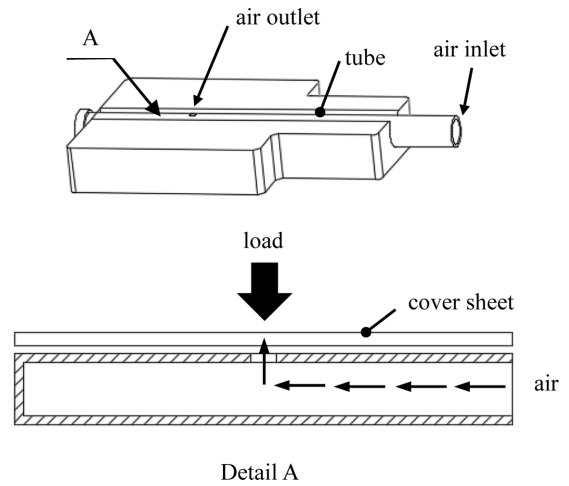


Fig. 8 Air passage for a tube during drying tests

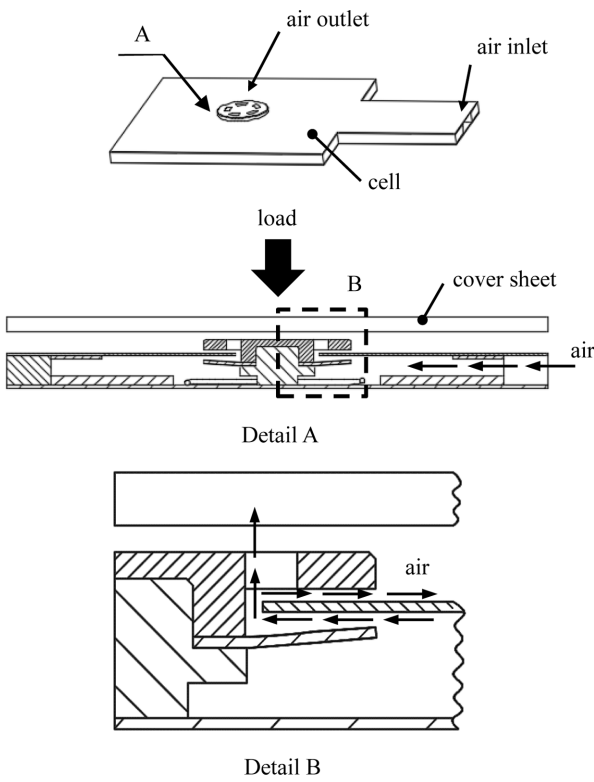


Fig. 7 Air passages for a unit cell during drying tests

코리아(Size Korea)¹⁸에서 발표한 성인 남성의 평균 형상과 체중으로 산정된 매트 체압을 기준으로 540 g의 하중을 가하였다.

4.4 건조 성능 검토

셀 건조(Cell Drying)와 튜브 건조(Tube Drying) 각 방식의 건조 성능을 비교하였다. 통풍량 8 L/min에 대한 실험 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 100% 수분율로 시작하여 30분 경과 후 수분율이 각 18.2%와 36.9%로서, 약 2배의 차이가 나는 것을 볼 수 있다. Fig. 10은 셀 및 튜브 내부 압력 105 kPa에 대한 실험 결과이다. 셀 및 튜브 방식의 통풍량은 각각 6.5 L/min과 8.0 L/min로, 셀 방식의 유량이 작음에도 건조 속도가 높게 나타났다. 튜브 건조의 경우, 공기가 상부 방향으로만 분사되는 데에 반해(Fig. 8 참

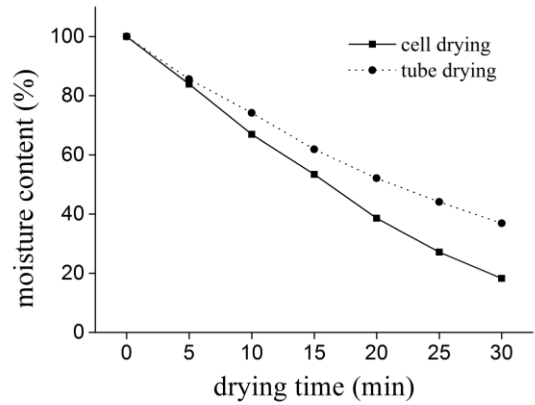


Fig. 9 Changes in cover sheet moisture content for cell drying and tube drying with fixed flow rate of 8L/min

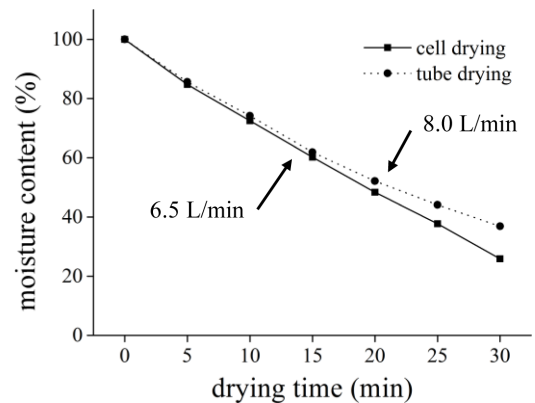


Fig. 10 Changes in cover sheet moisture content for cell drying and tube drying with fixed air pressure of 105 kPa

조), 셀 건조의 경우에는 공기의 유출이 상부와 반경방향으로 분산되기 때문에(Fig. 7 참조) 통풍 효율이 높은 것으로 판단된다.

셀 건조 방식의 통풍량에 따른 수분율 감소를 Fig. 11에 나타내었다. 통풍량의 증가에 따라 건조속도가 높아지는 것을 알 수 있다.

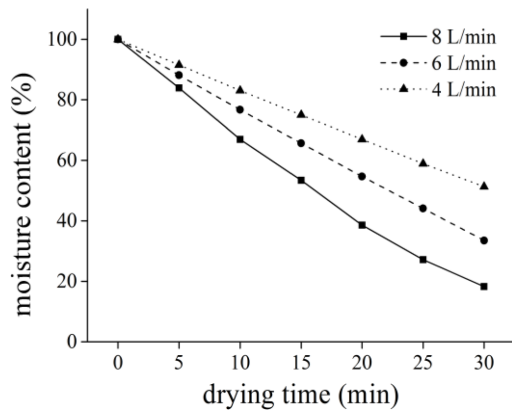


Fig. 11 Changes in cover sheet moisture content for cell drying with varying flow rates.

5. 결론

얇고 유연하며 효율적으로 습도를 조절할 수 있는 통풍매트의 구조를 개발하였다. 혈액순환을 하는 종래의 하중 변동식 매트리스에 추가하여 사용할 수 있으며, 체압이 가해진 부위에만 공기가 분사되도록 셀을 설계하였다.

밸브 상단에 체압이 걸리면 밸브가 셀 내부로 들어가 보호를 받으며 입체적으로 공기를 분사하는 구조를 채택하였다. 이를 위하여 셀의 격벽이 충분한 두께를 갖도록 하였다. 밸브의 설계인자들에 대한 직교배열표 실험으로 누설량을 최소화하고 통풍량을 극대화하는 구조를 도출하였다. 자연 건조 실험을 통해 시트 커버로 적합한 기능성 소재를 선정하였고, 셀을 사용한 건조 방식과 기존 공기 분사 방식의 건조 실험을 통하여 새로운 모델의 향상된 건조 효율을 확인하였다.

REFERENCES

1. Yusuf, S., Okuwa, M., Shigeta, Y., Dai, M., Iuchi, T., et al., "Microclimate and Development of Pressure Ulcers and Superficial Skin Changes," *International Wound Journal*, Vol. 12, No. 1, pp. 40-46, 2015.
2. Kang, S.-J., Kim, G.-S., Hong, J.-H., Ryu, J.-C., Kim, K.-H., et al., "Development of Air-Cell Mattress for Preventing Pressure Ulcer Using Anthropometric Model," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 11, No. 7, pp. 578-586, 2005.
3. Hata, T., "Bed for Preventing Bed Sores," US Patents, No. 12374716, 2007.
4. Kim, K. I., "A Fluid Matrix for a Bedsore Prevention," KR Patents, No. 19990018554U, 1999.
5. Pilar, B., Daniel, G., and Jose, R., "Anti-Bedsore Mattress," EP Patents, No. 1961405A1, 2007.

6. Jung, S. Y., Kim, G. S., Ko, C. Y., Kim, S. G., and Mun, M. S., "Preventing Pressure Ulcer Performance Evaluation of Skin Microclimate Control System," *Proc. of the KSPE Spring Conference*, pp. 869-870, 2016.
7. Lin, K.-S., "Structure of a Ventilated Mattress with Cooling and Warming Effect," US Patents, No. 6546576B1, 2003.
8. Kim, J. Y., "Anti-Bedsore Mattresses," KR Patents, No. 101054014B1, 2011.
9. Jeon, B. O., "Cooling Mat," KR Patents, No. 20130103049A, 2013.
10. Ruth, H., "Moisture Drying Mattress with Separate Zone Controls," US Patents, No. 6487739B1, 2002.
11. Kim, K. I., "Dry Device of Mattress for Preventing Bedsore," KR Patents, No. 20090065150A, 2009.
12. Charlesette, H., "Mattress with Cooling Airflow," US Patents, No. 20080028536A1, 2008.
13. Lee, D. H., "Air Seat with Hot Air or Cool Air," KR Patents, No. 20140035734A, 2014.
14. Kwon, C. Y., Kim, K. S., Kim, S. K., Ryu, J. C., Mun, M. S., et al., "May for Prevention of Bedsore with Air Sprayer," KR Patents, No. 100871719B1, 2008.
15. Kazumichi, I., "Mattress Used for Preventing Bedsore or the Like," US Patents, No. 6581225B1, 2003.
16. Taguchi, G. and Yokoyama, Y., "Taguchi Methods: Design of Experiments," *American Supplier Institute*, Vol. 4, 1993.
17. Mohanraj, M. and Chandrasekar, P., "Performance of a Forced Convection Solar Drier Integrated with Gravel as Heat Storage Material for Chili Drying," *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 4, No. 3, pp. 305-314, 2009.
18. Size Korea., "Size Korea," <http://sizekorea.kr> (Accessed 28 NOV 2018)



Jun Hee Kim

M.Sc. in the Department of Mechanical Engineering, Korea University. Staff/LG Electronics H&A Air Solution. He is interested in structure design of appliance.
E-mail: kimjunhee217@naver.com



Kwon Hee Kim

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Korea University. His research interest is in the creative design of mechanical systems and commercial products.
E-mail: kwonhkim@korea.ac.kr