

부정형 곡선의 3차원 모델 제작에 대한 사진측량적 접근

장 지 흥*

A Photogrammetric Approach to Create 3-Dimensional Models of Irregular-shaped Curves

Ji Hong Chang*

요약 인체 중심 설계가 요구되는 제품 설계에서 인체 형상 정보의 효과적인 추출은 매우 중요하다. 다양한 형태의 부정형 곡선으로 이루어진 인체 형상 정보는 일반적으로 3차원 스캐너를 사용하여 얻어진다. 3차원 스캐너는 높은 신뢰도를 가지고 있으나 비용이 많이 들고 이동성에 제한을 받는다는 단점을 가지고 있다. 3차원 스캐너에 비해 매우 적은 비용으로 운용 가능한 사진측량기법을 이용하여 부정형 곡선에 대한 3차원 곡선 모델을 제작하고 오차를 살펴보았다. 3차원 곡선 모델은 원형 곡선 위에 160, 80, 40, 20, 10, 5개의 특징점을 일정한 거리마다 위치시켜 제작하였다. 볼록 곡선의 경우 160, 80, 40, 20개의 특징점을 사용한 모델에서 원 곡선에 비해 작은 차이를 나타냈다 (최대 0.13%). 볼록-오목 곡선의 경우 160, 80, 40개의 특징점을 사용한 모델에서 원 곡선에 비해 낮은 수준의 차이를 나타냈다 (최대 0.29%). 볼록 곡선의 경우 전체 곡선 길이의 5% 길이 마다, 볼록-오목 곡선의 경우 전체 곡선 길이의 2.5% 길이 마다 특징점을 위치시킬 경우 낮은 수준의 오차를 나타내는 곡선 모델을 얻을 수 있을 것으로 나타났다. 사진측량기법은 3차원 스캐너에 비해 저비용과 이동성이라는 장점을 갖는 대체 방법으로 충분한 가능성을 갖는다고 할 수 있다.

Abstract It is very important to effectively obtain the information related to the human body shape for user-centered design. The human body shape is a huge combination of various irregular curves and is typically obtained by a 3-D Scanner. 3-D scanners show high reliability; however, they are expensive equipment with limited mobility. 3-D models of irregular-shaped curves were created by a photogrammetric approach and the errors between the original curve and the models were evaluated. 3-D models were created based on 160, 80, 40, 20, 10, and 5 marking points evenly located on the original curve. In the case of convex curve, low levels of residuals were observed in the models from 160, 80, 40, and 20 marking points (0.13% max). In the combination of convex and concave curves, relatively low levels of residuals were observed in the models from 160, 80, and 40 marking points (0.29%). It is possible to conclude that marking points should be placed at every 5% of overall length of a convex curve and at every 2.5% of overall length of a curve with convex and concave curve in order to maintain low levels of errors. A photogrammetric approach can be used as an alternative for the 3-D scanners with advantages of low cost and mobility.

Key Words : curve model, human modeling, irregular curve, photogrammetry, user-centered design

1. 서론

가상의 공간에서 사물을 구현하는 3차원 모델링 기술은 사물의 표면을 수학적으로 표현한다. 3차원 모델링의 결과물은 대상체의 특징점 위치를 기반으로 하여

직선 및 곡선의 선 요소들이 생성되며, 나아가서 대상체의 표면 및 질감 등과 같은 입체 요소들이 생성되는 과정을 거치게 된다.

3차원 모델은 영화 및 애니메이션에서 광범위하게

This work was supported by the Jungwon University Research Gran (Grant No. 2016-051)

*Department of Occupational Therapy, Jungwon University(jhchang@jwu.ac.kr)

Received November 17, 2017

Revised November 30, 2017

Accepted December 02, 2017

사용되어지며 대중에게 이미 친숙하게 여겨지고 있으며, 이외에도 다양한 분야에서 적용되고 있다. 문화재의 보존 및 유지, 건축, 토목 분야에서도 3차원 모델링 기법이 도입되어 적용되고 있다 [1][2]. 의료 기술 분야에서도 3차원 모델링 기법의 도입으로 의료 기술 발전에 폭넓은 기여를 하고 있다 [3][4]. 이러한 3차원 모델링은 우리나라의 인체치수조사사업에도 도입되어 인체와 관련된 다양한 제품의 설계에 적용 가능하다 [5].

인체의 3차원 모델은 사람과 직접 접촉하여 사용되는 다양한 제품의 디자인에 폭넓게 사용된다. 국내에서도 이러한 요구에 발맞춰 인체 치수 및 인체 형상 정보를 수집하여 제공하고 있다. 이러한 인체 치수 및 인체 형상 정보는 차량, 가구, 의류 등 인체 중심 설계가 요구되는 제품의 설계에 활용된다.

비교적 규격화된 공산품에 비해 자연물은 형태적 다양성의 범위가 넓은 편이다. 특히 인체 중심 설계가 요구되는 제품 중 사람의 인체 형상 정보가 큰 비중을 차지하는 경우, 인체 모델 형태의 재현에 대해 높은 정확도를 요구한다. 주지하다시피 3차원 모델의 경우, 대상체의 특징점에 대한 위치 정보를 기반으로 선 요소와 면 요소를 재현한다. 특히 인체의 경우 다양한 형태의 부정형 곡선들로 구성되어 있으며, 부정형 곡선은 특징점의 개수가 적으면 형태의 변형을 가져오게 된다. 다만 특징점의 수량이 증가할수록 연산되어야 하는 자료의 양이 방대해지는 단점이 나타나게 된다. 인체 형상에 대한 3차원 모델의 재현을 위해 인체 각 부위를 구성하는 부정형의 곡면 정보를 효과적으로 획득해야 한다. 이 과정에서 특징점의 수량을 최소화하여 연산 과정을 줄이고, 동시에 모델의 재현성에 신뢰도를 가질 수 있는 절충선을 설정하는 것이 모델링 과정의 효율성 측면에서 매우 중요하다.

인체 형상 정보의 추출에 일반적으로 사용되는 3차원 스캐너는 신뢰성이 검증된 반면, 초기 비용 및 유지 비용이 높고 이동성이 낮다는 단점을 가지고 있다. 이에 비해 사진 자료를 이용하는 사진측량기법은 대상체의 기하정보 추출에 효과적인 기술로서 저비용과 이동성의 장점을 갖는다. 동일한 대상체에 대해 다양한 각도에서 촬영된 일련의 사진으로부터 3차원 기하정보를 효과적으로 추출하며 다양한 분야에서 재현성을 나타

내고 있다 [6]. 사진측량기법을 활용한 이전 연구에서 인체 수부의 다양한 측정 항목에 대해 2차원 정보를 추출한 결과 매우 신뢰도 높은 측정이 가능함을 알 수 있다 [7].

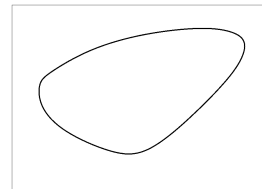
본 연구에서는 인체 형상을 구성하는 부정형 곡선의 가상 모델 재현에 사진측량기법의 적용 가능성을 타진하고자 한다. 이를 위하여 사지와 몸통 등에서 관찰되는 임의의 볼록 곡면과 얼굴 등에서 관찰되는 임의의 볼록-오목 곡면의 가상 모델에 대한 재현성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

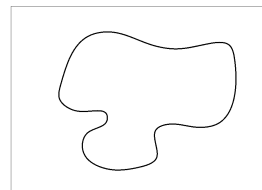
2.1 부정형 폐곡선 생성

1.1.1 신뢰도

본 연구에서 3차원 곡선모델의 재현성 비교 기준으로 사용된 부정형 폐곡선의 원형은 그림 1과 같다. 볼록 곡선만으로 구성된 폐곡선(그림 1-a, AO)은 부정형의 완만한 볼록 곡선과 비교적 급격한 볼록 곡선으로 구성되어 있다. AO의 둘레는 589.11mm이고 면적은 22284.67mm²이다. 볼록 곡선과 오목 곡선으로 구성된 폐곡선(그림 1-b, BO)은 부정형의 볼록 곡선과 오목 곡선으로 구성되어 있다. BO의 둘레는 660.81mm이고 면적은 20927.36mm²이다.



(a) Convex curve (Curve ID: AO)



(b) Convex and concave curve (Curve ID: BO)

그림 1. 3차원 모델의 기준으로 사용된 부정형의 원형 폐곡선

Fig. 1. Original irregular curves used as the reference in 3D modeling

2.2 3차원 모델의 재현을 위한 특징점 배열

그림 1에 나타난 2종의 부정형 곡선의 원형을 사진측량기법으로 재현하기 위해 각 곡선 위에 특징점을 동일한 간격으로 배치하였다. 3차원 모델의 효율적인 재현에 필요한 특징점의 적정범위를 판단하기 위하여 각 곡선 위 특징점의 개수를 다양하게 배치하였다. 곡선 위 특징점의 개수는 각각 160, 80, 40, 20, 10, 5개로 하여 일정한 간격으로 배치하였다. 곡선 위 특징점 사이의 거리는 표 1과 같다.

2.3 3차원 곡선모델 생성 및 분석

2.3.1 3차원 모델 제작 장비

블록 곡선 및 물록-오목 곡선상에 위치한 특징점의 3차원 좌표는 사진측량 전문 소프트웨어인 Photomodeler Scanner 2012를 사용하여 추출하였다 (Eos Systems Inc., Vancouver, Canada). Photomodeler Scanner의 2차원 기하 정보에 대한 정확도는 기존의 연구에서 이미 확인이 되었다 [7]. 사진측량기법에 사용된 이미지는 일안반사식 디지털 카메라(EOS 5D Mark II, Canon, Japan)와 표준렌즈(EF 50mm f/1.4 USM, Canon, Japan)를 사용하여 획득했다. EOS 5D Mark II 카메라는 5,616×3,744의 해상도를 갖는 풀 프레임 CMOS 센서를 사용한다.

표 1. 특징점 개수에 따른 특징점간 거리
Table 1. Distance between marking points based on the number of marking points

Curve type	Curve ID	Number of points used for curve creation	Distance between points (mm)	Remarks
Convex	AO	-	-	Original
	A160	160	3.68	
	A80	80	7.36	
	A40	40	14.73	
	A20	20	29.46	
	A10	10	58.91	
Convex-Concave	A5	5	117.82	
	BO	-	-	Original
	B160	160	4.13	
	B80	80	8.26	
	B40	40	16.52	
	B20	20	33.04	
	B10	10	66.08	
B5	5	132.16		

2.3.2 3차원 곡선모델 제작 절차

AO 곡선과 BO 곡선 상의 특징점은 곡선별로 총 6 점을 종이에 인쇄한 후 유리판에 부착하여 고정하였다. 곡선별로 160, 80, 40, 20, 10, 5개의 특징점을 일정한 간격으로 위치시켜 인쇄하였다. 사진측량기법을 적용하기 위해 다양한 위치에서 인쇄된 특징점을 촬영하였다 (그림 2). 촬영된 이미지는 Photomodeler Scanner에서 불러 들여와, 특징점을 인식하는 마킹 과정과 특징점을 연결하는 레퍼런싱 과정을 거쳤다. 마킹 과정은 여러 각도에서 찍힌 모든 특징점의 중심 위치를 인식하는 과정이다. 이 과정에서 발생할 수 있는 노이즈를 최소화하기 위해 이미지 촬영시 렌즈의 조리개 개방값을 22(f/22)로 조정하여 최대치의 피사계 심도를 확보하였다. 또한 흔들림에 의해 발생할 수 있는 흐릿한 이미지(blur image)를 방지하기 위하여 삼각대와 함께 카메라의 셔터 속도를 250(1/250 sec)으로 고정하였다. 이와 같은 조합에서 발생하는 조명의 부족을 보완하기 위하여 스트로보와 함께 보조 LED 조명을 사용하였다.

레퍼런싱 과정은 다른 각도에서 찍힌 동일한 특징점을 연결하여 하나의 대상물로 인식하는 과정이다. 이 과정을 통해 각 특징점의 3차원 좌표 정보를 추출하게 된다. 레퍼런싱 과정의 효율을 위해 특징점과 함께 코딩 마커를 추가로 적용하여 이미지를 촬영하였다. 사진측량기법에 사용된 이미지는 각각의 인쇄된 특징점에 대해 각각 5매이다.

마킹과 레퍼런싱 과정을 거쳐 각 모델의 모든 특징점에 대한 3차원 좌표를 추출하였다. "Curve through points" 기능을 이용하여 추출된 특징점을 연결하고 3차원 폐곡선모델을 생성한다. 본 연구에서는 네 개 이상의 특징점을 연결하여 폐곡선모델을 생성하므로 3차 곡선(cubic curve)을 생성한다. 블록 곡선(AO)과 블록-오목곡선(BO)상에 위치한 6종의 특징점을 연결하여 12종의 곡선모델을 생성하였다. 원형 곡선과 12종의 곡선모델의 인식 기호는 표 1에 나타난 바와 같다.

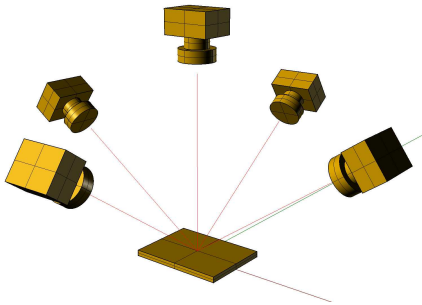


그림 2. 특징점 기하 정보의 추출을 위한 이미지 획득의 모식도
 Fig. 2. Schematic diagram of image acquisition for marking points' geometrical information

2.3.3 3차원 곡선모델 분석

2종의 원형 곡선과 12종의 곡선모델에 대해 육안 비교를 실시하였다. 이를 통해 특징점의 개수를 달리 했을 때 곡선모델의 형태적 변화 추이를 알 수 있고, 각 곡선모델의 재현성을 판단하는 직관적인 판단이 가능하다.

총 12종의 3차원 곡선모델에 대해 둘레, 면적, 무게 중심 등의 기하 정보를 수집하였다. 수집된 곡선모델의 기하 정보를 원형 곡선의 기하 정보와 비교하였다. 또한 원형 곡선에 대한 각 곡선모델의 거리를 비교하였다. 이를 통해 원형 곡선에 대한 각 곡선모델의 재현성을 평가하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 육안 비교

원형 볼록 곡선(Original convex curve, 그림 3 A0)과 사진측량기법에 의해 생성된 곡선모델(그림 3 A160, A80, A40, A20, A10, A5)은 그림 3와 같다. 육안으로 비교했을 때, A0에 비해 형태의 차이를 보이는 곡선모델은 A10과 A5이다. A0 우측 상단의 가장 돌출이 심한 부분이 A10에서는 뾰족하게 나타나고 있다. 또한 좌측 상단에 완만한 용기가 나타나는 것을 관찰할 수 있다(그림 4-a). A5는 전체적으로 더 둥근 모습으로 변형되고 돌출된 방향도 바뀔 수 있다(그림 4-b).

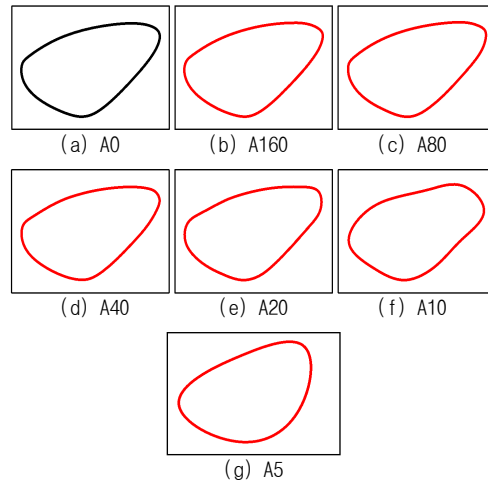


그림 3. 부정형의 원형 볼록 곡선(a) 및 특징점의 개수에 따라 생성된 곡선모델(b~g)의 형태 비교
 Fig. 3. Comparison of shapes between original irregular convex curve (a) and curve models created by the variety of the number of points (b~g)

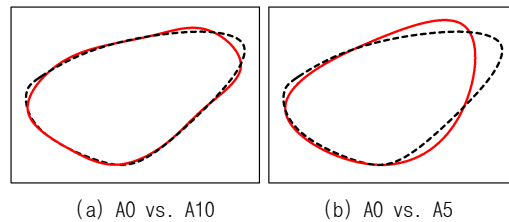


그림 4. 변형이 심한 볼록 곡선모델의 형태 비교 (A0는 흑색 점선, A10 및 A5는 적색 실선으로 표시)
 Fig. 4. Comparison of shapes between original convex curve and curve models with noticeable deformation (black dashed curves indicate A0; red continuous curves indicate A10 and A5)

원형 볼록-오목 곡선(Original convex-concave curve, 그림 5 B0)과 사진측량기법에 의해 생성된 곡선모델(그림 5 B160, B80, B40, B20, B10, B5)은 그림 5와 같다. 육안으로 비교했을 때, B0에 비해 형태의 차이를 보이는 곡선모델은 B20, B10, B5이다. B0 좌측 하단의 가장 만곡이 심한 부분이 B20에서는 만곡의 형태가 더 심해짐을 알 수 있다. 또한 우측 하단의 만곡 및 돌출 부위도 형태적 차이를 보임을 알 수 있다(그림 6-a). B0 하단 좌우의 만곡 부위는 B10의 하단에서 아주 약한 만곡으로 나타나게 되어, B10의 전체

적인 형태는 하트형으로 변형이 심하게 나타난다 (그림 6-b). B5는 만곡부위가 완전히 사라져 BO와는 완전히 다른 형태를 보임을 알 수 있다 (그림 6-c).

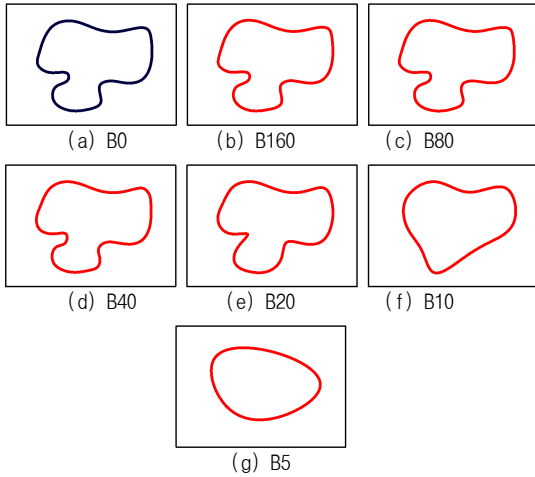


그림 5. 부정형의 원형 볼록-오목 곡선(a) 및 특징점의 개수에 따라 생성된 곡선모델(b~g)의 형태 비교
 Fig. 5. Comparison of shapes between original irregular convex-concave curve (a) and curve models created by the variety of the number of points (b~g)

사진측량기법으로 재현된 곡선모델과 원형 곡선에 대한 육안검사 결과로부터 볼록 곡선만으로 구성된 곡면의 경우 특징점을 비교적 적게 추출해도 형태적으로 크게 변형이 나타나지 않음을 알 수 있다. 그러나 볼록 곡선과 오목 곡선이 결합된 부정형 곡면의 경우 볼록 곡선만으로 구성된 곡면에 비해 특징점이 많이 필요함을 유추할 수 있다. 또한 볼록 곡선과 오목 곡선이 결합된 부정형 곡면에서 만곡이 심한 부분에서 변형이 쉽게 일어남을 알 수 있다. 이러한 경향은 볼록 곡선만으로 구성된 부정형 곡선에서도 나타나게 되는데, 특징점의 개수를 축소할 경우, 돌출의 정도가 심한 부분에서 크게 영향을 받음을 나타내고 있다.

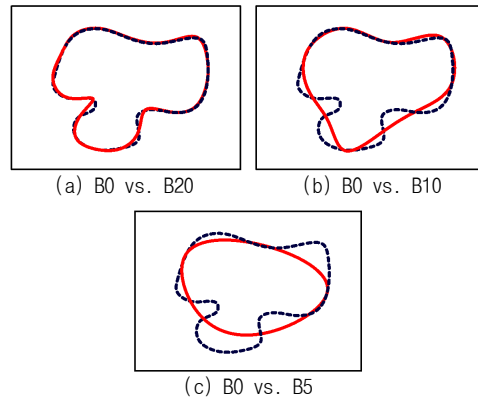


그림 6. 변형이 심한 볼록-오목 곡선모델의 형태 비교 (BO는 흑색 점선, B20, B10 및 B5는 적색 실선으로 표시)
 Fig. 6. Comparison of shapes between original convex-concave curve and curve models with noticeable deformation (black dashed curves indicate BO; red continuous curves indicate B20, B10 and B5)

3.2 정량 비교

원형 곡선에 대한 각 곡선모델의 기하 정보는 표 2에 나타난 바와 같다. 원형 볼록 곡선(AO)에 대한 볼록 곡선모델들(A160~A5)의 둘레 차이(표 2의 Length Difference)는 160, 80, 40, 20개의 특징점을 이용한 곡선모델(각각 A160, A80, A40, A20)에서는 1mm 이내 (0.15% 이내)의 작은 차이를 보이고 있다. 이 값은 10개 및 5개의 특징점을 이용한 곡선모델(각각 A10 및 A5)에서 20개 이상의 특징점을 이용한 곡선 모델들보다 커다란 차이를 보이고 있다. A10 및 A5 곡선 모델은 원형 곡선에 비해 둘레 길이에서 각각 -1.85%, -4.51%의 오차를 나타내고 있다.

원형 볼록-오목 곡선(BO)에 대한 볼록-오목 곡선모델들(B160~B5)의 둘레 차이는 160, 80, 40개의 특징점을 이용한 곡선모델(각각 B160, B80, B40)에서는 상대적으로 작은 차이($\pm 2\text{mm}$, $\pm 0.3\%$)를 보이고 있다. 이 값은 20개, 10개 및 5개의 특징점을 이용한 곡선모델(각각 B20, B10, B5)에서 각각 -2.4%, -14.29%, -24.16%의 차이를 보이고 있다. 이러한 경향은 육안검사의 결과를 뒷받침 하는 것으로 나타난다.

원형 곡선(AO 및 BO)에 대한 곡선모델의 면적 차이(표 2의 Area Difference)와 무게중심의 변이(표 2의 Centroid Distance)는 육안검사 결과와 무관하게 나

타난다. 면적 차이의 경우 곡선모델의 변형에 의해 발생하는 면적 증감이 무작위로 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 무게중심의 변이는 비교적 일정한 값을 유지하고 있는데, 이는 각 곡선모델의 기준점들이 원형 곡선과 가까운 위치에 자리잡고 있기 때문인 것으로 판단된다.

표 2. 원형 곡선에 대한 곡선모델의 기하 정보 비교
Table 2. Comparison of geometrical information of curve models created by photogrammetry compared to original curves (AO and BO respectively)

Curve ID	Length Difference		Area Difference		Centroid Distance (mm)
	mm	%	mm ²	%	
AO	-	-	-	-	-
A160	0.46	.08	124.45	.56	0.64
A80	0.51	.09	161.21	.72	0.52
A40	-0.53	-.09	64.34	.29	0.46
A20	-0.76	-.13	49.77	.22	0.66
A10	-10.89	-1.85	-72.86	-.33	0.36
A5	-26.57	-4.51	9.88	.04	3.43
BO	-	-	-	-	-
B160	1.92	.29	100.78	.48	0.61
B80	1.36	.21	111.22	.53	0.55
B40	-1.90	-.29	69.29	.33	0.79
B20	-15.87	-2.4	220.34	1.05	0.75
B10	-94.41	-14.29	-162.79	-.78	2.75
B5	-159.66	-24.16	-2854.78	-13.64	0.49

원형 곡선과 각 곡선모델간의 최대 거리는 표 3과 같다. 이 값들은 원형 곡선에 대한 각 곡선모델의 최대 오차라고 할 수도 있는데, 이 오차의 대부분은 X-Y 평면(특징점이 인쇄된 표면) 위에서 발생하게 된다. 원형 볼록 곡선(AO)에 대한 볼록 곡선모델(A160~A5)의 경우 최대 오차값이 10, 5개의 특징점을 사용한 곡선모델(A10, A5)에서 급격하게 증가함을 알 수 있다. 원형 볼록-오목 곡선(BO)에 대한 볼록-오목 곡선모델(B160~B5)의 경우에는 최대 오차값이 20, 10, 5개의 특징점을 사용한 곡선모델(B20, B10, B5)에서 급격하게 증가하고 있다. 이처럼 원형 곡선에 대한 곡선모델의 최대 오차 또한 육안검사 결과를 뒷받침하고 있다.

표 3. 원형 곡선과 곡선모델사이의 최대 거리
Table 3. Maximum distance between original curve (AO and BO) and each curve models created by photogrammetry

Curve ID	Distance (mm)	Curve ID	Distance (mm)
A160	1.26	B160	1.15
A80	1.53	B80	1.01
A40	1.08	B40	2.07
A20	2.75	B20	7.91
A10	10.47	B10	25.97
A5	29.24	B5	31.83

이상의 결과를 종합하여 사진측량기법으로 곡면 모델을 재현할 경우 다음과 같은 특징을 종합할 수 있다. 첫째, 사진측량기법으로 곡면 모델을 재현할 경우 과도한 수량의 특징점 사용이 모델의 재현성을 높인다고 보기는 어렵다. 둘째, 볼록 곡선과 오목 곡선의 조합으로 구성된 곡면은 볼록 곡선만으로 구성된 곡면에 비해 많은 특징점을 사용하여 모델을 생성해야 변형을 줄일 수 있다. 셋째, 특징점의 수량을 축소하면 돌출 및 만곡이 심한 부위의 변형이 우선적으로 현격하게 나타난다. 이상의 특징과 결과를 종합하면, 사진측량기법으로 부정형 곡면을 모델링 할 경우, 볼록 곡면만 다를 경우 전체 곡면 길이의 약 5%에 해당되는 거리마다, 볼록 곡면과 오목 곡면이 공존하는 경우, 전체 곡면 길이의 약 2.5%에 해당되는 거리마다 특징점을 위치시켜 모델링 할 경우, 오차를 낮은 수준으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 임의의 부정형 폐곡선과 사진측량기법을 이용하여 만들어진 곡선 모델의 오차를 비교하여 인체 형상을 구성하는 부정형 곡선의 가상 모델 재현에 대한 사진측량기법의 적용가능성을 검토하였다. 사지와 같이 볼록 곡면이 주를 이루는 경우 전체 곡면 길이의 약 5%에 해당되는 거리마다 특징점을 위치시켜 모델링 할 경우 낮은 수준의 오차를 유지하며 모델링이 가능할 것으로 판단된다. 얼굴과 몸통 등 볼록 곡면과 오목 곡면이 공존하는 경우 전체 곡면 길이의 약 2.5%에 해당되는 거리마다 특징점을 위치시켜 모델링 할 경우 낮은 수준의 오차를 유지하며 모델링 할 수 있을 것

으로 나타났다. 이와 같은 특징을 감안했을 때 사진측량기법은 3차원 스캐너에 비해 저비용과 이동성이라는 장점을 갖는 대체 방법으로 충분한 가능성을 갖는다고 할 수 있겠다.

본 연구에서 사용된 원형 곡선은 연구자의 임의에 의해 생성되었다. 또한 일반적으로 사진측량기법의 정확도는 카메라 센서의 크기, 렌즈의 왜율, 광량, 대상체의 크기 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 따라서 본 연구의 결과가 모든 형태의 곡선모델에 동일한 가치로 적용되기는 어려운 것으로 판단된다. 본 연구의 결과를 활용하여 향후 인체 형상 모델링에 대한 다양한 시도가 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] J. S. Kim, W. Y. Park, S. H. Hong. "The 3D Modeling of Cultural Heritage Using Digital Photogrammetry", Journal of Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 21(4), pp. 365-371, Dec., 2003
- [2] S. H. Han, Y. S. Bae, S. H. Bae. "Application Analysis of Digital Photogrammetry and Optical Scanning Technique for Cultural Heritage Restoration", Journal of Korean Society of Civil Engineers, 26(5D), pp. 869-876, Sep., 2006
- [3] J. Lee, S. Y. Baek, K. Lee. "3D Generic Vertebra Model for Computer Aided Diagnosis", Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, 15(4), pp. 297-305, Aug., 2010
- [4] H. G. Kim. "A Novel Modeling Method for Manufacturing Earing Aid Using 3D Medical Images", Journal of Radiological Science and Technology, 39(2), pp. 257-262, June, 2016
- [5] Size Korea, Size Korea Website, Retrieved Sep 2017 from <http://sizekorea.kr>
- [6] J. H. Chang, F. A. Fathallah, W. Pickett, B.

Marlenga, B. J. Miller. "Limitations in Fields of Vision for Simulated Young Farm Tractor Operators", Ergonomics, 53(6), pp. 758-766, June 2010

- [7] J. H. Chang. "An Approach to Measure Anthropometric Data of Simulated Human Hand Using Photogrammetry", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, 9(5), pp. 511-517, Oct. 2016

저자약력

장 지 홍(Ji Hong Chang)

[중신회원]



- 2007년 2월 : University of California, Davis (박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 교수

<관심분야> 작업생체역학, 재활공학