

3D 컴퓨터그래픽을 도입한 클레이 캐릭터 제작 공정 개발에 관한 연구

김 정 호[†]

요 약

이 연구에서는 기존의 클레이 애니메이션 제작 공정이 가지는 문제점을 개선하기 위해 3D 컴퓨터그래픽을 도입한 새로운 제작 공정을 제안한다. 그 핵심은 기존 공정을 바탕으로 하되 대단히 노동집약적인 캐릭터 제작 과정을, 3D 컴퓨터그래픽에 의한 디지털 캐릭터로 대체하는 것이다. 클레이 애니메이션에 등장하는 캐릭터를 3D 컴퓨터그래픽으로 구현하기 위해 클레이 캐릭터와 동일한 색상과 종류의 유성찰흙을 사용하여 폴리곤 모델링 캐릭터의 UVW 좌표 값에 맞춘 디퓨즈 맵과 디스플레이스먼트 맵을 제작하였다. 또한 파노라마 HDRI 자동 촬영 시스템을 개발하여 미니어처 세트 촬영 환경의 조명 정보를 초고해상도의 파노라마 HDRI 형식으로 제작, 이를 디지털 라이팅 소스로 사용하였다. 이 과정을 통해 대단히 사실적인 결과물을 얻음과 동시에 숙달된 작업자의 노하우에만 의존하던 스톱모션 제작 공정을 공학적 접근에 의한 자동화된 방식으로 개선할 수 있었다.

A Study on the Establishment of a Production Pipeline Imported 3D Computer Graphics for Clay Characters

Jung-Ho Kim[†]

ABSTRACT

The establishment of a production pipeline imported 3D computer graphics is suggested in this paper to improve the efficiency of existing production pipeline of clay animation. The point is that the process of building clay characters that remains labor intensive among the existing procedures is replaced by the process of creating computer generated characters. In order to create characters out of clay by means of 3D computer graphics, a diffuse map and displacement map are made of an oil-based clay according to the UVW coordination of polygon modeling, which is the same color and kind of clay used to make a clay character. In addition, a panoramic HDRI recording system is developed to record the lighting information of shooting environment for miniature sets, which is imported in 3D computer graphic tools as digital light source. On account of the new production pipeline, a hyper realistic rendering image can be produced, and at the same time it improves the traditional pipeline of stop motion animation that is know-how based procedure of a complete artist by the engineering approach to the automatic process.

Key words: Clay Animation(클레이 애니메이션), Panoramic HDRI(파노라마 HDRI), 3D Computer Graphics(3D 컴퓨터그래픽)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김정호, 주소 : 서울특별시 중구 필동 3가 26번지(100-715), 전화 : 02)2260-8607, FAX : 02-2260-3766, E-mail : kimjungho@dongguk.edu

접수일 : 2008년 5월 6일, 완료일 : 2008년 7월 16일

[†] 정희원, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 조교수

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목표

클레이 애니메이션은 미니어처 세트나 캐릭터 등의 제작부터 촬영하는 것에 이르기까지 전체 공정이 사람의 손으로 이루어진다. 특히 클레이 캐릭터는 마치 흙으로 빚어 만든, 살아 움직이는 공예품을 보는 듯한 독특한 매력을 불러일으켜서 오랜 세월 동안 관객들의 꾸준한 사랑을 받고 있다. 그러나 바로 그러한 이유 때문에 다른 어떤 기법보다 제작 기술의 발전이 더디고 신기술의 도입 또한 늦어지고 있는 게 사실이다. 제작자의 입장에서는 스톱모션 제작 공정의 일부를 컴퓨터그래픽으로 대체함으로써 제작비 절감이나 제작 기간 단축 등의 효과를 기대할 수도 있다. 하지만 전통 제작 방식을 고수하는 것이 진정한 스톱모션의 매력을 살리는 길이라는 믿음이 뿌리 깊어져 있기 때문에 상업적으로 경쟁력을 갖기 힘든 제작 방식이 여전히 고수되고 있는 것이다. 컴퓨터그래픽을 통해 실제 사람과 흡사한 디지털 액터를 만드는 것이 가능해진 오늘날, 디지털 액터는 여전히 작품의 일부 장면에만 쓰이고 있다. 이는 사람과 흡사한 것만으로는 배우를 완전히 대체하기 부족하기 때문일 것이다. 같은 이유로 인공적인 느낌을 완전히 배제하기 힘든 3D 컴퓨터그래픽 기술을 클레이 애니메이션 제작에 도입할 수는 없는 것이다.

이 연구는 단지 '클레이 느낌의' 캐릭터 제작이 아닌 실제 클레이 캐릭터와 구분하기 힘들 정도로 완성도 높은 디지털 클레이 캐릭터를 제작한다면 클레이 애니메이션 제작 공정에 많은 변화를 가져올 수 있을 것이라는 믿음에서 출발하였다. 여기에 필요한 사실적 렌더링(Photo-realistic Rendering)에 관한 최신 기술은 불과 수 년 전만 해도 렌더링 시간과 같은 현실적인 작업 여건 때문에 실제 적용이 어려웠으나, 이제는 소프트웨어와 하드웨어 두 측면에서 모두 실제 작업에 적용 가능한 수준까지 발전하였다. 따라서 강력한 성능의 컴퓨터그래픽 기술들을 효과적으로 사용할 수 있는 새로운 공정을 개발한다면, 사람의 손에 의해서만 가능하였던 세밀하고 자연스러우며 유연한 효과를 컴퓨터그래픽으로 완벽하게 구현할 수 있으리라 판단된다.

이 논문에서는 TV 시리즈 애니메이션 <도라독스, Dora Dogs> 시즌 3의 파일럿 필름을 제작하는

과정에서 사실적인 조명 연출과 클레이의 표면 질감 표현 등을 수행하여 3D 컴퓨터그래픽을 통해 수공의 매력을 구현하는 것이 가능함을 증명하고 있다. 또한 실제 클레이 캐릭터와 구분하기 힘들 만큼 완성도 높은 디지털 클레이 캐릭터의 제작 과정을 포함하는, 새로운 클레이 애니메이션의 제작 공정을 제안하고자 한다.

1.2 연구방법

이 연구는 전체 클레이 애니메이션 제작 공정 중에서 캐릭터 제작과 관련된 과정을 3D 컴퓨터그래픽으로 대체하는 방법에 초점을 맞추고 있다. 미니어처 세트나 소품 등의 제작과 촬영은 캐릭터에 비해 큰 노력이 드는 작업이 아닐 뿐더러 작품의 사실감 표현에 도움을 주는 긍정적 역할을 할 것으로 예상되므로 기존의 제작 방식을 동일하게 적용하였고, 캐릭터 제작 및 애니메이션 과정에 3D 컴퓨터그래픽을 도입하여 작업의 효율을 극대화하는 방식으로 새로운 제작 공정을 개발하였다.

새로 제안하는 방식에 따르면, 미니어처 세트로 제작된 실제 배경을 촬영한 후 거기에 컴퓨터그래픽으로 만든 캐릭터를 합성하게 된다. 여기에서 서로 다른 두 미디어 간의 이질감을 최소화하고, 동시에 작업의 효율을 높이기 위한 목적으로 세트 촬영 현장의 조명 설정을 HDRI 이미지로 제작하여 디지털 조명으로 사용하는 방법을 도입하였다. HDRI의 제작 방식으로는 크롬 볼의 반사 이미지를 촬영하는 방법이 일반적으로 널리 알려져 있다. 그러나 이 연구에서는 '파노라마 HDRI 자동 촬영 시스템' 개발을 통한, 보다 발전된 형태의 파노라마 HDRI 제작 방식을 제안한다. 이 방식은 HD 포맷이나 극장용 필름 제작과 같은 고해상도 작업에 직접 적용될 수 있다. 클레이 캐릭터 표면의 질감을 구현하기 위해서, 실제 클레이 캐릭터 제작에 사용되는 대표적인 유성찰흙인 Plastilina, Jovi 클레이를 사용해 편집된 UV 좌표에 맞춰 직접 바르는 방식으로 디퓨즈 맵을 제작하였고 여기서 디스플레이스먼트 맵까지 한번에 추출하는 방식을 개발하였다. 이 과정을 통해 실제 클레이 캐릭터와 동일한 표면 질감을 표현할 수 있었다. 이와 같은 클레이 애니메이션 제작 공정을 거친 <도라독스, Dora Dogs> 시즌 3의 파일럿 필름 제작 과정은 상업적 애니메이션 프로젝트를 진행하기 위한 제작

파이프라인의 표준으로 기능할 수 있으며, 특히 경제적 효과를 객관적으로 가늠하기 위한 기준이 될 수 있다.

2. 클레이 애니메이션의 제작 공정

스톱모션(stop-motion) 애니메이션이란 스스로 움직일 수 없는 물체를 사람이 조금씩 움직이며 한 프레임씩 나누어 촬영한 후 일정한 속도로 상영함으로써 마치 무생물이 자력으로 움직이는 것처럼 보이게 만든 영상을 통칭한다. 움직임의 대상이 되는 오브젝트를 만드는 데 사용된 재료에 따라 여러 이름으로 불리는데, 대표적으로 인형을 만들어서 촬영하는 퍼핏(puppet) 애니메이션과 클레이(clay)를 재료로 캐릭터를 제작하여 촬영하는 클레이 애니메이션을 꼽을 수 있다. 할리우드를 중심으로 하는 미국에서는 라텍스(latex) 인형을 사용한 퍼핏 애니메이션이 강세인데, 영화 특수효과에 사용되는 각종 재료나 제작 기술이 라텍스 인형의 제작과 동일하기 때문에 관련 인프라가 폭넓게 구축되어 있다. 영국이나 체코를 중심으로 한 유럽에서는 클레이 애니메이션이 발달해 있는데, 간혹 극장용 애니메이션이 제작되기도 하지만 주로 독립 단편 애니메이션 제작이 주류를 이루고 있다. 국내에서는 독립 단편 작품 못지않게 상업적인 애니메이션이 많이 제작되고 있음에도 불구하고 라텍스 인형 제작에 관한 기술 및 이해 부족으로 퍼핏 애니메이션보다는 주로 클레이 애니메이션 기법이 사용되고 있다[1].

2.1 세트 제작

세트 제작 과정은 보통 미니어처(miniature)라고도 불리는 소형 건축물이나 실내 구조물 또는 각종 소품 등을 제작하는 과정을 말한다. 세트를 제작할 때는 캐릭터와의 비율을 고려하여 적절한 크기가 설정되고¹⁾ 경우에 따라 세트 구조의 부가 기능이 고려되어야 한다. 즉 일부를 탈부착 가능한 구조로 제작하여 조명의 변화에 따라 세트 구조가 변경될 수 있게 하거나, 세트의 일부가 다른 세트에서도 재활용될

수 있게 사전에 계획되어야 한다. 그러나 무엇보다 중요한 것은, 스톱모션에 사용되는 미니어처 세트는 일반적인 미니어처와 달리 디자인의 특성을 떠나 반드시 견고함이 보장되어야 한다는 점이다[2].

스톱모션 애니메이션에서 작품을 상영할 때에는 1/24초에 해당하는, 프레임과 프레임의 사이에 오랜 시간의 간격(한 프레임을 애니메이션하고 촬영하는데 필요한 시간)이 존재하기 때문에 그 사이 생길지 모르는, 예상치 못한 캐릭터나 배경의 움직임은 철저히 배제되어야만 한다. 모든 세트나 소품은 반드시 단단하고, 휘어짐이나 탄력이 없는 재료만을 사용해서 견고하게 고정되어야 하고, 심지어 충격에 의한 반동조차 최소화할 수 있는 구조이어야만 한다. 굴곡이 심한 바닥을 만들 때에도 반드시 튼튼한 구조의 기초를 세운 다음 돌처럼 단단하게 경화될 수 있는 재료를 써서 충분한 두께로 구축해야 한다. 그럴듯한 표면 질감을 구현하기 이전에, 구멍을 뚫을 수 있고 그 위에 얹히는 각종 구조물의 무게를 충분히 지탱할 수 있을 만큼의 견고함이 보장되어야 하기 때문에 일반적인 미니어처 세트 제작보다 훨씬 복잡한 과정을 거치게 된다.

2.2 캐릭터 제작

스톱모션 애니메이션에 사용되는 인형에는 일반 인형과 달리 아마추어(armature)라는 부품이 내장되어 있다. 이것은 사람의 뼈에 해당되는 것으로, 간단하게는 반동이 적은 알루미늄 재질의 철사를 꼬아서 제작되며, 보다 전문적인 작품에서는 그림 1과 같은 볼소켓(ball & socket) 아마추어가 사용된다. 스톱모션 방식의 애니메이션은 미세한 관절의 움직임을 정교하게 다루어야 하는 작업이므로 장편 애니메이션 제작과 같이 작업 분량이 많거나 완성도 높은 동작을

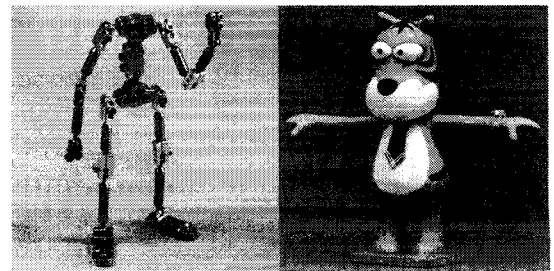


그림 1. 아마추어와 클레이 캐릭터의 예시

1) 필요 이상으로 세트가 커지면 제작 기간 및 비용 상승 등 촬영 과정에 부담을 주게 되며, 지나치게 작게 제작된 세트는 조명 설정의 어려움으로 인해 작품의 완성도에 치명적인 영향을 미치게 된다.

만들어내기 위해서는 수백만 원을 호가하는 불소켓 아마추어의 사용이 필수적이다. 라텍스 인형 제작을 위해서는 원형 제작, 몰드 제작, 라텍스 베이킹, 도색 등의 복잡한 과정을 거쳐야 하고, 사용되는 재료 또한 온도나 습도에 민감하게 반응하기 때문에 상당한 노하우가 요구된다. 국내의 일부 제작사에서 손이나 발을 제작하는 데 이것을 이용하고 있으나 전문 지식이 부족하여 제한적인 사용에 그치고 있다. 클레이 애니메이션에서는 퍼핏과 동일한 아마추어를 사용하는데, 단지 퍼핏 제작 과정의 첫 단계인 원형 제작 과정을 통한 클레이 캐릭터를 애니메이션 제작에 직접 사용한다[3].

2.3 캐릭터 애니메이션 및 촬영

스톱모션에서 사용되는 캐릭터가 움직이는 원리는 다음과 같다. 캐릭터의 발바닥에 구멍을 뚫어 너트에 해당하는 부품을 장착하고, 세트 바닥에도 구멍을 뚫어 그 내부에 볼트를 설치한 뒤 볼트와 너트를 조여서 캐릭터를 고정시킨 후 애니메이션이 진행된다. 예를 들어 캐릭터가 한 걸음을 내딛기 위해서는 발이 바닥을 떠나는 순간 무대 바닥 밑에서 볼트를 풀고, 바닥을 떠나 공중에서 움직이던 발이 다시 바닥에 닿는 프레임에서 바닥에 새로 구멍을 뚫고 다시 볼트를 조여 고정시키는 작업을 연속해서 반복하게 된다. 육안으로는 구분이 어려울 만큼 미세한 움직임을 반복해야만 정상적인 속도의 움직임이 구현되며 애니메이션 방식 또한 숙달된 애니메이팅 기술을 필요로 하는 스트레이트 포워드(straight forward) 방식으로 진행되므로 컴퓨터그래픽의 키프레임 방식과 비교하면 대단히 까다롭고 고도로 발달된 타이밍 감각이 요구된다[4]. 게다가 클레이 애니메이션은 캐릭터 애니메이팅을 위해 손으로 인형을 만질 때마다 발생하는 형태의 변형을 원상 복구해야 하고 지문, 이물질 등을 제거하는 작업이 필요하므로 엄청난 시간과 노력이 소모된다. 애니메이팅 작업이 장기간 수행될 경우에는 텅스톤 조명에서 발생하는 열 때문에 클레이가 녹아내리는 상황도 종종 발생한다.

편집은 영화 제작 과정의 그것과 크게 다르지 않지만 국내 스톱모션 제작사들의 경우 일반적으로 편집 과정에서 애니메이션의 일부를 수행하기도 한다. 즉 애니메이팅 과정에서는 타이밍을 크게 고려하지 않고 촬영을 진행한 후 편집 과정에서 불필요한 프레

임을 삭제하여 타이밍을 빠르게 조정하거나, 혹은 동일한 프레임을 반복 사용하여 타이밍을 늦추기도 한다. 이 경우 동일한 프레임이 지나치게 반복되어 애니메이션이 부자연스러워지는 결과를 낳을 위험도 있지만, 과도한 작업량이나 제작비 부담을 줄이고 작업의 효율을 높이기 위한 교육지책으로 일반화되어 있다.

2.4 클레이 애니메이션의 제작 공정

그림 2는 클레이 애니메이션의 전체 제작 공정 중에서 프로덕션 과정을 나타낸다. 이 중 ‘캐릭터 작업’에 해당되는 부분에 인력 및 예산이 집중적으로 투입된다. 클레이 캐릭터에 내장되는 아마추어는 캐릭터의 크기나 디자인에 따라 고가의 가격이 형성되어 있다. 또한 클레이 인형을 제작하고 애니메이팅, 촬영하는 과정은 매우 노동 집약적이라 할 수 있는데 TV 시리즈 애니메이션 <도라독스, Dora Dogs> 시즌 2의 경우, 전체 제작 인력의 약 80%가 캐릭터 작업에 투입되었다. 이 연구에서는 전체 클레이 애니메이션 제작 공정 중에서 캐릭터 작업과 관련된 부분을 3차원 컴퓨터 그래픽으로 대체하고자 하며, 그 경우 어느 정도의 제작 인력 및 제작비 절감 효과가 있는지를 측정해 보고자 한다.

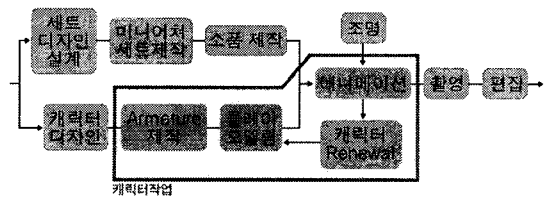


그림 2. 클레이 애니메이션 제작 공정의 흐름도

2.5 새로운 제작 공정 개발

클레이 특유의 질감을 살린 캐릭터를 3D 컴퓨터 그래픽으로 제작하기 위해서는 무엇보다도 미세한 표면 질감까지 고려한 고품질의 텍스처 맵 제작과 사실적인 조명 설정이 중요하다. 불과 몇 년 전만해도 클레이 캐릭터와 같은 복잡하고 세밀한 질감의 표면을 3D 컴퓨터그래픽으로 완벽하게 구현하기란 거의 불가능했다. 그러나 최근 3D 컴퓨터그래픽 분야에서 전역조명(global illumination)을 적용한 강력한 성능의 상용 렌더러(renderer)가 등장하고, 노멀

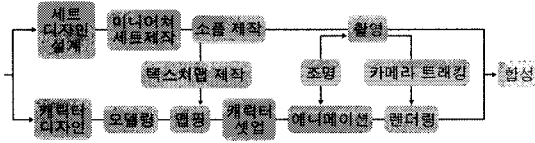


그림 3. 새로운 제작 공정의 흐름도

(normal) 맵이나 디스플레이스먼트(displacement) 맵과 같은 새로운 방식의 텍스처 표현 기술이 발전하면서 보다 사실적인 장면 표현이 가능해지고 있다[5].

이 연구에서도 그와 같은 관련 기술을 적극적으로 도입하였으나, 단순히 최신 기술의 도입만을 목적으로 하기보다는 그림 3과 같이 기존의 아날로그 방식이 갖는 장점을 최대한 살리면서 동시에 이를 첨단 기술과 자연스럽게 융합시킴으로써 두 가지 기법이 공존할 수 있는 방법을 모색하였다. 하이 폴리곤(high polygon) 모델링에서 추출한 표면 정보 값을 바탕으로 하는 기존의 방식과 달리, 이미 제작되어 있는 클레이 캐릭터 자체를 활용하는 방법에 초점을 맞추었고, 이를 통해 기존의 방식에 뒤떨어지지 않는 우수한 결과물을 상대적으로 손쉽게 제작할 수 있는 공정을 개발하였다. 디지털 조명 역시 실제 세트의 촬영에서 사용된 조명 환경을 최대한 활용하였다. 촬영 당시의 조명 설정값을 공학적으로 정확히 계산된 디지털 조명으로 전환하는 방식을 자동화 시스템 개발을 통해 손쉽게 구현하도록 하였는데 이 방식은 복잡한 GI 렌더링 설정에 소모되는 시간과 노력을 최소화하여 제작 시간을 단축시키는 효과를 낳기도 하였다. 특히 캐릭터 애니메이션(촬영 과정 포함) 과정은 기존 방식대로라면 전체 제작 공정의 75% 이상 소모되던 핵심 과정인데 이것이 3D 컴퓨터그래픽으로 대체되기 때문에 10분 분량 1편(12frame/sec)을 한 명의 애니메이터가 담당하는 동일한 조건에서 비교했을 때 기존의 방식보다 약 40% 이상 효율을 높일 수 있게 되었다. 이 방식을 실제 프로덕션에 적용할 경우 대폭적인 제작비 절감이 가능할 것으로 예상된다.

3. 텍스처 맵 제작

3D 컴퓨터그래픽을 사용한 캐릭터의 제작 과정은, 모델링 작업이 끝난 폴리곤 모델의 UVW 좌표를 편집하여 평면 이미지 형태로 가공한 후 이를 기준으

로 페인팅 프로그램에서 그림을 그린 다음 모델의 표면에 씌우는 방식으로 진행된다. 2D 페인팅 프로그램에서 클레이 느낌의 텍스처 맵을 그리는 것이 불가능하다 할 수는 없으나 실제 클레이 캐릭터 표면에 생기는 자연스러운 흠집이나 얼룩 등을 사실적으로 묘사하기란 대단히 어렵다. 이 연구에서는 텍스처 맵을 페인팅하는 대신 캐릭터 제작에 사용된 클레이를 직접 사용, 이를 촬영하는 방식을 제안한다[6].

3.1 디퓨즈 맵 제작

디퓨즈(diffuse) 맵이란 폴리곤 모델의 표면 컬러 정보를 나타내는 비트맵 이미지를 말한다. 먼저 폴리곤 모델의 UVW 좌표값을 출력하여 그림 4와 같은 투명 아크릴 상자 밑면에 고정시킨다. 아크릴 상자는 본 작업을 위해 고안된 것인데, UVW 좌표에 맞게 클레이를 바르는 과정에서 작업대 역할을 하면서 동시에 촬영 및 조명 설정 과정에서는 수직으로 세워진 받침대 역할을 하여 탈 부착 및 반복 촬영에서 위치를 유지시켜 주는 역할을 한다. 출력된 UVW 좌표에는 단색을 사용한 기본적인 컬러링 작업을 미리 해둠으로써 클레이를 바르는 과정에서 부위별로 식별할 수 있게 한다. 입체와 평면 작업에 따라 차이가 있기는 하나 클레이를 바르고 표면을 정리하는 것은 기존의 클레이 캐릭터 제작 과정과 일치한다. 이 과정에서 그림으로는 표현하기 힘든 미세한 표면 질감이나 복잡한 색감, 작업 과정에서 발생하는 얼룩까지 자연스럽게 표현하는 것이 가능해진다.

3.2 조명 설정 및 촬영

2D 페인팅 프로그램에서 제작한 디퓨즈 맵은 그리는 과정이 끝나면 바로 모델에 적용할 수 있으나, 이 연구에서 제작한 클레이 기반의 디퓨즈 맵에는 비트맵 이미지로의 전환 과정이 필요하다. 그림 5의 좌측 영상은 스캐너를 사용해 비트맵 이미지를 제작

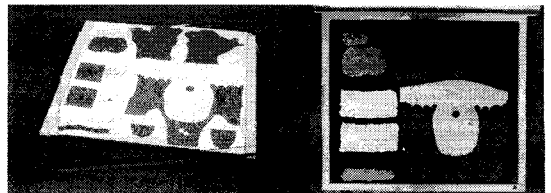


그림 4. 디퓨즈 맵 제작용 아크릴 상자

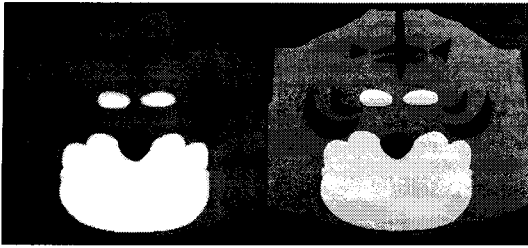


그림 5. 스캐닝과 촬영 결과물의 비교



그림 6. 디스플레이스먼트 맵과 적용 예시

한 예시로서 본 연구에서 중요시되는 표면 질감이 전혀 표현되지 않고 있다. 그림 5의 우측 영상은 사방에서 부드럽게 난반사되는 인공조명이 피사체를 감싸는 환경을 연출한 후 카메라를 사용해 촬영된 비트맵 이미지이다. 특정 방향(카메라의 좌측 상단)에 좀더 강한 빛을 설정해 줌으로써 깊이 값을 표현할 수 있도록 정교하게 조명을 설치하였다. 비교를 통해 알 수 있듯이 스캐너를 사용하는 것이 수월하긴 하지만 약 4mm 두께의 높낮이가 존재하는 일종의 3차원 상태의 클레이 디퓨즈 맵은 방향성을 고려한 조명 설정 및 촬영이 필요하다. 이렇게 촬영된 비트맵은 레벨 값과 기본적인 색상, 채도 등을 보정해 줌으로써 폴리곤의 디퓨즈 맵으로 사용할 수 있는 상태가 된다[7].

3.3 디스플레이스먼트 맵

디스플레이스먼트 맵핑이란 범프 맵핑이나 노멀 맵핑과 달리 텍스처 맵의 픽셀 정보에 따라 실제로 폴리곤의 위치가 폴리곤의 노멀 값을 따라 이동함으로써 보다 사실적인 깊이 값을 표현하는 기법이다 [8]. 이는 폴리곤을 세분화하여 깊이를 표현하는 방식이기 때문에 과도한 렌더링 시간이 요구되었고 실제 작업에 적용하기는 거의 불가능했으나 최근에는 하드웨어의 사양이 높아짐에 따라 사실적 렌더링이 필요한 작품 제작에 많이 도입되고 있다. 이 연구에서는 불규칙한 클레이 표면 제작을 위해 흑백의 디스플레이스먼트 맵을 제작하였다. 디퓨즈 맵을 제작하는 과정에서 클레이 표면의 미세한 표면 질감이 방향성을 가진 조명 설정에 따라 컬러 값의 일부로 포함되었기에 별도의 디스플레이스먼트 맵을 제작하기 보다는 디퓨즈 맵 제작에 사용된 클레이 평면 모델을 재사용하였다. 50% 그레이 컬러의 무광 서페이스를 디퓨즈 맵 촬영에 사용되었던 클레이 표면에 골고루 도포하여 컬러 정보를 통일하고 표면의 깊이 정보만

을 포함한 흑백 이미지를 생성하였다. 디퓨즈 맵의 촬영 과정과 동일한 위치, 조명 설정을 사용하므로 그와 정확히 일치하는 맵이 제작될 수 있다. 그림 6과 같이 촬영 후 정상 범위보다 30% 정도 과장된 레벨 조정으로 컨트라스트(contrast) 값을 조정해 주어야만 폴리곤 모델의 전체적인 부피 증가를 최소화하며 적절한 깊이 값을 표현할 수 있다.

3.4 제작 결과

클레이 캐릭터는 부드러운 소재를 각종 도구나 손으로 직접 조형하는 작업을 통해 만들어진다. 따라서 손가락 지문을 비롯하여 작업 과정에서 생기는 자국, 서로 다른 색상의 클레이를 붙이는 과정에서 생기는 불규칙한 라인 등이 의도하지 않게 생길 수밖에 없는데, 이것이 클레이 캐릭터 특유의 느낌을 벗어낸다. 그림 7을 보면 동일한 과정으로 제작된 디스플레이스먼트 맵을 사용함으로써 실제 클레이 캐릭터의 느낌이 그대로 구현되고, 여기에 디퓨즈 맵이 씌워지면 자연스러운 클레이의 색상 정보, 얼룩 등이 더해지면서 실제 클레이 캐릭터의 특성이 완벽하게 구현된다[9].

4. 파노라마 HDRI

HDRI는 노출(exposure)의 범위, 즉 이미지 안의 밝은 영역과 어두운 영역 사이의 값의 범위가 일반적

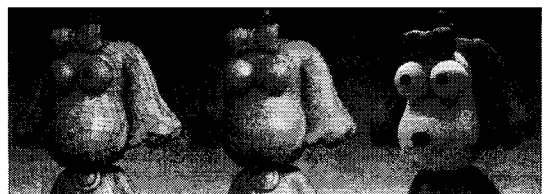


그림 7. 최종 결과물의 예시

인 디지털 이미지보다 월등히 큰 영상을 다루는 일련의 기술을 말하는데 그 범위가 실제 장면 속 조명의 동적 범위만큼이나 크기 때문에 3D 컴퓨터그래픽 분야에서는 디지털 조명으로 사용되고 있다[10]. 즉 촬영 대상이 되는 환경의 조명 설정을 가장 밝은 영역부터 가장 어두운 영역까지 폭넓은 범위로 정확하고 세밀하게 저장하여 이를 3D 컴퓨터그래픽 작업에서 조명 역할을 하는 환경 맵으로 사용하는 것이다. 주로 다중 노출 촬영된 LDRI로부터 HDRI를 제작하는 방법이 사용된다.

4.1 크롬 볼 다중 촬영을 통한 HDRI 제작

폴 디버벡(Paul Debevec)이 처음 제안하고 일반적으로 가장 널리 알려져 있는 크롬 볼 다중 촬영을 통한 HDRI 제작 과정은 크게 촬영, 카메라 반응 곡선 추출, HDRI 취합(assembly), 이미지 편집의 네 가지 과정으로 나뉜다. 영상 기반 조명을 위해 제작되는 HDRI는 360°×360°의 영역이 한 장의 이미지로 표현되어야 하기 때문에 이를 위해 반사율이 높은 크롬 볼(지름 약 6cm)을 중심으로 90° 간격으로 위치를 바꿔가며 노출을 달리한 시퀀스 파일을 두 번 반복하여 촬영한다. 정확한 결과물을 얻기 위해서는 특히 촬영 과정에서 사전 설정과 조건이 반드시 완벽하게 충족되어야 한다. 먼저 카메라 반응 곡선을 정확히 추출하기 위해 정확한 화이트밸런스(white balance)의 설정이 필요하며, 다음으로 노출의 최대, 최소 범위를 결정하고, 노출의 간격(서티스피드의 간격)을 정해야 한다. 적절한 노출의 범위는 장면 내에서 가장 어두운 부분이 노출이 가장 긴 이미지에서 식별되고, 가장 밝은 부분이 노출이 가장 짧은 이미지에서 식별 가능한 수준이다. 노출의 간격은 카메라 반응 곡선 추출이나 HDRI를 취합하는 과정에 영향을 미치므로 적절한 선택이 요구된다. 무엇보다 주의할 사항은 촬영 중에 카메라가 절대 움직여서는 안 되며, 가능하면 촬영 이미지 내에 아무런 움직임이 없어야 한다는 점이다. 촬영한 시퀀스 파일에서 카메라 반응 곡선을 추출하고 이를 바탕으로 각각의 시퀀스 파일을 HDRI 파일로 취합한다. 이렇게 되면 90° 간격으로 두 번 촬영하여 각각 취합한 2개의 HDRI가 생성되는데 최종 결과물은 그림 8과 같이 3D 컴퓨터그래픽 프로그램에서 영상 기반 조명 환경 맵으로 사용하기 위한 1장의 광원 집적구(light phrobe) 형식을 취하게

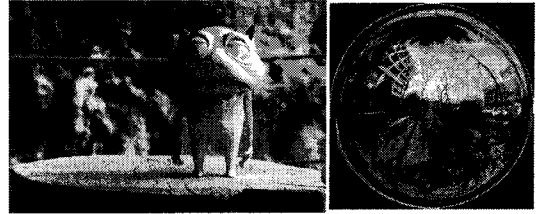


그림 8. 크롬 볼 다중 촬영 기법의 예시

된다[10-12].

4.2 파노라마 HDRI 제작

파노라마 영상이란 사람의 시계(視界, field of view), 즉 상하 75° 좌우 160°를 초과하는 넓은 종횡비(縱橫比, aspect ratio)를 가진 영상을 의미한다.²⁾ 디지털 이미지를 편집할 수 있는 기술이 대중화되면서 과거 아날로그 방식과 비교해 손쉽게 파노라마 영상을 제작할 수 있게 되었고, 광각의 범위를 넘어 360°에 이르는 전 방향성을 가진 이미지 제작도 가능하게 되었다. 이러한 영상은 특정 공간을 모든 방향에서 볼 수 있는 한 장의 이미지 파일로 제작됨으로써 그 공간에 대한 가상 체험이라는 개념으로 주로 사용되는데, 이는 크롬 볼 다중 노출 촬영을 통해 만들어지는 HDRI의 최종 형식인 광원 집적구와 그 특성이 정확하게 일치한다. 크롬 볼의 다중 노출 촬영을 통한 HDRI 제작은 우수한 품질의 사실적 렌더링 이미지를 얻기에는 충분하지만 기법상의 한계로 인해 고해상도의 HDRI 제작이 어렵다는 점에서 2K 이상의 고해상도가 요구되는 HD 방송이나 필름 작업에 사용되기에는 다소 부족하다. 따라서 이 연구에서는 크롬 볼 다중 촬영 기법의 한계를 보완하는 새로운 대안으로서 전방향성을 가진 파노라마 영상 제작 기법을 도입하였고 이를 다중 노출 촬영함으로써 초고해상도의 HDRI 제작이 가능하도록 하였다.

4.2.1 카메라 설정

카메라 위치를 선정할 때에는 가능하면 실사 배경과 합성될 컴퓨터그래픽 오브젝트가 동일 위치와 카메라를 가깝게 설치하는 것이 좋다. 여러 각도와 위치에서 렌더링을 수행해야 할 경우, 오브젝트가 동일 위치의 중심을 추측해서 주광의 방향을 일치시킬 수

2) http://cn.wikipedia.org/wiki/Panoramic_photography

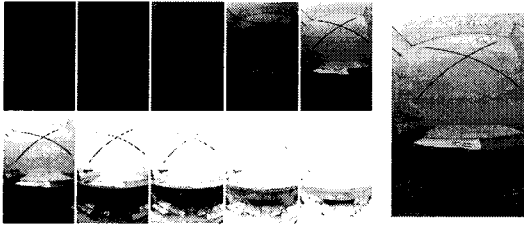


그림 9. 다중 노출 촬영의 예시

있도록 카메라 위치를 선정한다. 다음으로 삼각대를 고정시킨 후 카메라의 수평을 맞춰야 한다. HDR이 영상 기반 조명의 환경 맵으로 사용될 경우 이미지의 방향, 기울기 등이 조정 가능하긴 하나, 효과적인 스티칭 작업을 진행하기 위해 촬영 과정에서 가능하면 수평을 유지하여야 한다. 그림 9와 같이 무늬가 없는 벽 등이 촬영 대상에서 넓은 면적을 차지할 경우 이 또한 부정확한 스티칭의 결과를 낼 수 있으므로 조명에 영향을 주지 않는 범위 내에서 기준이 될 만한 표시를 미리 만들어 두면 효율적이다.

화이트밸런스는 결과물의 완성도에 큰 영향을 미치므로 반드시 촬영 전에 정확하게 설정해 주어야 한다. 특히 카메라 반응 곡선을 추출하는 과정에서 화이트밸런스가 맞지 않으면 픽셀 값이 부정확해질 수 있으므로 주의해야 한다. 일반적으로 그레이 카드가 사용되나, 이 실험에서는 Absolute WB NC 필터³⁾를 사용하여 정확도를 높였다.

4.2.2 노출 설정

노출 측정 결과 실험 조건의 적정 노출 값은 F/5.6 1/20sec이었고 이 값을 기준으로 노출 시간을 늘린 결과 F/5.6 16/10sec을 지나가면 제일 어두운 영역을 제외한 모든 영역을 육안으로 구분하기 힘든 상태가 되었고, 노출 값을 점차 줄여나가자 F/5.6 1/320sec 이후로는 장면의 제일 밝은 영역만을 구분할 수 있는 상태가 되었다. 따라서 조리개를 F/5.6으로 고정시킨 상태에서 셔터스피드 1/320sec부터 16/10sec까지를 전체 노출 범위로 정했으며, 노출 간격은 촬영 매수를 최소화할 목적으로 1스톱 간격으로 10장씩 촬영하였다.

3) 완전 투과식 화이트밸런스 필터. 두 장의 폴리글래스를 굴곡이 서로 엇갈리게 배열함으로써 투과하는 빛이 완전하게 혼합되어 그 특유의 색을 정확하게 렌즈에 전달되게 한다.

4.2.3 촬영

HDR을 제작하기 위한 다중 노출 촬영은 노출 값의 증감 이외에 일체의 변형이 없다는 것을 전제조건으로 한다. 그러나 삼각대에 고정된 상태일지라도 카메라의 미세한 움직임이 발생할 수 있으며 이는 시퀀스 이미지에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 다이얼을 돌려 노출을 변경하거나 셔터를 누르는 동작도 가능하면 카메라를 직접 조작하지 않고 리모컨 등을 사용하는 것이 좋다. 이 실험에서는 모든 카메라의 조작이 자동으로 이루어지는 시스템을 사용했기 때문에 카메라를 수동으로 조작하지 않고도 신속한 시퀀스 촬영을 진행할 수 있었다.

크롬 볼 촬영 기법에서 구의 형태로 왜곡된 반사 이미지를 한 번에 촬영하는 것과 달리, 파노라마 영상을 제작하기 위해서는 사용 렌즈에 맞는 비율로 전체 공간을 분할하여 촬영해야 한다. 이 실험에서는 캐논 15mm, 180° 화각의 어안 렌즈를 사용했으며, 35mm 필름과 센서의 크기가 같아서 어안 렌즈에 의한 영상을 모두 수용할 수 있는 캐논 EOS 5D를 선택하였다. 구체적인 촬영 방법으로는 지면과 수평 방향으로 40°씩 회전하면서 10장씩 촬영하고, +55° 방향으로 카메라를 기울인 후 60°씩 회전하며 다시 10장, -55° 방향으로 60°씩 회전하며 10장, 수직 90° 방향으로 카메라를 세워 10장씩 촬영하여 그림 10과 같이 총 220장의 시퀀스 이미지를 만들었다. 일반적인 파노라마 영상 스티칭 작업에서는 불필요한 픽셀의 영역을 지우고 다른 픽셀로 대체하는 것이 가능하지만 HDR이 픽셀 편집이 불가능하므로 카메라의 움직임

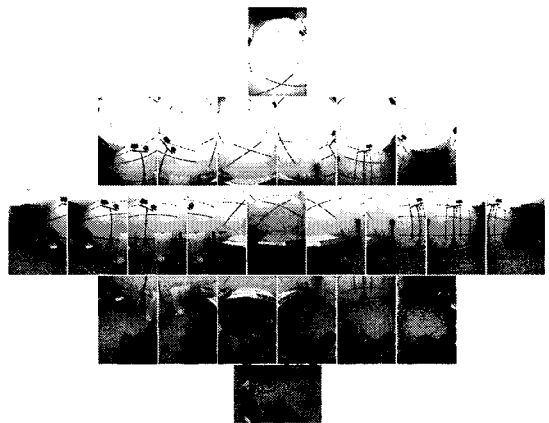


그림 10. 파노라마 촬영의 예시

을 제한하는 것 이외에도 일체의 움직이는 물체나 장면의 변화가 없는 조건을 철저히 유지해야 한다.

분할 촬영된 영상에는 서로 중복되는 영역이 적절히 포함되어 있는데, 이 중복 영역은 분할 촬영된 영상을 하나로 묶는 스티칭 과정에서 장면 연결의 기준이 된다. 화면 분할의 수를 최소화할 목적으로 어안 렌즈와 같은 초광각 렌즈를 사용하는 것이 일반적인데 이 경우 더 큰 영상의 왜곡이 발생하므로 노들 포인트 설정을 정확히 하여 영상 간의 중복 영역을 시차 없이 정확하게 확보하는 것이 무엇보다 중요하다[13].

4.2.4 노들 포인트

카메라를 삼각대에 고정시킨 상태에서 카메라를 돌리면서(pan) 삼각대 소켓을 중심으로 카메라가 회전하게 된다. 이 경우 스티칭의 기준이 되는 영상 간 중복되는 영역에서 원근감과 왜곡으로 인한 불일치가 발생되기 때문에 스티칭이 불가능해진다. 그러므로 렌즈를 통과하는 빛을 기준으로 하는 카메라의 새로운 회전축이 필요하게 되는데, 이것이 노들 포인트(nodal point)⁴⁾이다. 노들 포인트는 렌즈 내부에서 필름에 상이 맺히기 전, 렌즈를 통과한 빛이 교차하는 지점을 뜻한다. 파노라마 영상을 촬영할 때는 이 지점을 정확하게 측정하고, 이를 기준으로 카메라를 회전시켜야 일련의 사진을 연결하는 과정에서 시차(parallax)⁵⁾가 발생하지 않는다. 보조 기구 없이 노들 포인트를 설정하기란 대단히 까다로우며 최초 촬영 위치에서 노들 포인트를 설정했어도 촬영 위치가 바뀔 때마다 매번 오랜 시간을 들여 새로운 설정 값을 구해야 한다. 그래서 파노라믹 트라이포드 헤드(Panoramic Tripod Head)⁶⁾와 같은 보조 장비를 사

용하는 것이 정확도와 효율성을 높이는 데 큰 도움이 된다.

4.2.5 자동 촬영 시스템 개발

정해진 촬영 각도에 따라 카메라의 방향을 22번 변경하고 10단계의 노출을 바꾸기며 수동으로 220장의 촬영을 진행하게 되면 그 차례로도 고된 작업인데다가 카메라의 움직임을 최소화 하면서 동시에 빠른 촬영 시간을 확보하기가 대단히 어렵다. 따라서 이 연구를 위해서 카메라의 회전을 자동화해줄 하드웨어와 촬영 매수, 노출의 범위 등과 같은 모든 촬영 요소를 자동으로 제어해줄 수 있는 소프트웨어를 통합한 HDRI 촬영 자동화 시스템을 개발하였다. 개발이 완료된 소프트웨어⁷⁾와 달리 하드웨어는 아직 테스트 단계에 있기는 하나, 그림 11과 같이 현재까지 구현되는 소프트웨어의 카메라 자동 제어 기능만으로도 촬영 과정을 대폭 개선할 수 있었다. 이 시스템은 사전에 입력된 각도에 맞춰 노들 포인트를 기준으로 카메라를 회전시키며, 미리 설정된 조건에 맞춰 촬영을 자동으로 수행한다. 장착된 두 개의 스텝 모터는 사전에 입력된 각도에 맞춰 회전하며, 촬영이 진행되는 동안에는 회전을 멈춘 상태로 카메라를 고정시키고 촬영이 끝나면 다음 각도로 회전하기를 반복한다. 이때 카메라는 자동 회전과 연동해서 컴퓨터를 통해 미리 입력된 노출 범위, 촬영 횟수에 따라 자동으로 셔터스피드를 바꾸기며 촬영 및 저장을 진행한다. 이 시스템의 개발 덕분에 간단한 수치 입력만으로 신속 정확한 다중 노출 촬영을 수행할 수 있게 되었다.

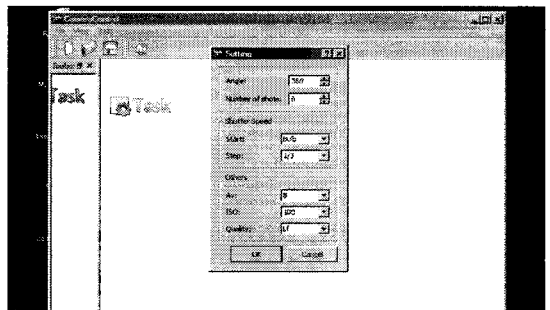


그림 11. 카메라 컨트롤 프로그램

4) 광학 분야에서 오랫동안 사용된 노들 포인트의 오류가 지적되면서 최근에는 entrance pupil이라는 새로운 축의 개념이 제시되고 있다.

5) 시차란 카메라의 시점을 변경함에 따라 전경과 후경의 물체 사이에 식별 가능한 차이가 발생하는 것을 말한다. 예를 들어 한 쪽 눈을 감고 적당한 거리에 있는 사물을 응시하면서 손가락을 그 물체와 겹치게 한 후, 감았던 눈을 뜨고 반대쪽 눈을 감으면 손가락 뒤에 있던 사물의 위치가 다르게 보인다. 이런 현상은 두 눈 사이의 거리만큼 시점이 이동함에 따라 발생하는 시차 때문에 나타나는 것이다. 파노라마 영상을 촬영할 때에는 중복되는 영역을 기준으로 몇 장의 사진을 하나로 엮어서 영상을 제작하기 때문에 시차의 문제가 발생하게 된다.

6) Rotopan EZ1516, 이홍상 제작.

7) 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 박상훈, 게임멀티미디어공학과 윤성민 제작.

4.3 스티칭(stitching)

촬영이 끝난 220장의 시퀀스 이미지는 먼저 촬영 각도를 기준으로 10장씩 분리, 22개의 폴더에 각각 저장되어 노출의 변화에 따라 정렬되었고, 공통된 카메라 반응 곡선에 따라 22개의 HDRI가 제작되었다. HDRI 제작에는 University of Southern California의 Graphics Labs에서 무료로 배포하고 있는 HDRShop이 사용되었다. 22장의 HDRI를 1장의 파노라마 영상으로 만드는 스티칭(stitching) 작업을 위해 Realviz 사(社)의 Stitcher를 사용하였는데, 최근 출시된 Stitcher Unlimited 5.6 버전에서는 HDRI 포맷을 자체 지원하기 때문에 정확한 촬영을 통해 선명한 픽셀의 HDRI를 제작할 경우 파노라마 HDRI의 스티칭 과정은 비교적 수월하게 진행될 수 있다. 그림 12는 이 실험을 위해 최종 완성된 파노라마 HDRI인데 해상도가 5412 × 2706에 이르는 초고해상도이다. 육안으로도 구분할 수 있을 만큼 우수한 화질을 나타내고 있으며 실험 결과에 따르면 환경조명으로서의 품질도 대단히 우수한 것으로 나타났다.

4.4 영상 기반 렌더링

영상 기반 렌더링은 3D 컴퓨터그래픽에서 사용되는 광역 조명(Global Illumination)⁸⁾의 한 기법으로, 실제 조명 환경을 촬영한 이미지 파일이 조명으로서 사용되어 사실적인 렌더링 효과를 낸다. 즉 장면 내의 한 지점에서 볼 때 전 방향에서 환경 맵의 모든 픽셀에서 나오는 고유의 밝기 정보를 받아들일 수 있도록 3차원 공간을 에워싸는 가상의 구를 만들고, HDRI 포맷처럼 동적 범위가 넓은 이미지를 맵핑하

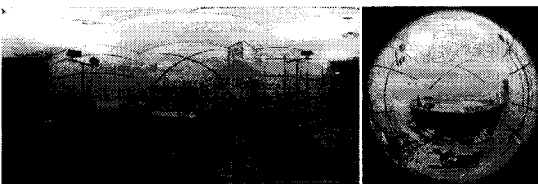


그림 12. 최종 완성된 파노라마 HDRI의 예시

8) 광역 조명은 3D 컴퓨터그래픽스 분야에서 사용되는 렌더링 알고리즘으로, 장면에서 주 조명의 직사광(local light)뿐만 아니라 주변 사물에 의한 반사광(indirect light)까지 모두 계산해내어 사실에 가까운 조명이 연출되게 한다.



그림 13. 영상 기반 렌더링의 결과물

여 환경 맵이 조명의 역할을 하도록 한다. 이때 조명의 완성도를 높이거나 연출자의 의도에 따라 3D 컴퓨터 그래픽 프로그램에서 제공하는 자체 디지털 조명이 추가되기도 한다[6].

이 연구에서 제안하는 전체 프로덕션의 마지막 단계라고 할 수 있는 영상 기반 렌더링 과정은, 미니어처 세트를 촬영했던 조명 환경을 그대로 옮겨 놓은 HDRI를 디지털 조명으로서 사용해서 미니어처 세트를 촬영한 배경 시퀀스 이미지와의 이질감이 전혀 없는 캐릭터를 그려내는 작업이라 할 수 있다. 일반적으로 GI 렌더링 방식은 복잡한 조명 설정과 까다로운 렌더링 옵션 조정이 선행되어야 만족할 만한 결과를 얻을 수 있어서 오랜 경험과 고도로 단련된 전문성이 필요한 과정이라 할 수 있다. 그러나 HDRI를 사용한 영상 기반 렌더링 기법의 경우 합성에 필요한 조명 설정 값을 실사 촬영 단계에서 일련의 과정을 거쳐 HDRI 파일의 형태로 저장해 놓은 상태이기 때문에 간단한 옵션 조정과 몇 번의 테스트 렌더링을 통한 최적화 과정만 거치는 것으로 조명 및 렌더링 설정 과정이 쉽게 완료되는 장점을 가진다. 이러한 방식은 실사 촬영을 위한 전통적인 방식의 조명 설치 작업과 컴퓨터그래픽을 위한 별도의 디지털 조명 설정으로 두 번에 나뉘어 진행되던 기존의 합성 작업과 비교해서 대단히 효율적인 방식이라 할 수 있다. 게다가 그림 13을 보면 알 수 있듯이 최종 렌더링 이미지의 품질 또한 매우 우수하다. 초고해상도의 파노라마 HDRI로부터 나오는 조명 정보는 세밀한 반사광이나 색온도까지 정확히 표현해내는 등, 배경 시퀀스 이미지와의 합성 과정에서 일체의 추가 보정 작업조차 필요 없을 만큼 우수한 결과물을 만들어낸다[14-16].

5. 결 론

표 1은 TV시리즈 애니메이션 <도라독스, Dora Dogs> 시즌 2의 제작 과정에서 실제로 소요되었던

제작 인력 및 작업 기간을 정리한 것이다. 이 표는 클레이 애니메이션 제작 공정의 효율성을 나타내는 기준을 정하기 위한 목적으로 정리되었으므로, 실제 인력 구성 및 제작 기간에서 나타나는 실무적 특성은 명시되어 있지 않다. 사실 전체 26편을 정해진 작업 기간(약 12개월)에 제작하게 되면 세트나 소품 제작 인력은 전반부에만 집중 투입되고, 두세 개의 촬영팀이 동시에 운영되는 등의 특성이 나타난다. 그러나 이 표에서는 소요된 전체 인력과 작업 기간의 평균을 계산하여 1편당 소요된 인력 구성 및 제작 기간을 산출하였다. 측정 결과 10분 분량의 TV 시리즈 애니메이션 1편을 제작하는 데 약 5.5명의 제작 인원을 한 팀으로 구성했을 경우 29일의 제작 기간이 소요되었다.

표 2는 이 연구를 진행하며 소요된 제작 인력 및 연구 기간을 나타낸다. 이 역시 실제 연구에 소요된 인력 및 기간과는 다소 차이가 있으나, 기존의 방식과 새로운 제작 공정 간의 직접적인 비교를 위해서 표 1과 같이 5.5명을 투입한 것으로 환산하여 인력을 재구성하였으며, 같은 규모의 제작 인력을 투입했을 때 한 편을 제작하는 데 소요되는 기간을 산정하여 새 공정이 가지는 경제성을 측정하였다.

단순 비교를 통해서도 알 수 있듯이 새로운 공정을 따를 경우 기존 공정보다 약 31%의 제작 기간이

단축되었다. 즉 제작비 절감의 효과를 거둘 수 있다. 그러나 클레이 캐릭터의 경우 캐릭터 애니메이션이 진행되는 과정 내내 지속적인 유지 보수 및 재제작이 필요하기 때문에 전체 제작 기간 동안 편당 한 명씩 2일의 제작 기간이 지속적으로 필요한 반면, 3D 디지털 클레이 캐릭터의 경우 한 번 캐릭터 제작이 끝나면 더 이상의 추가 작업이 필요하지 않으므로 편당 1명, 4일로 계산된 인력 투입량을 전체 26편에 대해 계산하면 40% 이상 감소하기 때문에 실제 필요한 전체 제작 기간 역시 520일에서 약 456일로 대폭 감소하게 된다(전체 등장 캐릭터 10명 기준). 게다가 3D 컴퓨터그래픽 작업의 특성상 데이터의 재활용 여지가 상당히 높기 때문에 단순한 수치로 나타내기 힘든 제작비 상승효과가 상당할 것으로 예상된다.

한편, 앞서 이 논문의 서두에서 언급한 바와 같이 스톱모션을 제작하는 전문가들이 컴퓨터그래픽의 사용을 외면해 온 이유는 3D 컴퓨터그래픽의 사용이 스톱모션 기법이 가지는 시각적 특성을 저해하는 요소로 작용하는 것을 염려했기 때문이다. 이 연구에서 제시하는 새로운 제작 공정이 아무리 큰 경제적 효과를 장담한다 한들 3D 컴퓨터그래픽 특유의 차가운 인공미를 완전히 제어하지 못하면 스톱모션 제작자들로부터 외면 받게 될 것은 분명하다. 따라서 이 연구를 통해 새로운 제작 공정을 개발하는 데에서 효율성 못지않게 작품의 완성도를 최우선 목표로 삼고 렌더링 이미지의 화질 개선을 위해 많은 노력을 기울였다. 일반적인 크롬볼 촬영 기법 대신 초고해상도의 파노라마 HDRI를 제작하고자 했던 점이나, 디스플레이스먼트 맵의 사용, GI 렌더링 방식 도입 등이 모두 이러한 맥락에서 공정에 포함되었다. 이와 같은 첨단 기술의 사용은 하드웨어의 성능이 크게 발전한 상황에서도 렌더링 시간 증가와 같이 효율성 면에서 큰 손실을 가져오는 것이 사실이다. 그러나 보다 나은 렌더링 효과를 얻기 위해 적극 도입되었으며, 그 결과 이 연구의 최종 결과라 할 수 있는 <도라독스, Dora Dogs> 시즌 3의 파일럿 필름은 질적으로 대단히 우수한 영상을 선보이게 되었다. 실제로 파일럿 필름을 시청한 사람들은 대부분 컴퓨터그래픽을 사용한 부분을 전혀 구분하지 못했으며, 심지어 컴퓨터그래픽이나 스톱모션 관련 분야의 전문가들조차 디지털 클레이 캐릭터가 사용된 사실을 발견하지 못하는 경우가 대부분이었다. 사실적인 정도를 객관적인

표 1. 기존 공정에 따른 소요 인력 및 기간

작업 내용	소요 인력(명)	소요 기간(일)
세트 및 소품 제작	2	4
클레이 캐릭터 제작	1	2
애니메이션 및 촬영	1	22
조명	0.5	-
편집	1	1
편당 소요 인력 및 기간	5.5	29

표 2. 새로운 공정에 따른 소요 인력 및 시간

작업 내용	소요 인력(명)	소요 기간(일)
세트 및 소품 제작	2	4
조명 및 촬영	0.5	3
3D 캐릭터 제작	1	4
애니메이션	1	8
편집 및 합성	1	1
편당 소요 인력 및 기간	5.5	20

수치로 나타내지는 못했지만 도라독스 시리즈의 제작사인 (주)네오테크놀로지 측에서 파일럿 필름을 검토한 결과 시즌 3의 제작 기법으로 본 연구에서 제시하는 공정을 도입하기로 결정한 사실은 본 영상의 우수성을 설명해 준다.

본 공정에서 가장 취약한 부분이라면 파노라마 영상 촬영 과정을 마친 후 두세 가지의 상용 프로그램을 사용한 까다로운 수작업을 거쳐야 비로소 파노라마 HDRI를 얻게 된다는 점인데, 이를 개선하기 위해 자동 촬영 시스템과 연동하는 자동 HDRI 생성 및 자동 스티칭 소프트웨어의 개발이 필요하다. 본 논문에는 포함되지 않았으나 현재 촬영 과정부터 한 장의 파노라마 HDRI를 생성하기까지 완전 자동화를 목표로 관련 소프트웨어가 개발되고 있으며 조만간 파노라마 HDRI 자동 촬영 시스템에 탑재될 것으로 예상된다.

카메라 워킹 또한 향후 추가 연구가 필요한 부분이다. 스톱모션 애니메이션의 제작 방식에 따르면 캐릭터와 마찬가지로 카메라 역시 애니메이션의 대상에 포함되기 때문에 정교한 카메라 움직임을 구현하려면 컴퓨터를 통한 자동 제어 시스템이 필요하다. 해외 전문 제작사의 경우 카메라 모션 컨트롤 시스템을 사용하며 이와 동일한 역할을 하는 장비가 국내의 영화 촬영에서 종종 사용되고 있다. 이러한 장비는 프레임별로 움직임을 제어할 수 있는 기능을 추가하여야만 스톱모션 제작 공정에 도입될 수 있으며, 특히 본 연구에 도입되기 위해서는 3D 컴퓨터그래픽 프로그램과 카메라의 움직임을 연동시킬 수 있는 자동 트래킹 기능 또한 갖추어야 할 것으로 보이는데, 앞으로 이에 관한 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Anima Mundi and Ed. Julius Wiedemann, *Animation Now*, Taschen GmbH, Hohenzollernring, Köln, 2007.
- [2] Peter Lord and Brian Sibley, *Creating 3-D Animation : the Aardman Book of filmmaking*, Focal Press, St. Louis, Missouri, 1998.
- [3] Susannah Shaw, *Stop Motion Craft Skills for Model Animation*, Focal Press, St. Louis, Missouri, 2004.
- [4] Steve Roberts, *Character Animation : 2D Skills for Better 3D*, Focal Press, St. Louis, Missouri, 2007.
- [5] Andrew Whitehurst, "Depth Map Based Ambient Occlusion Lighting," <http://www.andrew-whitehurst.net/amb_occlude.html>, 2004.
- [6] Isaac Victor Kerlow, *The Art of 3-D Computer Animation and Effects*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2003.
- [7] 최태호, 윤경현, "사실적인 영상기반 렌더링을 위한 Diffuse Map 생성," 한국멀티미디어학회 2003년도 춘계학술발표대회논문집, pp. 512-515, 2003.
- [8] Jeremy Birn, *Digital Lighting & Rendering*, New Riders Press, Berkeley, Calif., 2000.
- [9] Owen Demers, *Digital Texturing and Painting*, New Riders Press, Berkeley, Calif., 2002.
- [10] Erik Reinhard and Greg Ward, *High Dynamic Range Imaging*, Morgan Kaufmann, San Francisco, Calif., 2005.
- [11] C. Manders, C. Aimone, and S. Mann, "Camera Response Function Recovery from Different Illuminations of Identical Subject Matter," *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Image Processing*, Vol.5, pp. 2965-2968, 2004.
- [12] 김성예, 표순형, 최병태, "High Dynamic Range Image 기술 동향," 주간기술동향, 1065호, pp. 1-15, 2004.
- [13] Arun Krishnan and Narendra Ahuja, "Panoramic Image Acquisition," *Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 379-384, 1996.
- [14] 홍용표, "디지털 3D 애니메이션에서의 광역조명(Global Illumination) 구현에 관한 연구," 석사학위 논문, 세종대학교 영상대학원, 2006.
- [15] 최태호, "환경맵을 이용한 영상기반 라이팅과 역 렌더링," 석사학위 논문, 중앙대학교 대학원, 2004.

[16] 강우영, “HDRI를 이용한 sky model 구현에 대한 연구,” 제원논총, 제9집, pp. 149-162, 2004.



김 정 호

2002년 5월 California Institute of the Arts BFA

2004년 5월 California Institute of the Arts MFA

2004년 9월 동서대학교 디지털콘텐츠학부 전임강사

2006년 2월 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 조교수

관심분야 : 애니메이션 연출, 스톱모션 애니메이션, 3D 컴퓨터그래픽 디자인 등