

技術論文

초대형 해석 결과의 분석을 위한 고해상도 타일 가시화 시스템 개발

김홍성*, 양진오*, 조진연**

High-Resolution Tiled Display System
for Visualization of Large-scale Analysis Data

Hong Seong Kim*, Jin Oh Yang* and Jin Yeon Cho**

ABSTRACT

In this paper, a tiled display system is developed to get a high-resolution image in visualization of large-scale structural analysis data with low-resolution display devices and low-cost cluster computer system. Concerning the hardware system, some of the crucial points are investigated, and a new beam-projector positioner is designed and manufactured to resolve the keystone phenomena which result in distorted image. In the development of tiled display software, Qt and OpenGL are utilized for GUI and rendering, respectively. To obtain the entire tiled image, LAM-MPI is utilized to synchronize the several sub-images produced from each cluster computer node.

초 록

본 논문에서는 저가의 클러스터 컴퓨터 시스템과 저해상도 영상장비들을 이용하여 초대형 해석 데이터를 정밀하게 분석할 수 있는 고해상도 타일 가시화 시스템을 개발하였다. 타일 가시화 하드웨어 구축 시 유의점을 고찰하고, 화면왜곡 현상을 제거할 수 있는 빔프로젝터 위치조절장치를 설계/제작하였다. 타일 가시화 소프트웨어 개발에서 그래픽 사용자 인터페이스와 렌더링을 위해서는 Qt와 OpenGL 라이브러리를 이용하였다. 또한 LAM-MPI 라이브러리를 통해 각각의 클러스터 컴퓨터 노드로부터 얻게 되는 조각적인 화면들을 전체의 한 화면으로 동기화시켜 왜곡 없는 전체 타일 영상을 만들도록 하였다.

Key Word : Tiled Display (타일 가시화), Large-scale Analysis Data (초대형 해석 데이터), Multi-projector (다중 프로젝터), High-Resolution (고해상도)

1. 서 론

수치해석 알고리즘의 발전과 슈퍼컴퓨팅 기술의 발달로 항공우주 분야를 비롯한 각종 과학기술 분야에서 초대형 정밀 해석이 가능하게 되었으며, 현재 초정밀 해석 기술을 선점하기 위해서 세계 각국의 경쟁이 치열해지고 있다. 미국에서

는 Salinas[1]와 같은 초정밀 진동해석용 프로그램을 개발하고 있으며, 일본에서도 GeoFEM[2]과 같은 초대형 구조해석 프로그램을 개발하였다.

그러나 일반적인 해상도를 가지는 가시화 프로그램을 이용하여 초정밀 해석으로부터 얻게 되는 초대형 데이터를 효과적으로 분석하기는 힘들며, 이에 고해상도 가시화 시스템이 필요하다.

미국의 경우 일찍부터 고해상도 가시화 연구를 시작했으며, NASA AMES 연구소에서는 Gel이라 명명된 툴킷을 이용하여 대형 전산유체역학 데이터를 가시화 하였고, 에너지성의 ASCI (Accelerated Strategic Computing Initiative) 프

† 2005년 12월 23일 접수 ~ 2006년 5월 2일 심사완료

* 정회원, 인하대학교 항공우주공학과 대학원

** 정회원, 인하대학교 항공우주공학과

연락처, E-mail : cjy@inha.ac.kr

인천광역시 남구 용현동 253번지

로그래밍 지원 하에 고해상도 가시화를 위해 스탠포드 대학에서는 wireGL[3], MIT 공대에서는 pV3[4]를 개발하였다.

클러스터를 기반으로 하는 타일 가시화 시스템은 저해상도의 가시화 장치를 이용하여 고해상도의 결과를 얻어낼 수 있기 때문에 초대형 데이터들을 가시화하는데 아주 효과적으로 이용할 수가 있다. 본 연구에서는 PC 클러스터와 대형 스크린, 저가의 빔프로젝터를 이용하여 타일 가시화 시스템을 구축하였으며, 하드웨어 시스템 구축 시 발생할 수 있는 문제점을 고찰하고 이에 대한 해결방안을 제시하였다. 또한 프로토타입 타일 가시화 소프트웨어를 개발하고 향후 발전 방향을 제시하였다.

II. 하드웨어 시스템 구축

2.1 타일 가시화 시스템의 구성

본 연구에서는 타일 가시화를 위해 Fig. 1의 좌측에 도시한 후면 투사방식의 하드타입 스크린을 이용하였다. 영상을 스크린 뒤에서 투사하는 후면 투사방식은 가시화 시스템의 밀폐가 가능하고, 시야 공간의 제약을 받지 않는 장점이 있다. 그리고 하드타입 스크린은 막 형태의 소프트타입 스크린에 비해 이동 편의성 면에서는 떨어지지만, 견고성 면에서 월등한 장점을 가지고 있어 본 시스템과 같은 연구목적 타일 가시화 시스템에 적합하다. 스크린 밝기(gain)는 표준재질에 대한 상대적인 반사율을 말하는데, 높을수록 밝은 영상을 가지며, 1 이상의 값을 가지면 빛을 좁은 영역으로 집중시키는 경향이 있다. 본 연구에서 사용한 스크린의 밝기는 1.5 gain으로 연구실과 같은 밀폐된 공간에서 밝은 영상을 얻을 수 있는 장점이 있지만, 빔프로젝터에서 나오는 빛의 중앙부분을 기준으로 외부로 멀어질 수록 약간의 명암차이를 가져오는 단점도 있다. 본 연구에서 구축한 타일 가시화 시스템에서 빔프로젝터 하나

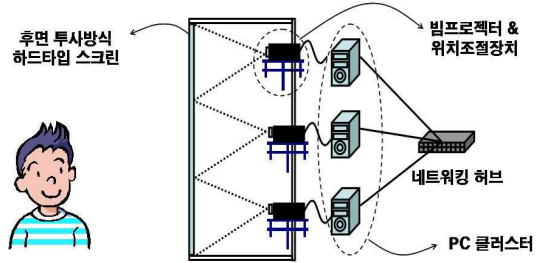


Fig. 2. 타일 가시화 시스템 하드웨어 구성도

Table 1. 하드웨어 구성 장비

구 성	제 원
빔프로젝터	품 명: PLUS U5-132 해상도: 1024×768 밝 기: 2000 ANSI Lumens
위치 조절장치	6 자유도 조절 가능
스크린	품명: Hard Rear Projection Screen 밝기: 1.5 (gain) 크기: 146" 두께: 3/8" (9.525mm)
지지구조물	재료: 40mm×40mm 알루미늄 프로파일 크기: 3410mm×2240mm×1450mm
클러스터	Intel P4 2.8GHz CPU 탑재 (16node)

가 만들어 내는 크기는 43인치이며 최대 가로 4개, 세로 3개의 화면을 만들 수 있으며, 전체로는 최대 146인치 크기의 화면을 만들 수 있고, 해상도의 경우 각 타일에서 1024×768픽셀을 사용할 때 4096×2304픽셀의 영상을 만들 수 있다.

Fig. 2에는 후면투사방식 스크린, 클러스터, 빔프로젝터, 위치 조절대로 이루어진 하드웨어 시스템 구성도를 도시하였고, Table 1에는 본 연구에 사용된 장비들의 제원을 표기하였다.

대형 하드타입 스크린과 빔프로젝터 및 위치조절장치 등을 지지하기 위해 Fig. 1 좌측에 도시한 것처럼 40mm×40mm 알루미늄 프로파일을 사용하였고, 3410mm×2240mm×1450mm 크기를 가진다. 시스템에 사용된 저가의 PLUS U5-132 빔프로젝터는 기본 해상도 1024×768, 기본 밝기 2000 ANSI Lumens, 명암비 2000:1을 가진다. Fig. 1 우측에 도시한 타일화면별 렌더링을 위해 사용된 가시화용 PC 클러스터는 저가의 가격으로 손쉽게 구입할 수 있는 Intel P4 2.8GHz CPU와 nVidia GeForce FX 5700 LE 칩셋의 그래픽 카드를 장착하고 있다.



Fig. 1. 후면 투사방식 스크린과 PC 클러스터

Table 2. 타일 가시화용 클러스터 제원

구 성	제 원
C P U	Intel P4 2.8 GHz C
그래픽 칩셋	nVidia GeForce FX 5700
메모리	1 GByte / node
네트워크	1 GBit LAN Card
스위칭 허브	1GBit HUB 1개

2.2. 키스톤(keystone)과 위치조절장치

컴퓨터에서 렌더링하여 생성된 영상이 비록 정상적이더라도 최종적으로 상이 맺히는 스크린에 잘못 투사된다면 타일 가시화를 통해 온전한 영상을 얻을 수 없다.

빔프로젝터에서 투사되는 빛이 스크린에 직각으로 투사되지 않으면 Fig. 3의 왼쪽에 도시한 영상처럼 영상이 직사각형 모양이 아닌 사다리꼴 모양으로 왜곡되어 나타나며, 이러한 영상을 조합할 때 투사된 영상이 접하는 영역에서 빈 부분이나 서로 중첩된 부분이 발생하게 된다. 이와 같이 사다리꼴 모양의 왜곡된 화면이 나타나는 현상을 키스톤이라 한다.

여러 가지 경우 발생할 수 있는 키스톤을 모두 제거하기 위해서는 6자유도를 가진 빔프로젝터 위치조절장치가 필요하다. 기존의 연구[5, 6]에서 사용된 위치조절장치는 Fig. 4와 같이 각 자유도의 운동이 서로 간섭을 일으켜 키스톤을 제거하

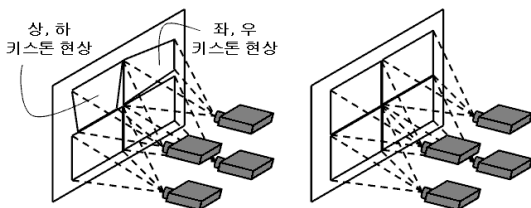


Fig. 3. 잘못된 투사(좌), 보정된 투사(우)

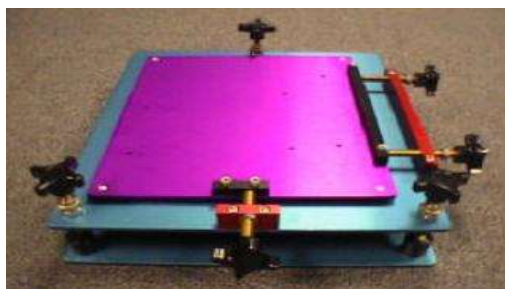


Fig. 4. 기존의 빔프로젝터 위치조절장치

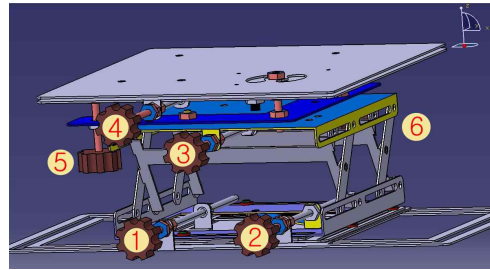


Fig. 5. 빔프로젝터 위치조절장치 설계도



Fig. 6. 빔프로젝터 위치조절장치 (정면)

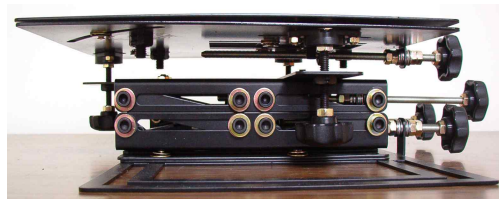


Fig. 7. 빔프로젝터 위치조절장치 (측면)

기 위한 조절이 쉽지 않고, 또한 오래 걸리는 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 본 연구에서는 Fig. 5, 6, 7에 도시한 바와 같이 6자유도(①전후, ②좌우, ③상하, ④yaw, ⑤roll, ⑥pitch)간의 간섭을 최소화할 수 있는 위치 조절장치를 설계/제작하였다. 빔프로젝터 렌즈의 중심에 위치한 축은 roll, pitch, yaw의 축이 되도록 설계하여 각각의 운동이 최대한 서로 간섭하지 않게 하였으며, 이를 통해 조정의 편의성을 극대화하였다. 그리고 Fig. 8에 도시한 베어링들을 각 판 사이에 삽입하여 마찰력을 줄여 판의 움직임을 원활하게 하였다. 또한 조절 손잡이의 길이를 다르게 설계하여 손으로 조절하는데 불편함을 최소화하였다. Fig. 9에는 위치조절장치에 고정된 빔프로젝터의 모습을 도시하였다.

Fig. 10에 도시한 바와 같이 빔프로젝터에서

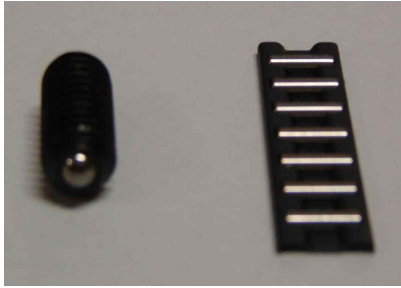


Fig. 8. 마찰을 줄이기 위한 베어링



Fig. 9. 위치조절장치에 고정된 빔프로젝터

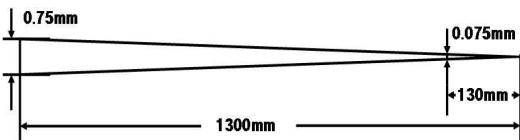


Fig. 10. 각도 조절장치의 정밀도

스크린까지의 거리가 1300mm이고, 빔프로젝터 렌즈의 축을 중심으로 각도를 조절하는 부분까지의 거리가 130mm이다. 스크린에 나타난 픽셀 하나의 가로 길이가 약 0.75mm이므로 픽셀 하나를 정확하게 맞추기 위해서는 0.075mm보다 작은 크기를 조절할 수 있는 정밀한 장치가 필요하다. 설계한 위치조절장치의 나사산 길이가 1mm이므로 조절 손잡이를 10° 돌리면 약 0.03mm를 조절할 수 있다. 그러므로 이 장치는 영상들이 접하는 부분에서 겹치거나 어긋나는 부분들을 정확하게 조절하는데 필요한 정밀도를 만족하고, 이로써 뒤틀린 영상을 바로잡을 수 있다.

III. 타일 가시화 소프트웨어

3.1 개발된 소프트웨어의 구성

본 연구에서 개발된 타일 가시화 소프트웨어는

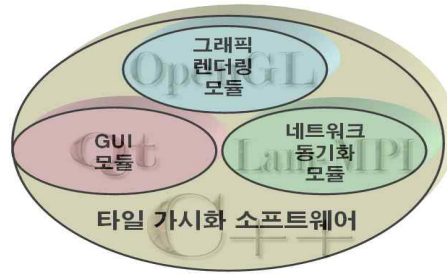


Fig. 11. 타일 가시화 소프트웨어 구성

Fig. 11에 도시한 바와 같이 크게 그래픽 사용자 환경(GUI), 그래픽 렌더링, 네트워킹 부분으로 나뉘어져 있다. GUI 모듈은 Qt 3.1.1 라이브러리를 이용하였다. 또한 프로그램 개발 시 마우스나 탭 장치와 같은 도구를 이용하여 모델을 쉽게 다룰 수 있으며 체계적인 GUI 환경을 구축할 수 있다. 그래픽 렌더링 모듈은 OpenGL(Mesa) 라이브러리를 이용하여 개발되었으며, OpenGL은 대부분의 그래픽 칩에서 지원하는 라이브러리로서 Qt와 함께 다양한 운영체제에서 사용될 수 있다는 장점이 있다. PC 클러스터 가시화 노드에서 만들어진 각각의 부분적인 타일 화면들을 동기화시켜 전체 화면에 조합된 이미지를 만들기 위한 네트워킹 모듈에는 LAM-MPI를 이용하였다.

3.2 투영 및 관측 영역

컴퓨터 그래픽스에서는 일반적으로 동차좌표계 [7]를 이용하여 물체를 평행이동, 회전, 축소/확대한다. 3차원 기하객체 데이터들을 화면에 가시화할 때도 이러한 동차좌표계를 이용한 4×4행렬 연산을 통해 최종적인 2차원 영상을 얻게 되는데, 이 과정이 바로 투영이다.

투영에는 직교 투영과 원근 투영이 있으며, 직교 투영은 Fig. 12에 도시한 바와 같이 실제 물체가 투영면에 투영될 때 관측자의 시선과 나란하게 상이 맺히기 때문에 관측자의 눈에서 멀리 떨어진 물체를 작게 나타내지 않는 방법이다. 원근 투영은 Fig. 13에 도시한 바와 같이 물체가 투영면에 투영될 때 관측자의 눈을 향해 상이 맺히므로 관측자의 눈에서 멀리 있는 물체를 작게 표현하여 현실감을 더할 수 있는 투영방법이다. 그러나 원근 투영을 이용한 타일 가시화시에는 각각의 타일마다 서로 다른 관측 영역을 필요로 하기 때문에 타일 가시화 소프트웨어를 개발함에 있어 직교 투영방법과 달리 비대칭 관측 영역에 대한 고려가 필요하게 된다.

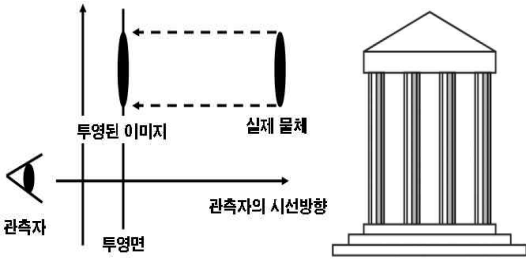


Fig. 12. 직교 투영 (orthographic projection)

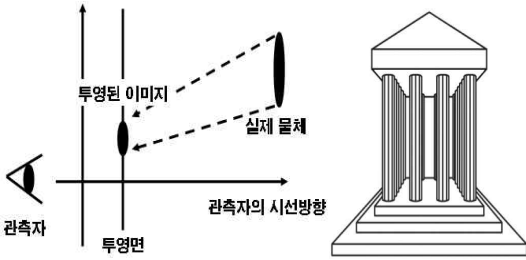


Fig. 13. 원근 투영 (perspective projection)

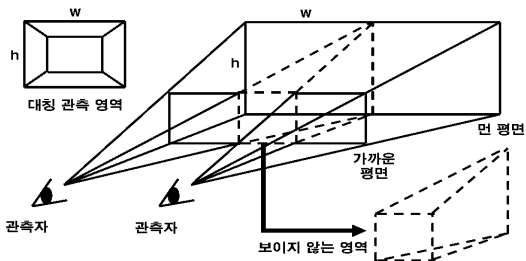


Fig. 14. 대칭 관측 영역

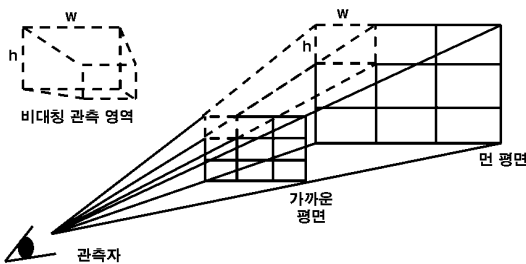


Fig. 15. 비대칭 관측 영역

관측 영역은 3차원 공간 중에서 최종적으로 화면에 나타나는 영역을 일컬으며, PC 클러스터를 기반으로 하는 타일 가시화에서는 컴퓨터마다 각각 독립적인 그래픽 렌더링을 수행하기 때문에 서로 다른 관측 영역을 설정해야 한다. 그러나 일반적인 원근 투영의 대칭 관측 영역을 이용하

면 Fig. 14에 도시한 바와 같이 직교 투영의 직육면체 관측영역과는 달리 점선부분처럼 화면에 보이지 않는 영역이 존재하여 최종적인 영상에 불연속 부분이 존재하게 된다. 또한 서로 다른 곳에서 관측한 물체를 렌더링하기 때문에 왜곡된 영상으로 보일 수도 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 Fig. 15에 도시한 바와 같이 각 컴퓨터마다 서로 다른 비대칭 관측 영역을 정의하는 모듈을 구현한 후 정의된 비대칭 관측 영역을 화면에 나타내기 위해 OpenGL의 glFrustum 함수를 이용하였다. 이러한 과정을 통해 한 시점에서 관측한 전체 타일 영상을 얻을 수 있도록 하였다. 비대칭 관측 영역은 여섯 개(left, right, bottom, top, near, far)의 인자로 구성되며, 그래픽 파이프라인 첫 응용단계에서 정규 시야 영역으로 변환된다.

3.3 네트워킹 및 동기화

타일 가시화에서는 가시화 클러스터 노드마다 독립적인 렌더링 파이프라인을 가지고 있기 때문

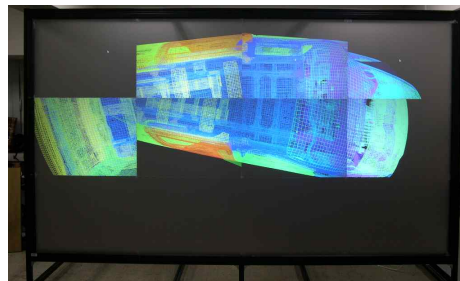


Fig. 16. 비동기화 가시화 영상 (30만 요소)

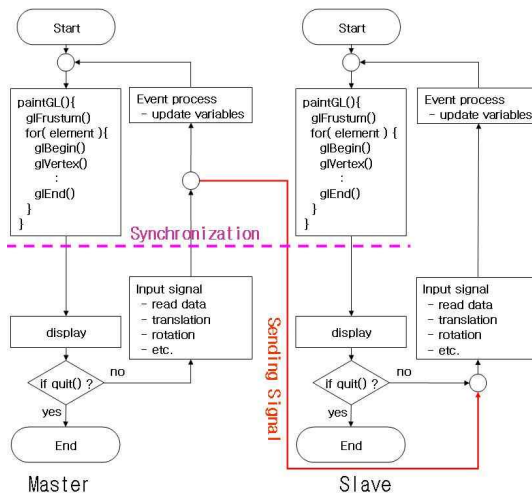


Fig. 17. 각 노드 동기화 부분

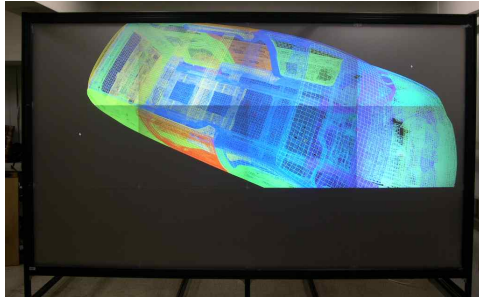


Fig. 18. 동기화된 가시화 영상 (30만 요소)

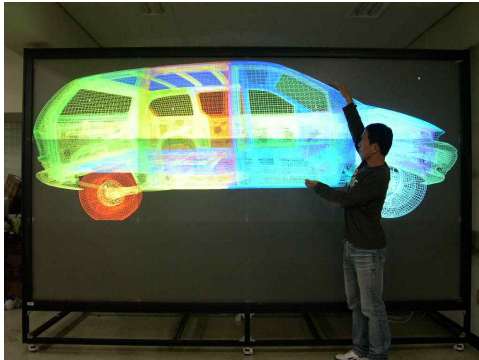


Fig. 19. 유한요소 모델 타일 가시화 영상

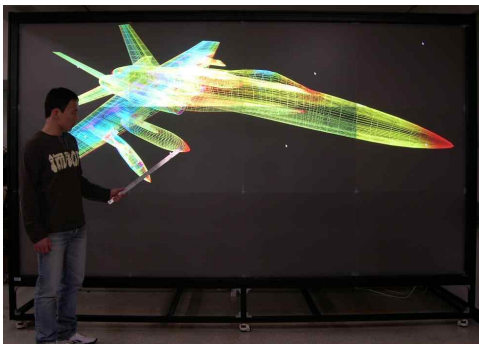


Fig. 20. CFD 데이터 타일 가시화 영상

에 렌더링 속도가 다를 수 있다. 따라서 렌더링 된 이미지를 조합함에 있어 동기화를 성공적으로 수행하지 않으면 온전한 조합영상을 얻을 수 없게 된다. 만일 움직이는 물체를 가시화하고자 할 때 컴퓨터 마다 렌더링 속도가 다르다면, 전체 화면에는 각기 다른 시간에서의 화면들이 공존하게 되고 결국 어긋난 시간의 타일 가시화 조합영상을 얻게 되어 결과를 분석하는데 어려움이 있을 것이다.

Fig. 16은 동기화가 적용되지 않은 가시화 프

로그램을 이용하여 회전하고 있는 영상을 순간 촬영한 사진이며, 이러한 비동기화 현상은 물체의 데이터 량이 많으면 많을수록 각 컴퓨터 노드에서 수행하는 렌더링 시간의 차이가 크기 때문에 확연히 나타나게 된다.

본 연구에서는 LAM- MPI를 이용하여 그래픽 렌더링부분 중에서 최종적인 색상정보를 가지는 프레임 버퍼를 영상장치로 보내기 직전에 가시화 컴퓨터 노드들을 동기화하여 이러한 시간차이를 해결하고 어긋난 영상을 바로잡았다. Fig. 18은 비동기화 영상을 촬영할 때와 같은 방법으로 회전하고 있는 모델을 순간 촬영한 사진이며, 완벽하게 동기화된 영상을 볼 수 있다.

Fig. 19, 20에는 하드웨어 구축 시 문제가 되었던 키스톤 현상을 제거하고, 비대칭 관측영역 설정과 동기화를 적용한 타일 가시화 소프트웨어를 통해서 유한요소와 CFD 데이터를 이용하여 정상적으로 조합된 타일 가시화 영상을 도시하였다.

3.4 타일 가시화의 향후 발전 방향

본 연구에서 개발한 타일 가시화 소프트웨어는 Fig. 21에 도시한 바와 같이 각 컴퓨터 노드들이 가시화하려는 객체의 모든 데이터를 가지고 렌더링을 수행하게 된다. 각 노드는 하나의 타일 화면을 담당하게 되고 Fig. 22와 같이 타일과 클러스터 컴퓨터 노드를 (2개, 2개), (4개, 4개) 등으로 동일하게 증가시킴에 따라서 해상도를 2배, 4배씩 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

그러나 비록 컴퓨터 노드의 수가 증가하더라도 각 노드들이 전체 데이터를 이용하여 렌더링을 수행하므로 속도 향상에 있어서는 큰 효율을 얻을 수 없다. Fig. 23에 도시한 것처럼 유표면체 요소 백만 개를 가지는 모델을 이용하여 타일의 개

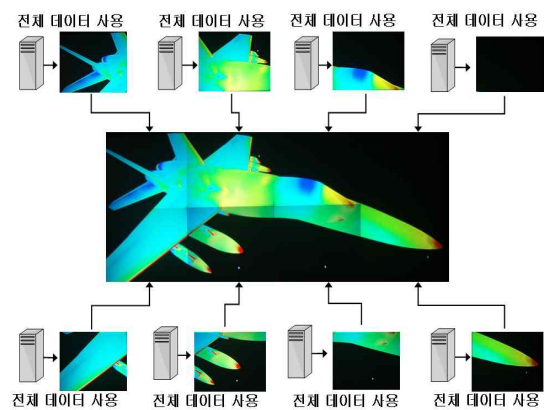


Fig. 21. 비 병렬 타일 가시화

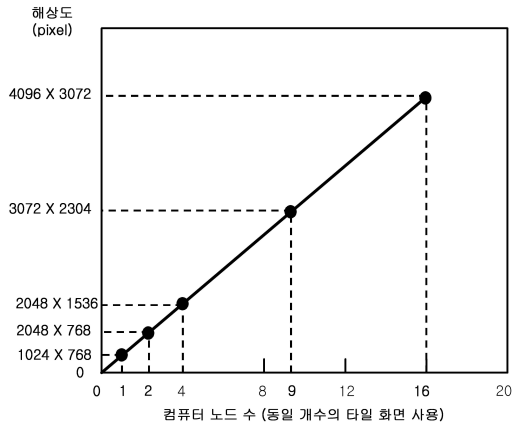


Fig. 22. 컴퓨터 노드 수에 따른 해상도 증가

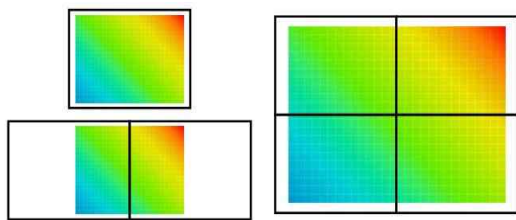


Fig. 23. 백만 개의 육면체 요소 테스트

수와 컴퓨터 노드의 수를 동일하게 늘려 가면서 하나의 타일 또는 컴퓨터 노드가 담당하는 요소의 수가 1/2, 1/4로 줄어드는 효과를 이용하여 움직임이 없는 상태에서 24번 렌더링을 수행하는 가시화 시간을 측정함으로써 전체 요소 수에 대해서 화면에 나타나는 요소 수의 비율이 전체 가시화 시간에 미치는 정도를 확인하였다.

Fig. 24에 도시한 것처럼 타일의 개수가 늘어감에 따라 가시화 시간이 줄고, 타일의 개수와 컴퓨터 노드의 개수가 16개일 때 24 프레임당 40초의 시간 이득을 볼 수 있지만, Fig. 25에 도시한 것처럼 일반적으로 병렬 컴퓨팅의 성능 측정에 사용되는 속도 향상 지수를 살펴보면 모든 경우에 있어 2를 넘지 못하는 것을 알 수 있다.

따라서 전체의 데이터를 분산하는 후분류 기법 [9], 그리고 데이터를 분산하지 않더라도 렌더링 수행에 불필요한 기하 데이터들을 제거하는 전분류 기법과 같은 병렬 가시화 기법들을 도입하여 이와 같은 문제를 해결하고, 이를 통해서 타일 가시화의 성능을 향상시킬 수 있을 것이며, 더 나아가 해석기와의 연동을 통해 해석 직후 결과를 곧바로 가시화 할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 사료된다.

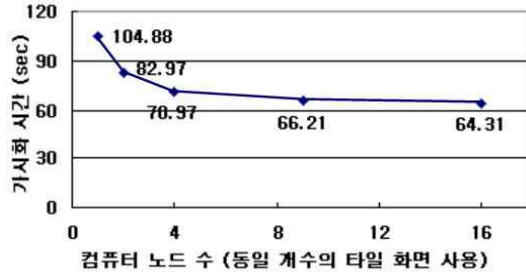


Fig. 24. 100만 요소 가시화 시간(24 프레임)

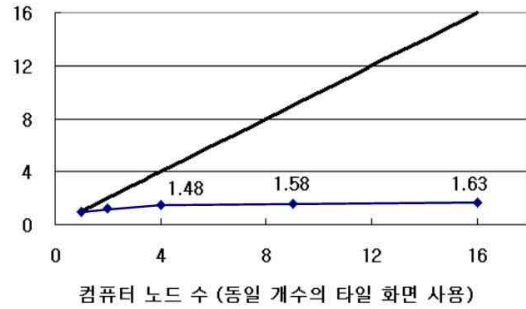


Fig. 25. 속도 향상 지수

IV. 결 론

PC 클러스터를 기반으로 하는 타일 가시화 시스템은 기존의 저해상도를 가지는 가시화 장치들을 이용하여 고해상도 가시화 시스템을 구축하는 가장 효과적인 방법으로서 초대형 데이터를 정밀하게 가시화하는데 유용한 도구로 사용될 수 있다.

이에 본 연구에서는 PC 클러스터와 대형 스크린, 그리고 저가의 빔프로젝터를 이용하여 타일 가시화 하드웨어 시스템을 구축하고, 이에 적합한 타일 가시화 알고리즘을 구성하였다. 왜곡된 화면을 유발하는 키스톤 현상을 제거하기 위해 조절장치 움직임사이의 간섭을 최소화 할 수 있는 빔프로젝터 위치조절장치를 새로 설계/제작하였다. 또한 구성된 타일 가시화 알고리즘을 토대로 Qt, OpenGL, LAM-MPI 등을 이용하여 그래픽 사용자 인터페이스를 갖춘 타일 가시화 소프트웨어를 개발하였으며, 이를 통해 초대형 해석 데이터들을 고해상도로 가시화할 수 있는 기반을 마련하였다.

추후 타일 가시화에 전분류 및 후분류 병렬 가시화 기법을 적용하면 보다 효율적인 고해상도 타일 가시화 시스템 구축이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2004년도 학술진흥재단 젊은과학자 연구활동지원사업에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(R08-2004-000-10586-0).

참고문헌

- 1) Bhardwaj, M., Pierson, K., Reese, G., Walsh, T., Day, D., Alvin, K., Peery, J., Farhat, C., Lesoinne, M., "Salinas : A Scalable Software for High-Performance Structural and Solid Mechanics Simulations", *Proceedings of the IEEE/ACM SC2002 Conference*, Baltimore, Maryland, USA, November 2002, pp. 6~22.
- 2) Yagawa, G., Okuda, H., Nakamura, H., "GeoFEM : Multi-Purpose Parallel FEM system for Solid Earth", *Fourth World Congress on Computational Mechanics*, Vol. 2, 1988, p. 1048.
- 3) Humphreys, G., Eldridge, M., Buck, I., Stoll, G., Everet, M., Hanrahan, P., "WireGL : A scalable graphics system for clusters", *Proceedings of SIGGRAPH 2001*, pp. 129~140.
- 4) Haimes, R., "pV3: A Distributed System for Large-Scale Unsteady CFD Visualization.", *32nd AIAA paper*, 94-0321, January 1994.
- 5) M Hereld, I. R. Judson, and R. Stevens, "Introduction to Building Projection-based Tiled Display Systems", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 20, no. 4, Spring/Summer 2000, pp. 22~28.
- 6) M Hereld, I. R. Judson, J. Paris, and R. L. Stevens, "Developing Tiled Projection Display Systems", *Proceedings of the Fourth International Immersive Projection Technology Workshop(IPT 2000)*, C. Cruz-Neira, O. Riedel, and A. Rossler, eds., 2000.
- 7) Tomas, A., Eric, H., *Real-Time Rendering, 2nd edition*, AK Peters, 2002, pp. 25~66.
- 8) Woo, M., Neider, J., Dvis, T., Shreiner, D., *OpenGL Programming Guide, 3rd edition*, Addison Wesley, 2001, pp. 93~154.
- 9) 김창식, 송유미, 김기욱, 조진연, "분산 병렬 계산환경에 적합한 초대형 유한요소 해석 결과의 효율적 병렬 가시화", 한국항공우주학회지, 제32권 제10호, 2004, pp. 38~45.