Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 4 pp.639-646, August 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.4.639

동력형 욕창예방제품의 교대부양 압력 프로파일 특성

원 병 희[1,2] · 송 창 섭[1]

[1]한양대학교 대학원 기계설계 · 메카트로닉스공학과 / [2]한국생산기술연구원 실버기술개발단

Alternating Pressure Profile Characteristics of Powered Pressure Ulcer Preventing Devices

Byeong-Hee Won[1,2], Chang-Seop Song[2]

[1]Department of Mechanical Design and Mechatronics, Hanyang University, Seoul, 133-791
[2]Gerontechnology Center, Korea Institute of Industrial Technology, Chunan, 331-825

ABSTRACT

The APAM's quantitative effectiveness and comparative study in preventing and treating pressure ulcer has not been sufficiently evaluated mainly because of uncertainty of pressure load input and lack of interpretation of dynamic perfusion recovery characteristics of soft tissue. The purpose of this paper was to quantify and analyze the alternating pressure characteristics of APAM as a preventive measure for pressure ulcers. To quantify the alternating load to human body, we introduced alternating pressure profile concept and developed parametric model of the profile. Regarding pressure level and cycle time, 3 global and 7 local periodic parameters were used to define the profile such as light, standard, typical and heavy duty profile shape. Pressure impulse ratio of light duty is the lowest but pressure fluctuation is significantly high. For the same duty shape, contact conditions are changed with alternating cycle time and more dramatically in shorter alternating cycle time conditions. We can conclude that if we use shorter alternating cycle time on APAM's operation we can get more positive effects regarding to inflated contact time condition. We proposed the quantitative methods on tissue viability study of external loading by simultaneous measurement of interface pressure and tissue perfusion with proper alternating pressure profile conditions.

Keywords: Pressure ulcers, Alternating pressure profile, APAM(alternating pressure air mattress), Contact conditions

1. 서 론

욕창은 급속한 고령화 진전과 더불어 유병률 및 치료비용이 지속적으로 증가하고 있는 질환이며 발병 이후의 관리 및 치료에 어려움이 많아 예방적 노력이 매우 중요하다. 인체 조직의 대사와 활력 정도, 노출 환경, 마비나 와상상태에서 외부 압박의 지속 등 욕창의 발생원인은 매우 다양하고 복합적이다. 물리적으로는 인체 접촉부의 작용압력이 조직 내에서 전단 및 압축응력을 복합적으로 발생시켜 변형과 폐색에 의한 혈류장애로 조직이 괴사하게 되어 욕창으로 발전하는 것으로 알려지고 있다.

교신저자: 원병희
주 소: 331-825 충남 천안시 서북구 입장면 홍천리 35-3, 전화: 010-3731-8090, E-mail: bhwon@kitech.re.kr

기본적으로 욕창예방을 위한 제품은 접촉압력을 분산(pressure reduction)시키거나 제거(pressure relief)를 통해 압력을 재배치(pressure redistribution)하는 것을 목표로 개발되고 있다. 교대부양 공기 매트리스(APAM, alternating pressure air mattress)는 가장 대표적인 동력형 욕창예방제품으로 교대부양 주기, 공급압력을 설정하면 주기적으로 접촉부에 작용하는 압력을 제거하는 방법을 사용한다(NPUAP and EPUAP, 2009).

일반적인 욕창방지용 방석, 침대용 매트리스 등은 접촉면적을 넓혀 정적으로 압력을 분산하는 효과를 나타낸다. 정적인 부하가 조직에 미치는 영향에 대해서는 작용압력과 접촉 유지시간의 상관관계로부터 압력 · 시간 위험선도(PTTC, pressure time tolerance curve)를 실험적인 방법으로 구하여 발표되었다(Reswick and Rogers, 1976). 또한 인체의 유한요소 모델을 사용하여 지지면의 접촉조건으로부터 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 해석적인 연구가 이루어지고 있다(Bouton *et al.*, 2003; Makhsous *et al.*, 2007).

동적인 부하가 인체에 미치는 영향에 대한 연구는 여러 결과가 발표되고 있으며(Bader, 1990; Collin and Saumet, 1996; Harel *et al.*, 2008; Rithalia and Gonsalkorale, 2000), 전통적으로 피부에서의 접촉압력 평가방법이 사용되어 왔으나 조직 내의 생리적, 역학적인 영향 정도를 직접 측정할 수 없는 한계로 인해 최근에는 관류(tissue perfusion) 측정방법을 병행하는 실험적인 연구가 활발히 진행되고 있다(Wywialowski, 1999; Jonsson *et al.*, 2005).

기존의 동적부하에 대한 연구는 부하를 인가하는 방법이 엎드린 자세에서 기계적인 부하를 작용시켜 연조직의 관류특성을 평가하므로서 실제 APAM의 작동상태와 같이 누운 상태의 부하조건과 다른 방법을 사용하는 한계를 가지고 있다. 또한 가장 큰 한계는 시장에 출시되어 있는 APAM을 이용하는 경우 제품의 설정조건을 연구의 목적에 맞게 임의로 바꾸는 것이 어려우며 다른 제품간에 동일한 부하조건을 만드는 것이 불가능하여 정량적 비교연구가 어렵다.

APAM의 사례와 같이 주기적으로 접촉압력이 인가되고 해소되는 부하조건의 변화는 인체에 직접적인 영향을 미치는데도 불구하고 충분한 고찰이 이루어지지 못하고 있으며 결과적으로 부하조건의 변화가 인체에 미치는 영향에 대한 정량적인 비교연구가 체계적으로 이루어지지 못하고 있다. 본 연구에서는 APAM의 교대부양 과정에서 인체에 작용하는 동적부하에 대한 영향을 정량적으로 비교연구할 수 있는 방법을 제안하고 교대부양 압력 프로파일의 형상과 설정조건이 접촉부하특성에 미치는 영향을 분석하여 관련 제품의 개발과 효과적인 활용을 위한 후속연구에 대한 기준을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 APAM 작동특성 분석과 압력 프로파일 모델링

기본적인 교대부양 공기 매트리스의 작동특성은 크게 교대부양 주기(alternating cycle time), 공기 셀 공급압력(air cell pressure) 및 프로파일 듀티 비(profile duty ratio)로 나누어 생각할 수 있다. 이러한 요소를 적절하게 설정하므로서 효과적인 욕창의 예방과 관리가 가능할 것으로 판단된다.

국내외의 다양한 종류의 교대부양 공기 매트리스에 대한 작동특성의 비교분석을 바탕으로 교대부양 압력 프로파일(alternating pressure profile)의 개념을 도입하여 인체에 가해지는 부하조건을 정량화하기 위한 방법을 제안하였다. 가장 대표적인 동력형 욕창예방제품인 3-셀형 교대부양 공기 매트리스에 대해 하드웨어 구성요소의 검토와 시스템 차원의 공기공급 및 교대부양 작동특성을 분석하였다. 구체적으로 급기, 유지, 배기로 이루어지는 각 교대부양 구간에서 공기 셀 내의 공급압력 변동특성을 검토하여 압력 프로파일의 형상을 정의할 수 있는 매개변수를 제안하고 정량화하였다.

2.2 교대부양 압력 프로파일의 특성 분석

정량화된 교대부양 프로파일이 실용적으로 활용될 수 있도록 압력 프로파일 듀티(pressure profile duty)에 따라 4가지로 유형화하였다. 각 듀티 유형에 대해서 교대부양 주기의 변화에 따라 인체에 가해지는 부하량인 압력 임펄스 특성을 분석하였다. 또한 접촉조건을 압박시간(contact time), 과도시간(transition time) 및 압박해소시간(release time)의 구성요소로 나누어 듀티 유형별 교대부양 주기에 따라 중요한 접촉조건이 바뀌는 것에 대한 분석을 수행하였다.

2.3 교대부양 부하조건의 정량적 연구방법 제안

교대부양 압력 프로파일의 개념을 사용한 부하특성의 정량적 모델을 활용하여 동적인 접촉부하조건의 변화가 인체에 미치는 영향에 대한 정량적 연구를 위해서 필요한 과제와 해결방안을 제안하였다.

3. 교대부양 압력 프로파일의 형상 모델링

3.1 시스템 구성과 작동특성

일반적인 APAM의 경우 교대부양 주기, 공기 셀 공급압

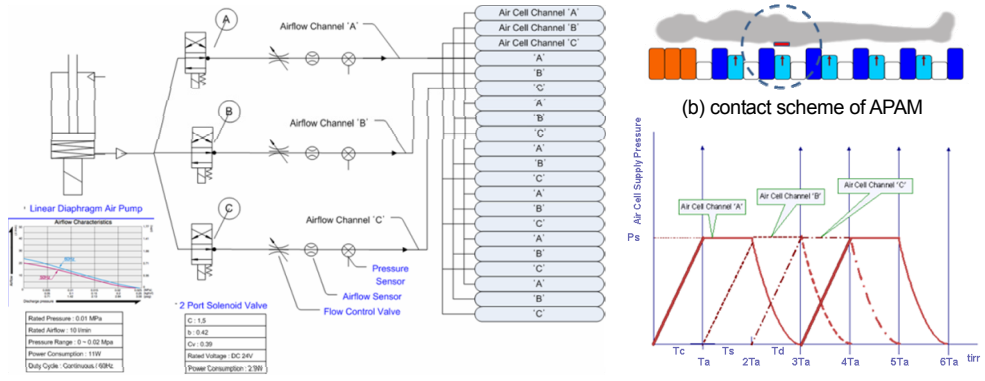


그림 1. 3-셀 교대부양 공기 매트리스의 시스템 구성과 교대부양 작동특성

력 정도를 적절한 조건으로 설정해서 사용하도록 권장하고 있다. 그러나 대부분의 사용자는 그러한 조건 설정이 의미하는 바에 대해 이해하기 어려우며, 지나치게 설정압력을 높여 접촉부하가 큰 상태에서 사용하거나 공기압력을 낮게 설정하면 인체가 바닥면에 직접 닿는 현상(grounding)이 발생하는 등 잘못된 조건으로 사용하는 사례도 발생하게 된다.

이러한 작동조건 설정의 어려움, 모호함 때문에 작동조건이 인체에 미치는 영향에 대한 명확한 이해가 필요하며 그 첫 단계로 부하조건을 발생시키는 교대부양 압력 프로파일의 특성을 체계적으로 이해하고 분석하는 것이 요구된다. 이를 위해 APAM 공기압 공급계통의 구조와 각 구간별 작동방식에 대한 세밀한 검토가 필요하다.

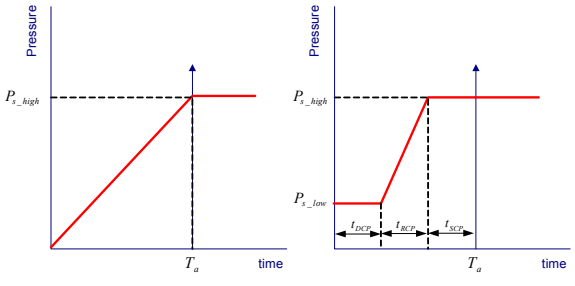
전형적인 3-셀 교대부양 공기 매트리스의 시스템은 기능적으로 제어 및 사용자 조작부, 공기압 발생 및 공급부, 매트리스의 세 부분으로 구성되어 있다. 공기압 공급계통은 펌프로부터 발생한 압축공기를 각 공기 셀 별로 유로를 on/off하는 동작에 의해 공급 및 차단하게 된다. 이러한 공기공급의 조절은 저가형의 경우 타이밍 모터(timing motor)를 사용해 왔으나 모터의 회전에 따라 선회하는 그루브형 유로(groove type air path)의 구조적인 특성 때문에 각 공기 셀 별로 공급되는 압력의 패턴이 동일하지 않고, 선회유로의 상대적인 미끄럼 발생 등에 의해 정확한 교대부양 주기를 설정하는데 문제가 발생하기도 한다. 최근에는 정확한 작동특성을 구현하기 위해 솔레노이드 밸브(solenoid valve)를 사용하는 것이 일반적이다. 배기동작을 위해서 별도의 솔레노이드 밸브가 사용되며 유로 내에 압력센서 등을 사용하여 각 셀 별 적정 공기압을 제어한다(그림 1. (a)).

각 공기 셀에는 설정된 교대부양 주기만큼의 시차를 두고 급기구간, 유지구간, 배기구간이 순차적으로 진행된다. 이러한 연속된 교대부양 과정에 의해 인체 접촉부에 작용하는 압력이 동적으로 변화한다. 이 때 각 구간별 유지시간은 설정된 교대부양 주기(Ta)와 같고 교대부양 주기의 3배(3Ta)에 이르는 시간을 거치며 하나의 교대부양 사이클이 완성된다(그림 1. (b), (c)).

3.2 교대부양 압력 프로파일 형상 모델

3.2.1 급기구간(CP, charging period)

공기펌프, 방향제어밸브, 관로 및 매트리스로 구성된 공기압 공급계통에서 급기구간이 시작되기 직전에 공기펌프를 가동시키고 해당되는 공기 셀의 방향제어밸브를 열면 공기가 매트리스로 유입된다. 그림 2는 급기구간의 압력 프로파일 형상이며, 개념적으로 완전배기(대기압) 상태에서 설정된 공급압력에 이르기까지 전체 구간에 걸쳐 일정한 기울기로 급기가 이루어지는 것으로 생각할 수 있다. 일반화된 모델의 경우 이전 배기구간에서 대기압까지 완전히 배기를 하지 않고 일정한 차단압력(P_{s_low}, cut-off pressure)이 유지된 상태에서 급기구간으로 진행되는 것이 일반적이다. 구간이 시작되면 정해진 지연시간(T_{DCP})이 지난 후 급기시간(T_{RCP}) 동안 설정압력(P_{s_high})에 도달할 때까지 급기가 이루어지며 이 상태에서 다음의 유지구간이 시작될 때까지



(a) 개념적 모델 (b) 일반화된 모델

그림 2. 급기구간의 압력 프로파일 특성 모델

(T_{SCP}) 압력을 유지한 채 구간을 마치게 된다.

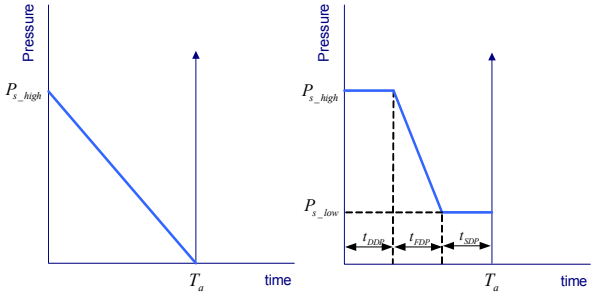
3.2.2 유지구간(SP, sustaining period)

유지구간에서는 매트리스 공기압 계통의 컨트롤 볼륨이 닫혀져 있도록 해서 전 구간에 걸쳐(T_{SSP}) 공기 셀의 설정 압력을 일정한 상태로 유지한다. 압력센서를 사용해서 압력 피드백 제어를 사용하지 않는 경우 공기펌프가 계속 가동되면서 공기 셀에 계속 가압이 되어 지나치게 높은 압력이 발생하는 경우도 있다. 경우에 따라 공기 셀에 작은 크기의 구멍을 뚫어 매트리스 외부로 통기성 공기를 공급하는 방식이 있는데 이 경우에는 유지구간이지만 공기 셀 내의 압력은 누설에 의해 시간이 지남에 따라 지속적으로 감소하게 된다.

3.2.3 배기구간(DP, discharging period)

배기구간이 시작되면 배기밸브가 열리면서 공기 셀 내에 유지되고 있던 압력공기가 대기로 자연배기되면서 완전배기되거나 설정한 차단압력까지 떨어질 때 밸브를 닫아 그 압력을 유지한 상태에서 구간을 마치게 된다.

그림 3은 배기구간의 프로파일로 개념적으로는 구간의 시작과 동시에 배기가 시작되어 전 구간에 걸쳐 서서히 진행되는 형태이다. 일반화된 모델은 구간 내 지연시간(T_{DDP})이 경과한 후 완전배기 보다는 일정한 차단압력(P_{s_low})에 도달하면 밸브를 닫아 이 압력상태가 유지되도록 한다. 보통 배기에 소요되는 시간(T_{FDP})은 배기구간 전체에 비해 상대적으로 짧은 시간에 걸쳐 일어나므로 배기 후 유지되는 시간(T_{SDP})이 길어지게 된다.



(a) 개념적 모델 (b) 일반화된 모델

그림 3. 배기구간의 압력 프로파일 특성 모델

3.3 교대부양 압력 프로파일의 형상정의 매개변수

표 1에서 교대부양 압력 프로파일의 형상정의를 위한 매개변수를 정리하였는데, 유형별로 전체 주기에 걸쳐 동일하게 적용되는 전역 매개변수(global parameter), 해당 구간 매개변수(local periodic parameter), 전역 및 구간 매개변수에 따라 결정되는 유도 매개변수(derived parameter)로 구분할 수 있다.

표 1. 교대부양 압력 프로파일의 형상정의를 위한 매개변수

Parameter type	Symbol	Unit	Description
Global parameters	T_a	sec	alternating cycle time
	P_{s_high}	mmHg	air-cell set pressure
	P_{s_low}	mmHg	air-cell cut-off pressure
Local period parameters	T_{DCP}	sec	delay time at CP
	T_{RCP}	sec	pressure rising time at CP
	T_{SCP}	sec	sustaining duration at CP
	T_{SSP}	sec	sustaining duration at SP
	T_{DDP}	sec	delay time at DP
	T_{FDP}	sec	pressure falling time at DP
	T_{SDP}	sec	cut-off duration at DP
Derived parameters	PDR	-	profile duty ratio

전역 매개변수인 교대부양 주기 T_a는 급기, 유지, 배기 구간에 걸쳐 동일한 값이다. 또한 공기 셀의 설정압력(P_{s_high})과 차단압력(P_{s_low})은 전주기에 걸쳐 동일하다. 따라서 전역 매개변수 T_a, P_{s_high}, P_{s_low}는 개별 구간에 따라 영향을 받지 않고 프로파일의 기본적인 형상을 정의한다. 각 구간별 작동특성에서 교대부양 압력 프로파일의 형상은 급기구간의 경우 3개, 유지구간의 경우 1개, 배기구간의 경우 3개의 매개변수로 전체 주기에 걸쳐 모두 7개의 구간별 시간변수로 구성할 수 있다(그림 4).

교대부양 압력 프로파일의 형상이 결정되면 프로파일 듀티 비(PDR)는 전주기에 걸쳐 설정압력이 작용할 때의 총 압력 임펄스(total pressure impulse)에 대한 해당 프로파일의 듀티 압력 임펄스의 비로 정의할 수 있다.

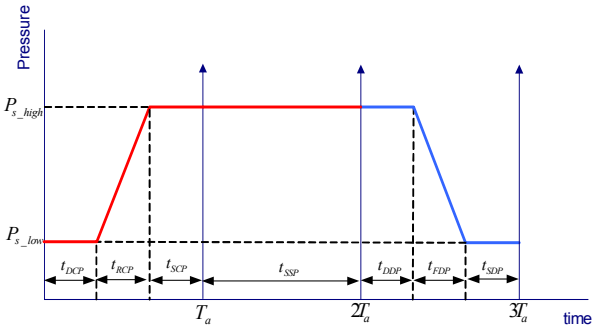


그림 4. 교대부양 압력 프로파일의 매개변수 형상 모델

4. 교대부양 압력 프로파일의 특성 분석

4.1 교대부양 압력 프로파일의 유형

교대부양 매트리스에서 인체에 직접 가해지는 접촉부하는 각 공기 셀 내에 공급되는 압력의 동적인 변동에 직접적인 영향을 받는다. 따라서 여기서 정의된 교대부양 압력 프로파일을 다양하게 변형하여 동적인 부하의 변화가 인체에 미치는 영향 정도를 정량적으로 비교 평가할 수 있는 효과적인 도구로 활용될 수 있을 것이다.

압력 프로파일의 접촉조건은 크게 교대부양 주기와 설정압력 크기의 변화로 주어질 수 있다(그림 5). 상용 욕창예방 공기 매트리스의 교대부양 주기는 3~30분 정도의 범위에서 설정할 수 있도록 하고 있다. 또한 사용조건에 적합한 압력을 설정해서 사용하고 있다.

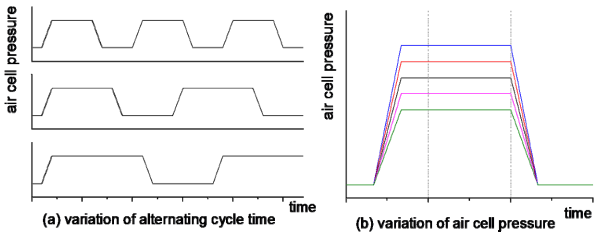


그림 5. 프로파일의 교대부양 주기, 공급압력 변형

그림 4와 표 1에서 다루었던 바와 같이 전역 및 구간 매개변수의 값이 정해지면 교대부양 압력 프로파일의 형상이 결정되며 이러한 프로파일에 따라 인체 접촉부하조건이 변화하게 된다. 프로파일의 형상은 크게 표준형(standard duty), 일반형(typical duty), 경부하형(light duty) 및 중부하형(heavy duty)으로 유형을 나눌 수 있다. 동일한 주기를 기준으로 듀티 비는 경부하형 < 표준형 < 일반형 < 중부하형의 순서로 커지게 된다(그림 6).

유형별 작동특성은 표준형 프로파일의 경우 급기구간에서 일정한 지연시간이 경과한 후 급기를 시작하여 설정압력에 도달한 후 유지구간을 거쳐 배기구간 시작과 동시에 배기가 되어 차단압력에 도달하여 잔여시간을 유지한 후 전체 주기를 마친다. 일반형 프로파일은 가장 많이 사용되고 있는 압력 프로파일의 형상으로 급기구간이 시작되면서 지연 없이 바로 급기가 이루어져서 설정압력에 도달한 후에 다음의 유지구간이 끝날 때까지 계속 설정압력을 유지한다. 이어서 배기구간이 시작되면서 바로 배기를 통해 차단압력으로 낮춰진 후 다음의 급기구간이 시작될 때까지 그 상태를 유지한다. 경부하형 프로파일은 유지구간에서만 설정된 공급압력을 유지하고 급기 및 배기구간에서 최대한의 압박해소시간

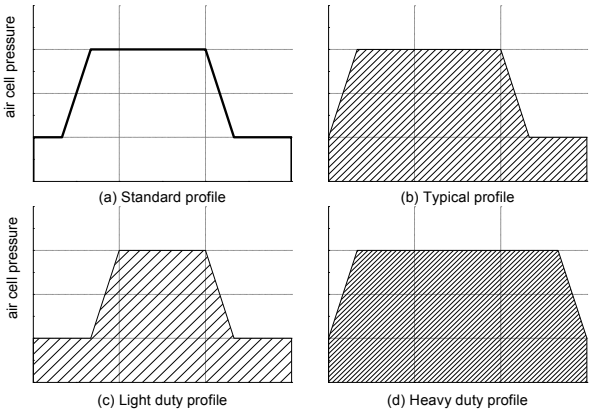


그림 6. 교대부양 압력 프로파일의 유형별 듀티 특성

을 가져 프로파일 듀티 비가 가장 작은 모델이다. 중부하형 프로파일은 일반형 프로파일과 같은 급기, 유지구간형상을 가지고 배기구간에서 설정압력을 유지하는 지연시간을 갖는 형태로 압력 임펄스의 총량은 가장 크지만 전체 주기에서 압력의 변화 정도는 가장 적은 유형이다.

4.2 교대부양 압력 프로파일의 특성

4.2.1 프로파일 유형별 압력 임펄스 변동성

일정시간 동안 가해지는 압력의 총량로 정의되는 압력 임펄스(pressure impulse, mmHg · sec)는 그림 6의 형상정의에서와 같이 교대부양 프로파일 유형별로 각각 다를 것으로 예측될 수 있다. 교대부양 주기의 설정시간 동안 각 프로파일의 압력 임펄스를 총 압력 임펄스의 양으로 정규화한 값의 변화 추이를 그림 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 프로파일 형상에 따라 가해지는 압력의 총량은 경부하형 < 표준형 < 일반형 < 중부하형의 순서로 커지는 것을 확인할

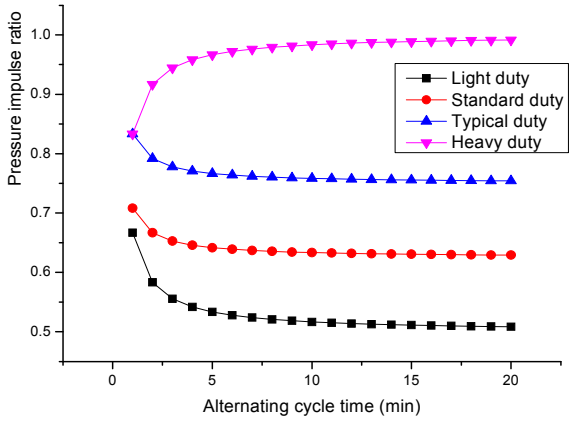


그림 7. 프로파일 유형의 교대부양 주기 별 압력 임펄스비 (pressure impulse ratio) 변화

수 있다. 여기서 주목할 것은 이러한 압력 임펄스의 값이 교대부양 주기에 따라서도 달라지는 것이다. 즉, 중부하형 듀티를 제외하고 교대부양 주기가 길수록 압력 임펄스도 적어지게 된다. 이러한 특성은 교대부양 압력 프로파일의 고유한 특성에서 비롯하는데 교대부양 주기가 길어질수록 프로파일 듀티의 점유비율이 감소하기 때문이다. 또한 짧은 교대부양 주기에서 압력 임펄스의 변동성이 더 커지는 것으로 나타나고 있다.

그림 8에서 일반적으로 사용하는 3분, 5분, 10분의 교대부양 주기에 대해 프로파일 유형별 평균압력을 나타내었다. 여기서 사용된 조건은 설정압력(P_{s_high}) 40mmHg, 차단압력(P_{s_low}) 10mmHg, 급기시간(T_{RCP}) 20sec, 배기시간(T_{FDP}) 60sec이다. 평균압력의 크기는 경부하형이 가장 적고 중부하형이 가장 큰 결과를 보이고 있다. 다만 압력 변동성 측면에서 중부하형이 압력 변동의 편차가 적은데 비해 경부하형의 경우 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 표 2와 그림 8의 평균압력 변화에 대하 결과는 중부하형의 경우 교대부양 주기가 길어질수록 압력 임펄스가 증가하는 경향이 나타나며 나머지 프로파일의 경우는 감소하는 그림 7의 듀티별 압력 임펄스의 변화 추이와 잘 일치하는 결과를 보여주고 있다.

이로부터 경부하형 듀티 프로파일이 압력 임펄스 측면에서 인체에 가해지는 부하총량이 가장 적어 유리할 것으로 생각할 수 있으나 한편으로 주기 내의 압력 변동폭이 커서 인체에 미치는 구체적인 영향에 대해서는 접촉압력과 관류특성에 대한 실험적인 추가 연구가 필요하다. 각 프로파일 모두 교대부양 주기가 변화하는데 따라 평균압력 값 변화는 상대적으로 크지 않은 것으로 나타나고 있다.

표 2. 듀티 프로파일 형상 별 평균압력 변화(mean ± SD)

Duty Type		Light Duty	Standard Duty	Typical Duty	Heavy Duty
Pressure variation	Ta (3min)	22.11± 14.03	25.96± 14.30	30.92± 13.04	37.52± 6.86
	Ta (5min)	21.27± 14.11	25.58± 14.59	30.55± 13.50	38.51± 5.45
	Ta (10min)	20.64± 14.14	25.29± 14.80	30.28± 13.83	39.25± 3.93

4.2.2 교대부양 주기 별 접촉시간 특성

정의된 교대부양 프로파일에서 공기 셀의 압력이 변화하는데 따라 인체와 매트리스 지지면에서는 순차적으로 접촉과 압박해소가 반복되며 급기와 배기가 이루어질 동안 과도적인 접촉상태가 된다.

그림 9는 각 듀티 프로파일에 대해 접촉, 과도 및 압박해소시간의 구성비율을 교대부양 주기에 따라 나타내었다. 전체적으로 접촉시간의 비중은 프로파일 듀티 비의 분석에서와 같이 경부하형 < 표준형 < 일반형 < 중부하형의 순서로 커짐을 알 수 있다. 과도시간은 듀티 프로파일의 유형에 무관하게 교대부양 주기가 길어지는데 따라 동일한 비중으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 과도시간이 급기시간(T_{RCP})과 배기시간(T_{FDP})의 합으로 결정되는데 이 값이 공기압 공급계통을 하드웨어적으로 구성할 때 동일한 시간으로 설정되기 때문에 듀티 프로파일에 무관하게 주기변화에 대해 동일한 변화추세를 나타내기 때문이다. 경부하형에서 접촉시간은 교대부양 주기의 변화와 무관하게 일정한 비중을 나타나고 있는데 이는 유지구간에만 접촉이 발생하도록 프로파일 형상정의가 되어서이다. 전체 듀티 프로파일이 공통적으로 짧은 교대부양 주기 구간에서 과도시간의 변동성이 크게 나타나고 있다. 또한 인체에 미치는 영향과 직접적인 관계가 깊은 접촉시간과 압박해소시간 모두 짧은 교대부양 주기에서 변동성이 큰 것으로 나타나고 있어 이 구간을 포함한 교대부양 주기변화에 따른 상대적인 영향 규명이 필

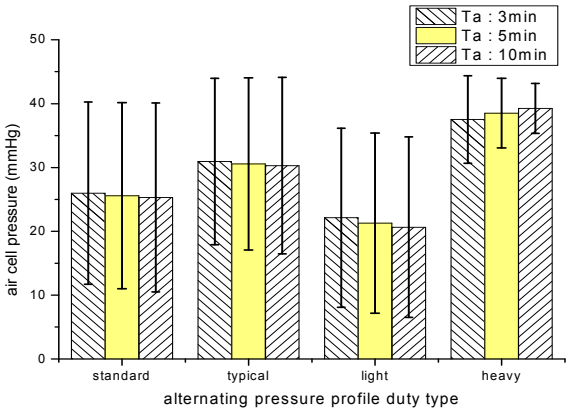


그림 8. 각 듀티 프로파일 별 교대부양 주기 변화에 따른 공기 셀 평균압력의 변화

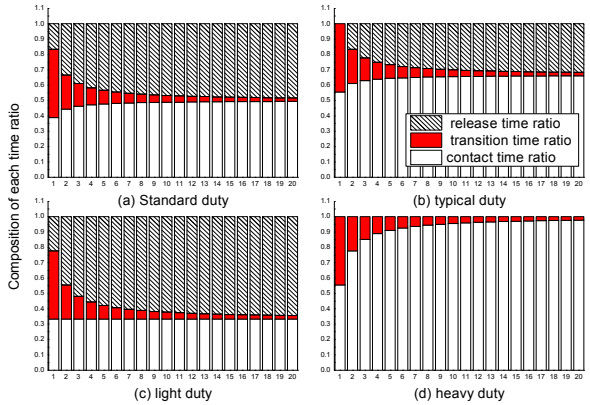


그림 9. 각 듀티 프로파일의 교대부양 주기 별 접촉시간, 과도시간 및 압박해소시간의 구성 비 분포

요할 것으로 판단된다.

그림 10은 가장 많이 사용되고 있는 일반형 듀티 프로파일에 대해 전체 주기에서 접촉시간, 과도시간 및 압박해소시간이 차지하는 비중을 정규화하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 교대부양 주기가 짧을 때는 상대적으로 과도시간의 비중이 크지만 주기가 길어짐에 따라 급격히 비중이 감소하고 접촉시간과 압박해소시간의 비중이 커짐을 알 수 있다. 그림 11은 교대부양 주기가 비교적 짧은 구간인 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 및 7.5분에서 접촉, 과도, 압박해소시간의 비율을 나타내며 이 구간에서는 접촉조건의 변화 폭이 크므로 동적인 부하특성이 인체에 미치는 영향의 변동성이 클 것으로 추정할 수 있다. 또한 교대부양 주기가 짧을수록 접촉시간의 비중이 줄어 인체에는 상대적으로 적은 부하가 가해질 것으로 예측할 수 있다. 주기가 길어지는데 따라 각각의 시간은 일정한 크기로 수렴하여 변동성이 적어지는 것을 알 수 있다.

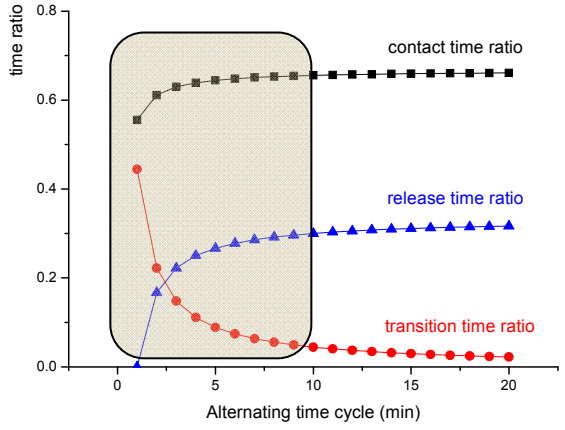


그림 10. 일반형 듀티 프로파일의 접촉조건 변화

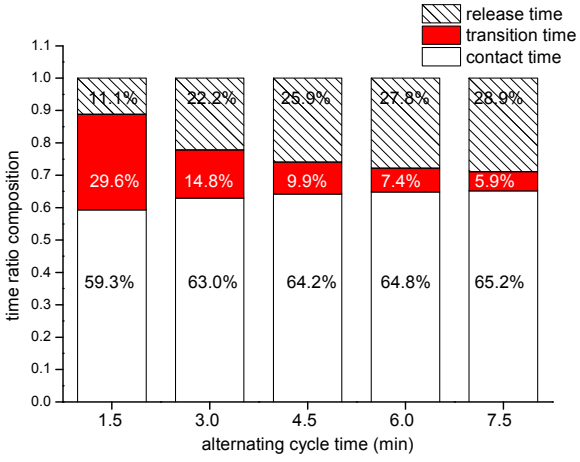


그림 11. 짧은 교대부양 주기에서 접촉조건 추이

4.3 교대부양 압력 프로파일 조건에 의한 동적부하가 인체에 미치는 영향의 정량적 연구방법 제안

APAM과 같이 접촉조건이 동적으로 변화하는 경우에 실험적, 해석적인 어려움으로 접촉압력이 인체에 미치는 영향과 평가에 한계를 보이고 있다. 이것은 연구 사례별로 매우 다른 조건으로 교대부양 방식의 접촉압력이 발생하여 일관된 연구 결과의 축적이 어려운 것도 중요한 요인 중 하나이다. 즉, 기존의 연구가 대부분 시장에 출시되어 있는 APAM을 사용하고 있는데 이 경우 제조사별, 제품별로 접촉부하조건이 매우 다르게 나타나게 된다. 또한 비교연구를 위한 접촉조건을 동일하게 연구자가 원하는 대로 설정할 수 없으므로 제품 특성에 의존하는 단편적인 연구에 그쳐왔다.

그림 12에서 교대부양 압력 프로파일의 설정조건에 의해 발생하는 동적부하가 인체에 미치는 영향의 정량적 연구방법을 제안하였다. 교대부양 주기, 설정압력의 변화 등이 인체에 미치는 영향에 대한 체계적이고 일관된 연구를 위한 첫 단계로 인체에 가해지는 외부부하, 즉 접촉부하조건을 발생하는 교대부양 압력 프로파일의 특성에 대한 충분한 이해가 선결되어야 할 것이다. 이를 바탕으로 연구 목적에 적합한 조건의 교대부양 압력 프로파일을 생성하는 장치를 통해 인체 관심 부위에 압력부하를 전달하고 실험적으로 접촉압력과 관류특성 등 물리적, 생리적 인체반응을 동시에 통합 측정할 수 있는 시스템을 개발하는 것이 필요하다. 이와 같

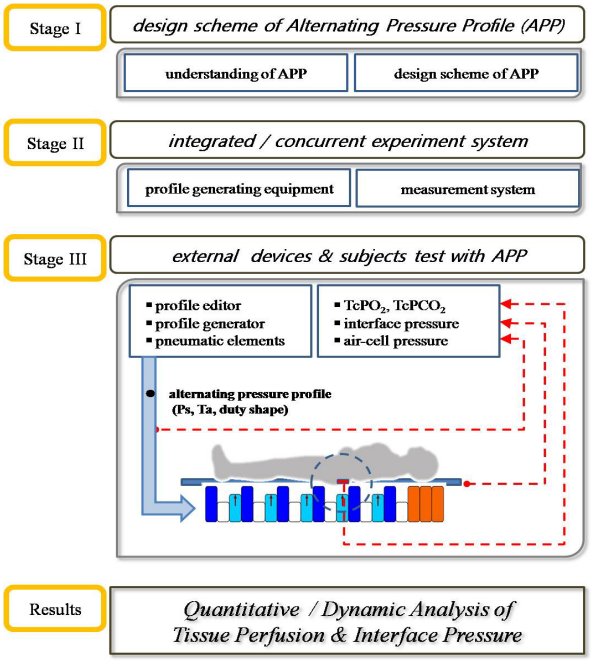


그림 12. 교대부양 압력 프로파일로 정의된 동적부하가 인체에 미치는 영향에 대한 정량 연구체계 제안

은 시스템 구축, 피험자에 대한 실험적 절차의 진행과 데이터 분석을 통해 동적인 부하조건 변화에 대한 영향을 정량화하는 체계적 연구가 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 주기적으로 압력을 해소하여 욕창을 예방하는 대표적인 동력형 제품인 교대부양 공기 매트리스의 작동특성을 분석하여 인체에 미치는 영향을 정량적으로 비교 연구할 수 있는 방법을 제안하였고 교대부양 압력 프로파일의 개념을 도입하여 다양한 교대부양 조건을 체계적으로 분석하여 동적부하가 인체에 미치는 영향을 연구할 수 있는 기준을 마련하였다.

기존의 다양한 교대부양 패턴에 대한 검토를 통해 급기구간, 유지구간 및 배기구간으로 이루어진 전체 주기에 대해 교대부양 주기, 공급압력 및 차단압력의 전역 매개변수를 사용하여 기본 형상을 정의하고 각각의 구간에 대해서는 작동특성에 적합한 7개의 구간별 매개변수를 사용하여 형상정의가 가능하도록 하였다. 또한 이러한 형상정의로부터 표준형, 일반형, 경부하형 및 중부하형의 대표적인 교대부양 듀티 프로파일을 분류하여 각각의 특성을 정량적으로 분석하였다.

인체에 직접 가해지는 부하조건인 압력 임펄스에 의한 프로파일 듀티 비의 검토 결과 경부하형 듀티가 가장 부하가 적지만 압력 변동성 측면에서 변화의 폭이 가장 큰 것을 규명하였다. 이로부터 인체에 미치는 영향을 고려할 때 프로파일 듀티 비 뿐 아니라 압력 변동성을 같이 고려하여 추가적인 연구를 수행할 수 있는 기준을 마련하였다. 또한 교대부양 주기별 접촉시간 특성에 대한 분석 결과 동일한 프로파일에 대해서도 교대부양 주기에 따라 접촉시간, 과도시간 및 압박해소시간이 변화하는 것을 밝혔으며 특히 짧은 주기 구간에서 변동성이 상대적으로 크게 나타나는 것을 규명하였다.

이러한 연구 결과를 토대로 압력 프로파일 생성 및 측정 시스템을 구성하여 교대부양 주기, 공급압력 및 듀티 프로파일의 유형에 따른 동적인 부하조건에서 인체에 미치는 영향을 정량적으로 규명할 계획이다.

참고 문헌

Bader, D. L., The recovery characteristics of soft tissues following repeated loading, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 27(2), 141-150, 1990.

Bouton, *et al*., The aetiology of pressure sores: skin deep or muscle bound?, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 616-619, 2003.

Collin, D. and Saumet, J. L, Influence of external pressure on transcutaneous oxygen tension and laser Doppler flowmetry on sacral skin, *Clinical Physiology*, 16, 61-72, 1996.

Harel, F., *et al*., Arterial flow measurements during reactive hyperemia using NIRS, *Physiological Measurement*, 29, 1033-1040, 2008.

Jonsson, A., *et al*., Evaluation of antidecubitus mattresses, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 43, 541-547, 2005.

Makhsous, M., *et al*., Measuring tissue perfusion during pressure relief maneuvers: Insights into preventing pressure ulcers, *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 30(5), 497-507, 2007.

NPUAP and EPUAP, Pressure ulcer prevention and treatment - clinical practice guideline, *National Pressure Ulcer Advisory Panel*, 2009.

Reswick, J. B. and Rogers, J. E, Experience at Rancho Los Amigos Hospital with devices and techniques to prevent pressure sores, *Bed sore Biomechanics*, 301-310., The Macmillan Press, 1976.

Rithalia, S. V. S. and Gonsalkorale, M., Quantification of pressure relief using interface pressure and tissue perfusion in alternating pressure air mattresses, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81, 1364-1369, 2000.

Tissue Viability Society, Laboratory measurement of the interface pressure applied by active therapy support surfaces: A consensus document, *Journal of Tissue Viability*, 19, 2-6, 2010.

Vanderwee, K., Grypdonck, M. and Defloor, T., Alternating pressure air mattresses as prevention for pressure ulcers: A literature review, *International Journal of Nursing Studies*, 45, 784-801, 2008.

Wywialowski, E. F., Tissue perfusion as a key underlying concept of pressure ulcer development and treatment, *Journal of Vascular Nursing*, March, 12-16, 1999.

저자 소개

원 병 희 bhwon@kitech.re.kr
한양대학교 대학원 기계설계 · 메카트로닉스공학과 박사수료
현 재: 한국생산기술연구원 실버기술개발단 수석연구원
관심분야: 생체역학, 고령친화 및 의료기기

송 창 섭 cssong@hanyang.ac.kr
한국과학원 기계공학과 박사
현 재: 한양대학교 기계설계 · 메카트로닉스공학과 교수
관심분야: 유공압시스템제어, 생산자동화

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 06월 07일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 07월 08일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 07월 21일