

인체측정자료와 3차원 컴퓨터 인체모형을 이용한 세탁기 외부규격 결정

이 구형*, 김 대구*, 박 민용**, 신 원경**

(* : LG 전자 디자인연구소, ** : 한양대학교 산업공학과)

< 요약 >

본 연구는 대 용량화와 다 기능화의 추세에 따라 점차 대형화, 복잡화되고 있는 세탁기에 대한 사용편리성을 고려한 사용자 중심 제품개발의 일차적 접근으로, 인체측정 자료를 근거로 하여 세탁기의 외부 규격을 제안하였다. 결정 대상인 세탁기 외부규격은 높이, 폭, 세탁조 바닥 높이, 컨트롤 패널의 위치 등이었으며, 이를 위하여 고려된 인체 자료는 신장, 어깨 높이, 눈 높이, 팔꿈치 높이, 팔 길이 등이었다.

기존의 인체 자료들은 세탁기의 외부규격을 결정하는 데 많은 부족함이 나타났으며, 인체 자세의 단순화와 자료의 가정이 요구되었다. 이러한 제한은 3차원 컴퓨터 인체모형을 활용한 세탁동작의 시뮬레이션을 수행하여 사용자의 동작범위를 파악함으로써 보완하였다.

특정의 제품을 설계하는 과정에서는 일반적으로 입수할 수 있는 인체측정자료에 비하여 보다 정밀하고 많은 항목의 자료가 요구되었으며, 이러한 자료의 한계를 극복하는 데는 3차원 컴퓨터 인체모형을 이용한 시뮬레이션이 유용하게 활용될 수 있었다.

1. 서론

제품 디자인에 있어서 일차적으로 고려되는 요소는 사용자의 인체 측정치이다. 그러나, 일반적인 목적으로 측정되고 개발된 인체측정치를 이용하여 인체의 자세나 동작을 모형화하고, 이를 통하여 특정한 제품의 규격을 결정하기 위해서는, 측정되어지지 않은 많은 인체 자료를 가정하거나 기존의 자료를 이용하여 필요한 자료를 유도하여야 하는 등, 과정상에 많은 문제점을 포함하고 있다.

본 연구에서는 인체측정치를 세탁기 디자인에 활용하기 위한 체계적인 방법론을 개발하고, 외부 치수에 대한 인간공학적 가이드라인을 설정하는 일차 단계로, 세탁기의 컨트롤 패널과 세탁조에 대한 사용 동작, 자세 그리고 시야를 분석하여 컨트롤 패널의 위치와 각도 등에 대한 범위를 설정하고자 하였다.

세탁기 디자인을 위한 인체측정치를 활용하는 과정에서는 측정된 자료의 제한때문에 눈의 위치, 팔 자세, 손 자세 등 많은 부분을 가정하여 필요한 인체 치수를 도출하여야 했다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 인체 측정치로부터 도출된 제품 치수와 기존 제품 치수에 대한 사용 자세 및 시야를 3차원 컴퓨터 인체모형(SafeWork™)으로 모의 수행하여 비교하였다.

2. 연구 방법

2.1 인체측정치 활용

세탁기 규격의 범위를 결정하기 위하여 컨트롤 패널의 상한 높이는 작은 여성(5th percentile)이 조작할 수 있는 높이로 정의하였으며, 하한 높이는 큰 남성(95th percentile)이 조작할 수 있는 높이로 정의하였다. 컨트롤 패널 높이는 인체측정치(김철중 외, 1992)와 사용 자세를 활용하여 (식 1) ~ (식 3)과 같이 계산되었다. 전면 컨트롤 조작의 경우 사용자와의 거리는 조작이 편한 거리를 취하는 것으로 가정하였으며, 후면 컨트롤의 경우 발끝과 제품 전면의 거리를 0 mm 으로 가정하였다.

$$\begin{aligned} \text{전면컨트롤패널높이} &= (\text{팔꿈치높이} + \text{굽높이}) - (\text{팔꿈치손끝길이} - \text{손길이} * 0.2) * \text{SIN}(\text{팔꿈치각도} - 90) \dots\dots\dots (\text{식 } 1) \\ \text{후면컨트롤패널높이} &= (\text{어깨높이} + \text{굽높이}) - (\text{어깨손끝길이} - \text{손길이} * 0.1) * \text{SIN}(90 - \text{어깨각도}) \dots\dots\dots (\text{식 } 2) \\ \text{후면컨트롤패널거리} &= (\text{어깨손끝길이} - \text{손길이} * 0.1) * \text{COS}(90 - \text{어깨각도}) - (\text{발길이} / 3) \dots\dots\dots (\text{식 } 3) \end{aligned}$$

위의 식에서 굽 높이는 세탁시 착용하는 슬리퍼를 기준으로 20mm 를 적용하였다. 전면 컨트롤 패널의 경우 여자 5th percentile 은 팔꿈치 각도를 90 도부터 증가시켜 가면서 컨트롤 패널 높이의 상한선을 낮추어가고, 남자 95th percentile 은 팔꿈치 각도를 135 도부터 감소시켜 가면서 패널 높이의 하한선을 높여가는 방법을 사용하였다. 이 때 팔꿈치 각도는 어깨-팔꿈치-손끝이 이루는 각도로 정의하였다.

후면 컨트롤 패널의 경우 여자 5th percentile 은 어깨 각도를 105 도부터 증가시켜 가면서 컨트롤 패널의 상한선을 낮추어가고, 남자 95th percentile 은 어깨 각도를 135 도부터 감소시켜 가면서 패널 높이의 하한선을 높여가는 방법을 적용하였다. 이 때의 어깨 각도는 팔꿈치 각도와 동일한 방향으로 정의하였다.

컨트롤 패널의 각도는 시선 방향과 수직이 되는 각도로 정의하였다. 컨트롤 패널을 조작하기 위한 고개를 숙인 자세의 눈 위치는 직립 자세 눈 높이를 몸 중심선에 있는 가상의 회전축을 중심으로 15 도 굽힌 자세에서 결정되었다. 이는 일본 여자 50th percentile 에 대한 직립 자세(15 도)의 눈 높이(1435 mm), 고개 숙인 자세(50 도)의 눈 높이(1390 mm), 눈 회전축 높이(1265 mm)를 기준으로 한국인 여자 5th percentile 과 한국인 남자 95th percentile 에 대해서 비례식으로 추정하였으며, 회전축을 중심으로 삼각법을 적용하여 몸 중심과 눈 사이의 수평 거리를 계산한 결과이다. 몸 중심에서 컨트롤 패널까지의 수평거리 및 컨트롤 패널의 높이는 컨트롤 조작 자세에서 계산된 결과를 사용하였다. (野呂影勇, 1990)

$$\begin{aligned} \text{눈 높이}(15 \text{ 도}; e) &= \text{눈 높이(인체측정치)} + \text{굽 높이}(20 \text{ mm}) \dots\dots\dots (\text{식 } 4) \\ \text{눈 높이}(50 \text{ 도}; E) &= e * 1390 / 1435 \dots\dots\dots (\text{식 } 5) \\ \text{회전축 높이}(O) &= e * 1265 / 1435 \dots\dots\dots (\text{식 } 6) \\ \text{몸 중심선} \sim \text{눈 수평 거리}(15 \text{ 도}; d) &= \text{TAN}(15) * (e - O) \dots\dots\dots (\text{식 } 7) \\ \text{몸 중심선} \sim \text{눈 수평 거리}(50 \text{ 도}; D) &= \text{TAN}(50) * (E - O) \dots\dots\dots (\text{식 } 8) \\ \text{눈} \sim \text{컨트롤 패널 수평 거리}(50 \text{ 도}; H) &= (\text{몸 중심} \sim \text{컨트롤 패널 수평거리}) - D \dots\dots\dots (\text{식 } 9) \\ \text{눈} \sim \text{컨트롤 패널 수직 거리}(50 \text{ 도}; V) &= E - (\text{컨트롤 패널 높이}) \dots\dots\dots (\text{식 } 10) \end{aligned}$$

11) 컨트롤 패널에 대한 시선각(50도) = $TAN^{-1}(V / H)$ (식 11)

12) 컨트롤 패널에 대한 시거리(50도) = $(H^2 + V^2)^{1/2}$ (식 12)

2.2 3차원 컴퓨터 인체모형 활용

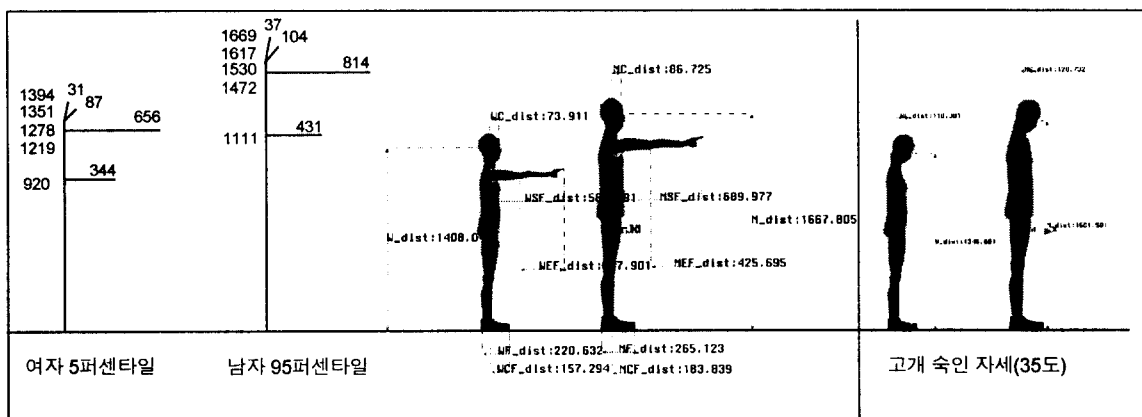
본 연구에서 세탁기의 조작 시뮬레이션에 이용된 3차원 컴퓨터 인체모형은 SafeWork™이었으며, 전면 컨트롤 패널을 적용한 제품과 후면 컨트롤 패널을 적용한 제품, 그리고, 인체측정치를 활용하여 도출한 전면 및 후면 컨트롤 패널의 위치 및 각도에 대한 인체의 자세와 동작 등이 분석되었다.

3차원 컴퓨터 인체모형이 컨트롤 패널을 조작하는 동작은 지정된 위치로 팔이 먼저 움직이고 팔의 동작영역(range of motion)을 벗어나는 조작이 필요한 경우에 상체를 움직이도록 되어 있다. 컨트롤 패널 조작시 시선은 조작 버튼을 바라보도록 하였다. 손목 각도는 3차원 인체모형에서 한 손가락으로 조작하는 경우로 지정된 15.642도 extension 이, 하완의 회전각도는 한계값인 167도 pronation 이 적용되었다. 발끝과 제품 전면과의 거리는 전면 컨트롤의 경우에 200mm를 적용하였으며, 후면 컨트롤의 경우에 0mm를 적용되었다.

세탁조로부터 세탁물의 인출 자세는 제품 전면 발끝을 붙여서 바로 선 후, 두 팔을 대칭 자세로 하여 팔과 상체를 단계적으로 움직여서 세탁기 본체의 전면이 몸에 닿는 자세를 취하도록 하였다. 인출 자세에서의 시야 분석을 위해서는 머리각도를 35도, 시선을 15도 하방으로 한 후에 상체를 움직여서 세탁조의 바닥에서 사용자 쪽으로 가장 가까운 지점을 볼 수 있는 자세를 취하도록 하였다.

3. 결과

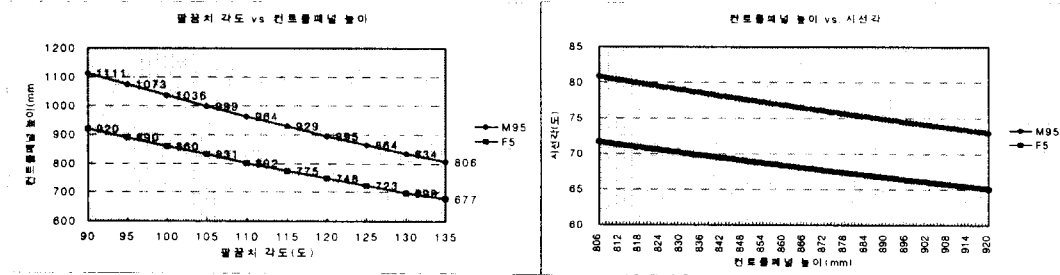
인체측정치로부터 계산된 남자 95th percentile 과 여자 5th percentile 의 인체측정치와 3차원 컴퓨터 인체모형으로부터 도출된 자세는 <그림.1>에 나타나 있다.



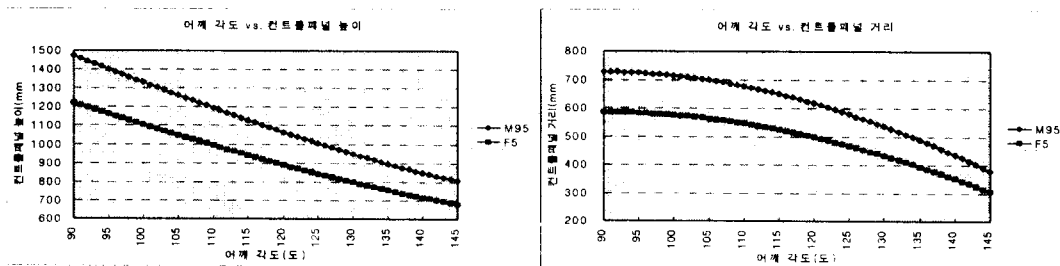
<그림.1> 기존 인체측정치와 3차원 컴퓨터 인체모형의 치수 비교

인체측정치로부터 컨트롤 패널 치수를 정하기 위해서 팔꿈치 각도와 컨트롤 패널 높이

의 관계, 어깨 각도와 컨트롤 패널 높이 및 거리와의 관계를 여자 5th percentile 과 남자 95th percentile 에 대해 표현한 결과가 <그림.2>와 <그림.3>에 있다..

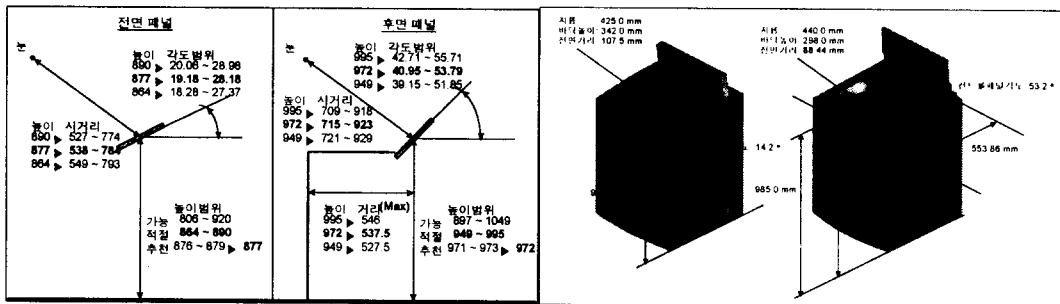


<그림.2> 전면 컨트롤 패널 높이와 팔꿈치 각도 및 시선각 분석



<그림.3> 어깨 각도와 후면 컨트롤 패널 높이 및 거리 분석

인체측정치를 활용한 위의 분석을 통해서 도출된 전면 및 후면 컨트롤 패널의 위치 및 각도와 3 차원 컴퓨터 인체모형을 활용하여 분석한 기존 제품의 주요 치수는 <그림.4>에 나타나 있다.



<그림.4> 전면 및 후면 컨트롤 패널 제안 및 기존 제품의 주요 치수

기존 인체측정치를 이용해서 제안된 치수와 기존 제품의 치수를 비교해보면 전면 컨트롤을 적용한 기존 제품의 컨트롤 패널 높이(939.5 mm)가 제안 치수의 '가능 범위(806 ~ 920 mm)'보다 큰 것을 알 수 있으며, 컨트롤 패널의 각도는 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 기존 인체측정치로부터 도출된 치수는 세탁조에 대한 인출 작업이 고려되지 않았으므로 직접적인 비교는 어려우나, 인출 작업의 특성상 컨트롤 패널의 높이가 제안된 치수보다 낮아지는 것이 필요하므로 기존 제품과의 치수 차이가 더 커지게 되리라는 것을 알 수 있다.

반면에, 후면 컨트롤을 적용한 기존 제품의 컨트롤 패널 높이(985 mm) 및 각도(53.2 도)

가 기존 인체측정치로부터 도출된 적절한 치수 범위(949 ~ 995 mm, 40.95 ~ 53.79 도)에 포함되는 것을 알 수 있다. 특히, 후면 컨트롤의 경우 인출 작업에 의한 치수 범위의 변화가 거의 없으므로 기존 제품의 컨트롤 패널 치수가 적절함을 알 수 있다. 또한, 후면 컨트롤을 적용한 기존 제품의 전면 높이(885 mm)가 전면 컨트롤 패널의 높이에 대한 제안 치수의 적절한 범위(864 ~ 890 mm)에 포함되는 것을 알 수 있다.

기존 제품의 컨트롤 패널과 세탁조 및 기존 인체측정치로부터 제안된 컨트롤 패널 치수에 대한 3 차원 인체모델로 분석한 결과가 <표.1> ~ <표.3>과 <그림.5>에 정리되어 있다.

<표.1> 전면 컨트롤 조작시의 신체부위별 각도

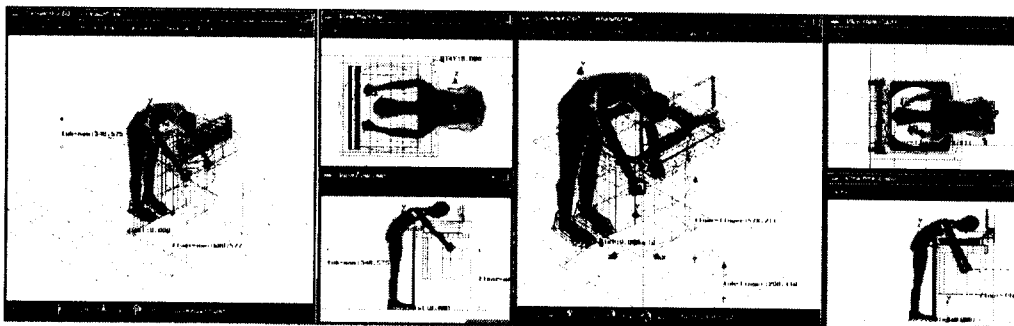
| 구분 | 제품 A | | 제안 | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Right | Middle | Right | Middle |
| 컨트롤 위치 | | | | |
| 머리 각도 | 37.901 | 40.252 | 44.4 | 45.145 |
| 시선 | 18.195 | 19.425 | 20.928 | 21.584 |
| 상완 | 17.420 | 21.329 | 5.000 | 8.099 |
| 하완 | 52.245 | 46.494 | 60.135 | 54.077 |

<표.2> 후면 컨트롤 조작시의 신체부위별 각도

| 구분 | 제품 B | | 제안 | |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Right | Middle | Right | Middle |
| 컨트롤 위치 | | | | |
| 머리 각도 | -0.160 | -3.863 | 0.571 | -2.056 |
| 시선 | 0.149 | -1.790 | 0.636 | -0.859 |
| 상완 | 106.856 | 111.410 | 104.500 | 109.569 |
| 하완 | 2.406 | 2.406 | 2.406 | 2.406 |
| Lumbar & Thoracic | 43.032 | 49.21 | 36.377 | 41.385 |

<표.3> 세탁물 인출 시 상체의 굽혀진 각도

| 구분 | 제품 A(전면 컨트롤) | | 제품 B(후면 컨트롤) | |
|---------------|--------------|-------|--------------|-------|
| | 시야 | 인출 자세 | 시야 | 인출 자세 |
| 분석 대상 | | | | |
| Lumbar 1~5 | 15.76 | 53 | 25.157 | 53 |
| Thoracic 1~12 | 10.079 | 26 | 21.507 | 26 |
| Total | 25.839 | 79 | 43.784 | 79 |



<그림.5> 기존 제품 A, B 인출 자세 분석

전면 컨트롤을 적용한 제품 A의 경우에는 조작시 상완의 각도가 17 ~ 21 도로 인체측정치로부터 제안된 치수의 경우(5 ~ 8 도)보다 크게 나타났으며, 하완의 각도는 52 ~ 46 도로 제안된 치수의 경우(60 ~ 54 도)보다 상대적으로 작게 나타났다. 즉, 현재의 제품을 사용하는 경우는 제안된 치수의 경우에 비해서 상대적으로 팔을 많이 움직이고, 팔꿈치를 많이 편 상태에서 컨트롤 패널을 조작한다는 것을 알 수 있다.

후면 컨트롤을 적용한 기존 제품 B의 경우에는 조작시 허리 각도가 43 ~ 49 도로 기존 인체측정치로부터 제안된 치수의 경우(36~41 도)보다 크게 나타났다.

세탁조에 대한 인출 자세 분석에서는 두 손을 사용하는 경우에 기존 제품 A와 B는 모두 바른 자세로 굽혀서 세탁물을 꺼낼 수 없다는 것을 알 수 있으며, 전면 컨트롤을 적용한 제품(바닥~손: 691 mm, 세탁조~손: 349 mm)이 후면 컨트롤을 적용한 제품(바닥~손: 578 mm, 세탁조~손: 280 mm)에 비해서 손과 세탁조 바닥의 거리가 더 많이 차이가 나는 것을 알 수 있다.

4. 논의 및 추후과제

본 연구는 기존의 제한된 인체측정치를 제품 디자인에 활용하기 위하여 부분적으로 가정되고 추정된 값들을 이용, 세탁기의 컨트롤 패널과 세탁조의 규격을 제안하였다. 또, 3차원 컴퓨터 인체모형을 이용하여 기존의 제품과 제안된 규격에 대한 사용성을 분석하였다.

기존의 인체 자료로부터 제품 디자인에 필요한 자료를 계산하는 과정에는 실제로 제품의 사용 자세와 차이가 있는 가정이 필요하였으며, 3차원 공간상에서 이루어지는 동작 및 자세에 대해서는 계산 과정이 복잡하여 평면상에서의 동작 및 자세로 단순화된 경우가 많았다. 이러한 제한은 3차원 컴퓨터 인체 모형에 기존 인체 자료를 적용하여 3차원 공간상에서 실제 제품 사용 동작 및 자세를 시뮬레이션하여 그 결과로 제품 디자인에 필요한 자료를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

제품 디자인에 인체 측정 자료를 활용하기 위해서는 인체 자료의 측정과 3차원 인체 모형의 활용 이외에 제품별 사용 자세 및 동작을 정의하는 것이 필요하다. 또한, 사용자에 따라서 다르게 요구되는 제품 치수를 최종적인 하나의 치수로 결정하기 위한 최적화 기준이 필요하다. 3차원 컴퓨터 인체모형을 제품의 디자인에 실질적으로 활용할 수 있도록 제품의 사용특성을 반영한 각종 변수들의 조정에 대한 구체적 연구와 그 결과의 평가가 필요할 것이다.

참고문헌

- 김철중 등 (1992), 국민표준체위 조사보고서, 한국표준과학연구원.
- Cushman, W.H. and Rosenberg, D.J.(1991), Human Factors in Product Design, Elsevier.
- GENICOM (1995), Safework User's Manual.
- John A. and Roebuck, Jr. (1993), Anthropometric Methods: Designing to Fit the Human Body, HFES.
- Karwowski, W., Genaidy, A.M. and Asfour, S. (1990), Computer-Aided Ergonomics, Taylor & Francis.
- Roebuck, J.A. Jr. (1997), Innovations for World-Class Anthropometry from Computer Human Modeling Experience, IEA.
- Woodson, W.E. (1981), Human Factors Design Handbook, McGraw-Hill.
- 野呂影勇 (1990), Illustrated Ergonomics, 한국공업표준협회.