

## OpenDx에 의한 KT소행성 충돌 시뮬레이션의 과학가시화 Scientific Visualization of KT Asteroid Impact by OpenDX

李濟臣<sup>1</sup>·金庚玉<sup>1</sup>·洪性珍<sup>1</sup>·崔秉昊<sup>1</sup>·今村文彦<sup>2</sup>

Jei Shin Lee<sup>1</sup>, Kyeong Ok Kim<sup>1</sup>, Sung Jin Hong<sup>1</sup>, Byung Ho Choi<sup>1</sup>, and Fumihiko Imamura<sup>2</sup>

### 1. 서 론

소행성 및 혜성의 지구충돌에 의한 분진은 태양광을 차단하여 수개월의 지구상의 암흑이 시작되고 대규모 지진해일이 발생됨이 알려지고 있다. 6500 만년 전의 KT 소행성 충돌흔적이 멕시코만의 유카탄반도에서 지질학적 조사에 의해 확인됨에 따라 소행성 충돌의 지구규모재해에 대비하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 미국 샌디아국립연구소는 수년전 KT 규모의 충돌이 야기하는 효과를 Hydro Shock Code를 사용하여 Intel Pasagon 병렬컴퓨터에서 시뮬레이션하였으며, Los Alamos 국립연구소는 현재 계속적인 연구에 의한 대비책 수립을 위한 과정에 있다.

### 2. KT 소행성 충돌

약 6 천 5 백만년전 지구를 지배하고 있던 공룡들의 멸종에 관한 여러 학설이 있지만, 학계에서 정설로 받아들여지고 있는 것은 직경 10km의 소행성의 지구 충돌설이다. 비교적 덩치가 큰 소행성이나 혜성이 지구와 충돌할 가능성은 10 만년에 한번이며 지금이 100m 정도인 소행성은 1 만년에 한번꼴로 지구와 충돌하고 있다고 한다. 소행성이 지구와 충돌할 경우 그 위력은 원자폭탄과 같아서 한번에 1 천 3 백만명의 목숨을 앗아갈 수 있다. 지구 역사상 이미 여러 번의 행성충돌이 있었다는 사실은 암석층이나 화석 등을 통해 입증된 상태이다. 약 2 백 30 만년 전에 남태평양에 떨어졌었던 '엘타린'은 지름이 1km 이상의 대형 행성으로 음속의 60 배에 달하는 속도로 지구와 충돌했다. 당시의 충격은 5 백만 개의 히로시마 원자폭탄과 같았다는 것

이 과학자들의 설명이다. 태평양은 순식간에 펄펄 끓는 바닷물로 변했고 시속 500km의 속도로 육지로 올라온 물은 단 몇 초만에 주변을 흔적도 없이 삼켜버렸다.

거대한 공룡을 지구상에서 사라지게 만들었던 소행성이 떨어진 곳은 유카탄 반도였다(그림 2). 당시에 바다였던 그 곳은 초속 30 만 km로 돌진해온 소행성으로 순식간에 깊이 60km, 폭 300km의 거대한분화구가 형성되었다. 곧바로 지구를 통제로 흔드는 듯한 지진과 홍수가 이어졌고 곳곳에서 발생하는 번개와 돌풍은 지구의 종말을 예고하는 듯 했다. 이로인해 발생한 분진과 수증기는 한 달간이나 지구를 뒤덮어 햇빛이 차단된 지구에는 수년간 영하 45 도의 겨울이 계속 되었고 살아있는 생명체의 70%가 멸종되었다.

### 3. 지진 해일 시뮬레이션

컴퓨터 그래픽스 애니메이션의 역할은 컴퓨터 또는 기타 다른 작업으로 이루어진 기존자료(모델데이터, 분석동적자료)에 실제적 또는 유사한 환경을 가시적으로 제공함으로써 자료의 감각적 인지를 구체적 인지로 전환해 줄 뿐만 아니라 더 나아가서 실제적으로 가능하지 않은 상황을 연출시켜 가상적 자료에 대한 결과를 가시적으로 또는 실시간으로 시뮬레이션 할 수 있다. 따라서, 과학 및 공학에서 수치 시뮬레이션 모형의 방대한 해석자료들은 종래에는 제한적으로 2차원 플로팅 방법에만 의존하던 것을 컴퓨터 그래픽스 애니메이션에 의한 과학 기술적 가시화(Scientific and Technical Visualization)에 의해 3차원으로 신속히 검토할 수 있게 되었다. 과학적 기술 가시화란 원시 수치자료를 가시적인 영상으로 제시하는 기

<sup>1</sup> 성균관대학교 토목환경공학과 (Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Chunchun-Dong 300, Jangan-Ku, Suwon, 440-746, Korea)

<sup>2</sup> 東北大學校 災害制御센터(Disaster Control Research Center, Tojoku University, Aoba Sendai 980-8579, Japan)

법으로서, 이 원시자료가 기원한 실제 체계의 외력과 물체와의 상호 작용으로 모형화 한 영상을 아치 현실과 같이 화면에서 조작하는 방법이다. 과학 기술적 가시화는 컴퓨터에 의해 생성된 방대한 자료를 과학자들이 쉽게 이해하는데 목표를 두며, 오늘날 연구, 교육 및 개발에 있어 역동적인 진전을 보이고 있다.

수치 모델링의 결과들은 가시화 시키는 도구에는 여러 가지가 있다. 특히 해양 물리학 분야에서 많이 사용되는 것이 GMT, Hpgl 등이다. 하지만 위의 도구들은 동적 3차원 영상을 만들기에는 한계가 있다. 이에

당 연구실에서는 3차원 그래픽 도구인 X-vision과 OpenDX를 사용하고 있다. OpenDX(Data Explorer)는 IBM에서 개발하여 이변에 OPEN Source로 공개한 Visualization Software 이다. Version 3(Dx3)까지는 유료로 판매를 하였으나, OpenDX를 발표하면서 같이 공개(2000년 3월까지)로 라이선스가 바뀌었다. Data Explorer의 정보는 <http://www.research.ibm.com/dx>나 <http://www.opendx.org>에서 얻을 수 있다.

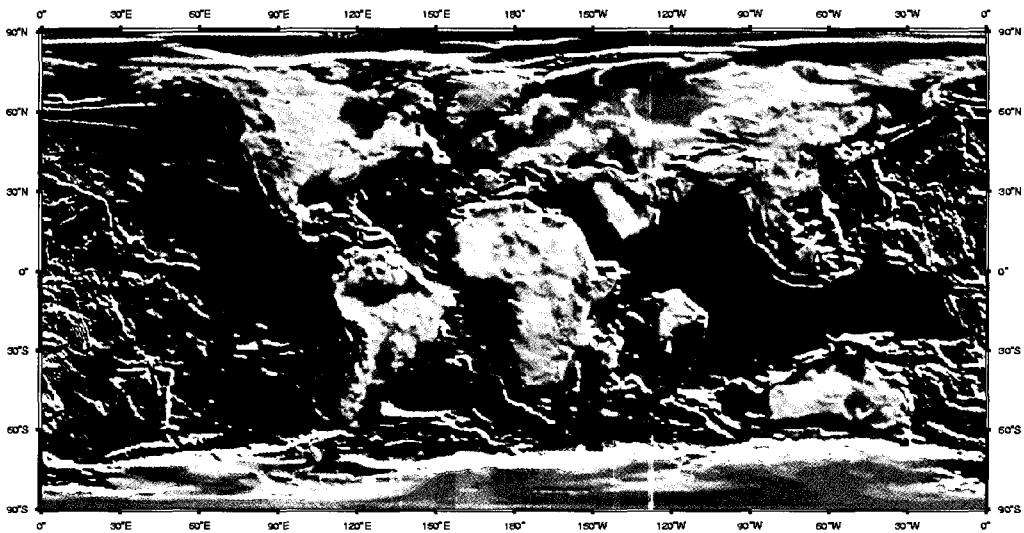


그림 1. 6500만년전의 지형도

#### 4. 대양전파수치시물레이션

소행성충돌에 의한 분화구의 크기가 작을 때, 즉 충돌되는 소행성의 규모가 작을 때는 파장이 작은 해파가 발생하며 이 해파가 수백km 파급될 때 분산효과(dispersion effect)에 의한 파괴감소가 일어날 수 있다. 본 KT규모의 소행성충돌에서는 대규모의 분화구가 형성된다는 가정에서 분산효과를 무시한 간단한 장파이론 쓰나미 산정모형(격자간격 36,000m(20min),  $\Delta t = 50\text{sec}$  (changeable time step))을 사용하여 47시간 적분을 수행하였다. 6500만년전의 대륙의 분포 및 수심분포는 지질학자들의 추정자료(그림 1)가 이용되었으며, 충돌시의 초기수면변위는 그림 2와 같이 입력되었다.

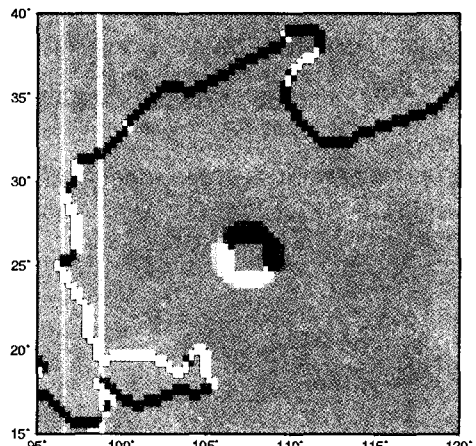


그림 2. KT소행성 충돌에 의해 발생한 지진해일의 초기파형

## 5. OpenDX 를 이용한 KT 소행성 충돌시뮬레이션의 과학가시화

가시화를 위한 작업순서는 수치시뮬레이션의 운용을 통한 timestep별 수치 시뮬레이션의 결과데이터를 확보한다음, graphic tool을 이용한 정지영상을 제작하고, 제작한 정지영상으로 동영상상을 제작하는 것이다. 이번 작업의 목적은 전과양상과 그 시간을 추정하는 것이므로, 전과양상에 따라 지구타원체를 회전시키는 방법을 사용하였으며, 그 진행시간을 함께 제시하였다.

### 5.1 OpenDX를 이용한 영상의 제작

#### 5.1.1 입력 data의 제작

OpenDX의 입력자료의 형식은 기본적으로 \*.dx file이다. \*.dx file은 크게 3부분으로 나눌 수 있는데 격자의 시작점, 간격 등의 정보를 담고 있는 부분, 격자 data의 형식을 담고 있는 부분과 격자의 data(value)를 담고 있는 부분으로 구성되어 있다. 하지만 대부분의 수치자료가 그 value만을 담고 있으므로, \*.dx file의 변형과정을 거치지 않도록 \*.general file 형식을 지원한다. \*.general file에는 격자에 관한 모든 정보가 들어가 있으며, 일종의 header file이라고 생각하면 된다. \*.general file역시 직접 typing하여 만들 수도 있지만, 'data explorer'에서 쉽게 제작할 수 있다.

구형 영상을 제작할 경우 후면 연결부에서 불연속면이 나타나거나 연결부가 매끄럽게 처리되지 못하는 경우가 있는데, 이는 연결부에서 한두격자정도의 data를 중첩함으로써 해결할 수 있다. 아울러, 아래에서 언급하겠지만, 영상의 연속적인 제작을 위해서는 file명을 숫자를 이용하여, 시간에 따라 순차적으로 지정해야 한다. 그렇지 않으면, 동영상 제작을 위한 수많은 그림들은 한장씩 직접 제작해야 한다. 또한, 숫자 사용시 첫자리에 0의 사용을 피한다.

#### 5.1.2 프로그램의 제작

OpenDX에서는 text형식의 script대신 visual script를 사용한다. 개개의 function이 module이라는 visual한 형태로 제공되므로 각각의 모듈들의 조합으로 쉽게 Script를 제작할 수 있다.

#### 5.1.3 Data의 입력을 위한 Module

[FileSelector] : fortran에서의 'open'과 같은 역할 수행하며, data file의 형식을 지정해주어야만 한다.

[Import] : 'read'문의 역할을 수행하며, [FileSelector]

없이도 file의 지정이 가능하다.

#### 5.1.4 색의 지정을 위한 Module

[Colormap] : 색, 명도, 채도를 data value에 근거하여 또는 data value와는 별개로 지정한다.

[Color] : [Colormap]에서 지정한 색정보를 data value에 대응시킨다.

[AmbientLight], [Light] : 보다 물의 질감 및 전과양상을 잘 나타내기 위하여 광원(조명)효과를 적용하는데 사용된다.

#### 5.1.5 구형화를 위한 Module

[Sphere] : 평면으로 되어 있는 data value를 네 꼭지점을 합쳐줌으로써 구형으로 만들어 준다.

[Mark], [Compute], [Unmark] : 구형영상을 제작하기 위하여 불가피하게 기존의 coordinate data를 이용하여 회전시키게 되는데, [Mark]를 이용하여 기존의 data 중에서 coordinate data value를 선택하고, [Compute]에서 연산을 수행한다. [Unmark]를 이용하여 coordinate data를 기존의 data data, color data 등과 합쳐준다.

#### 5.1.6 주석을 위한 Module

[Caption] : 주석을 달기위해 화면에서의 위치와 내용을 지정하여 준다.

[Sequencer], [Format], [Compute] : 주석 중에 진행시간을 표기하기 위해 사용되는 모듈들이다. [Sequencer]는 'do'문과 같이 일정 범위내에서 일련의 정수를 발생시킨다. 여기서 발생한 일정한 정수를 수치 data의 정보와 [Compute],[Format]을 이용하여 [Caption]에 값을 넘겨주면 화면상에 시간이 출력된다.

#### 5.1.7 회전을 위한 Module

[Rotate] : [Sequencer]와 [Compute]를 사용하여 시간에 따라 전과양상을 가장 잘 보여주는 지구 타원체의 면으로 이동시킬 x, y, z축의 회전각을 결정하여 [Rotate]에 전달한다.

#### 5.1.8 영상의 제작 및 저장을 위한 Module

[RubberSheet] : 그림을 그리기 위한 빈고무종이라고 생각하면 된다. 위에서 언급한 일련의 과정을 거친 data를 입력 받아서 지구타원체를 만든다.

[Image] : 최종영상의 크기와 형식을 지정할 수 있으며, 저장도 이 module에서 시행한다. 이미지를 개별적으로 만드는 것이 아니라, [Sequencer] module을 이용하여 위의 과정들을 연속적으로 진행한다. 최종 목적

은 mpeg file을 만드는 것이므로, mpeg file의 재생 매체인 Window Media Player의 default 화면 크기인 720X480을 설정하였다. [Image]에서는 화면의 크기를 밀변과 높이의 길이로 지정하는 것이 아니라 밀변의 길이와 그에 대한 높이의 상대적인 비로 지정한다. 그러므로 화면 크기를 720X480으로 setting하려면, 'Image : recorders'에서 720을 설정하고, 'Image : recordAspect'에서  $0.666667(=480/720)$ 을 설정하면 된다.

## 5.2 OpenDX의 Script

OpenDX의 script 역시 fortran의 subfunction과 같이 작성할 수 있다. 이 때 사용하는 module은 [transmitter]와 [receiver]이다. 두 module에 동일한 이름을 주어서 그 연계성을 가지도록 하는데, OpenDX가 C언어를 기반으로 작성되었으므로, 대소문자를 확실히 구분해 주어야 한다.

### 5.2.1 지형을 넣기 위한 Script

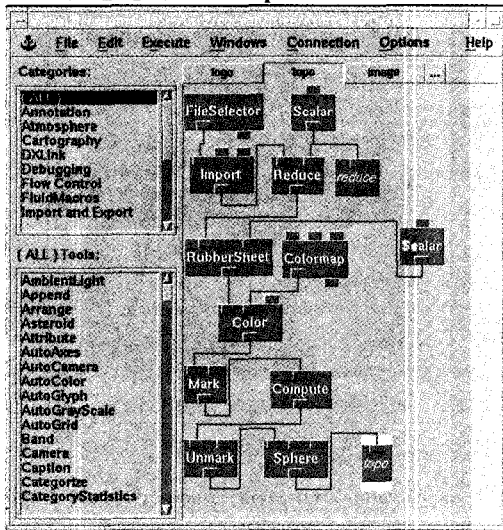


그림 3. 지형을 넣기 위한 Script

[FileSelector]를 이용하여 depth data file을 열고 [import]를 이용하여 data를 읽어 들인다. [RubberSheet]에 data를 전달한 후, [Colormap]으로 색을 입히고, [Mark],[Compute],[Unmark]를 이용하여 x,y축 변환을 시행한다. [Sphere]를 사용하여 구형화 시킨다. [Reduce]는 sampling을 시행하는 것으로 최종 영상 제작 전에 사용하면 작업 시간을 줄일 수 있다. 마지막으로 [transmitter]를 사용하여 'topo'라는 이름으로 다른 module이 사용할 수 있도록 하였다.

### 5.2.2 지진해일을 넣기 위한 Script

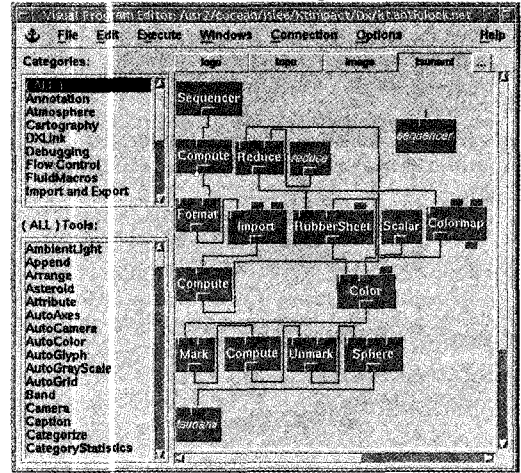


그림 4. 지진해일을 넣기 위한 Script

KT소행성 충돌에 의하여 발생한 지진해일의 전파양상을 넣기 위한 부분이다. 지형을 입히는 작업과는 달리 연속적인 작업이 요구되므로, [Sequencer]를 사용하였다. [Sequencer]에서 발생한 정수를 사용하여 미리 숫자를 file명에 넣어서 저장한 입력 file을 연속적으로 임도록 하였다. 그 외의 작업들은 지형 data 넣는 작업과 동일하다. [Color],[Colormap]에서 opacity를 조정하면 물의 투명도를 조절할 수 있어 물의 질감을 보다 더 잘 살릴 수 있다.

### 5.2.3 진행시간을 넣기 위한 Script

진행시간을 나타내기 위해서는 지진해일을 위한 Script의 [Sequencer]에서 발생한 정수를 이용한다. [Compute],[Format],[Caption]을 이용한다. 예를 들면, [Sequencer]에서 발생한 정수를 이용하여 초단위 진행시간을 계산하고, 60으로 나눈 뒤, [Format]에서 정수형으로 변환하여, [Caption]으로 넘겨주면, 분이 출력된다.

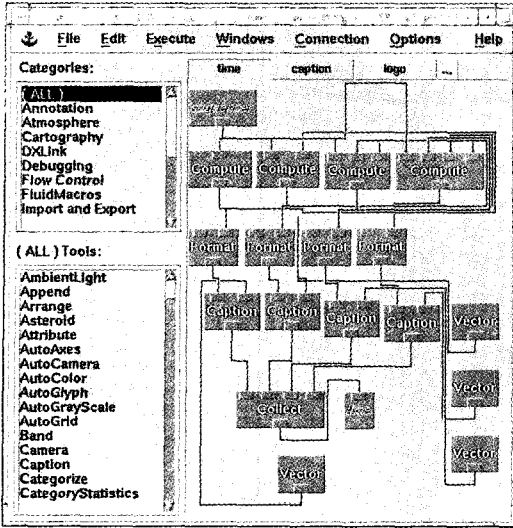


그림 5. 시간을 넣기 위한 Script

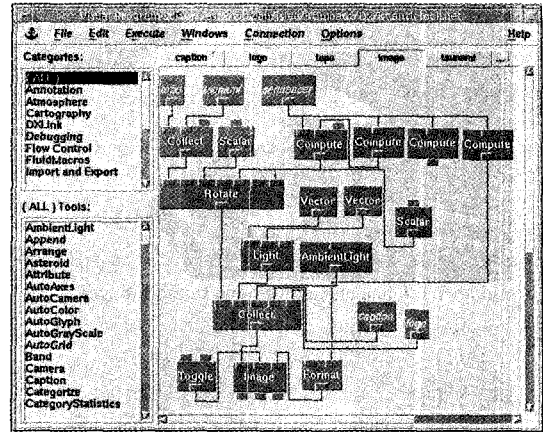


그림 7. 최종영상제작을 위한 Script

### 5.2.4 주석을 넣기 위한 Script

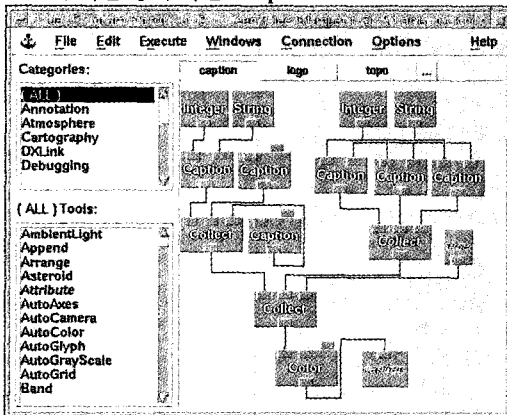


그림 6. 주석을 넣기 위한 Script

[Caption]을 이용한다. [Caption]에서 화면 상의 주석의 위치를 정할 수 있는데, 정렬방법은 무조건 가운데 정렬이다. [Collect]는 두개 이상의 module을 모아서 전달하는 데 사용한다.

### 5.2.5 최종영상제작을 위한 Script

위의 과정에서 script를 [receiver]를 이용하여 전달 받는다. [Sequencer]에서 발생한 정수를 이용하여 [Rotate]에서 영상을 회전시키며, [Image]에서 outfile명을 정한다. [AmbientLight],[Light]를 이용하여 광원효과를 준다.

## 5.3 동영상의 제작

\*.avi 형식과 \*.mpeg형식의 file을 제작할 수 있다. \*.avi file의 경우 file용량이 대단히 크기 때문에 압축 option을 선택하여 압축할 수 있다. 하지만, 질의 저하가 심하므로, file의 용량이 적은 양질의 영상을 얻기 위해서는 압축 option을 선택하지 않고, avi file을 제작하여 mpeg file로 압축하는 것을 권장한다.

### 5.3.1 avi file의 제작

‘pjBmp2avi’라는 open source를 이용하여 제작하는데, 입력 image file의 형식이 bitmap이다. ‘pjBmp2avi’는 <http://www.homeusers.prestel.co.uk/cherryjam/utilities.html>에서 얻을 수 있다. 그런데, OpenDX에서는 bitmap형식의 output을 지원하지 않으므로 OpenDX에서 저장한 image들을 bitmap형식으로 변경한다.

영상의 연속적인 frame에 들어가는 image file을 각각의 frame별로 지정을 해주는 것이 아니라, 내림차순에 의하여 자동으로 지정하기 때문에, 4.2.7 에서 output file name을 잘 지정해줘야 한다.

동영상의 상영시간은 1초당 보여주는 frame의 개수에 의해 좌우되므로, 제작하는 동영상의 특성에 맞도록 ‘Frame Rate’에서 1초당 Frame의 개수를 정해줘야 한다.

### 5.3.2 mpeg file의 제작

‘Tmpegkor(Tmpegenc)’라는 MPEG 압축유틸을 이용하여 mpeg file을 생성하는데, <http://www.ing-japan.ne.jp/hori/TMPGEnc.html>에서 얻을 수 있다. Input file은 위에서 언급하였듯이 avi file이며 ‘영상소스’에서 지정을 해준다. 4.2.7 절에서 언급하였듯이 화

면의 크기를 지정해주는 이유는 mpeg file 의 경우 표준 규약의 크기를 맞추어 주지 않으면 재생이 되지 않기 때문이다.

### 5.4 제작된 영상

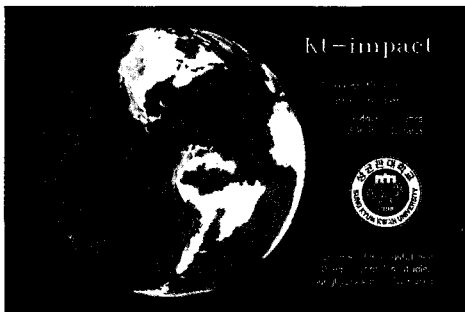


그림 6. 33분 20초가 경과된 후의 전파양상



그림 7. 24시간 30분 40초가 경과된 후의 전파양상

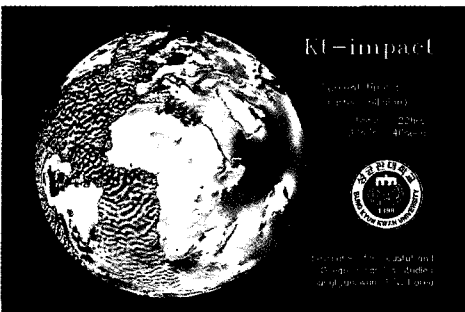


그림 8. 46시간 30분 40초가 경과된 후의 전파양상  
현재의 아프리카 대륙근처에서 동서방향으로 각각 진행되던 파들이 만나는 것을 볼 수 있다.

## 6. 추후의 연구

이와 같은 대양전파쓰나미의 동영상 가시화는 여러 장의 이미지를 쓰나미의 전파에 따라 지구를 회전시키면서 저장하여, Mpeg 동영상으로 제작하였다. 각

동영상은 10Mb가 되며, 시계방향, 반시계방향으로 전파되는 모습을 작성하였고, 아울러 운석 낙하지점에서 변화모습도 회전되는 영상과 같은 시간에 대하여 작성하였다.

동영상 가시화는 전파되는 파에 대한 가시화는 만족스럽게 보여주고 있으나, 육지를 표현하는 것은 아직까지 어려운 일이다. 광원의 효과가 쓰나미 파와 육지에 같이 미침으로서 둘간의 화면으로의 표현이 의도한 바대로 잘 표현되지 못했다.

이는 광원으로부터의 효과를 최소화하여 삽입하고, 육지를 표고별로 나타낼 수 있는 색상 팔레트를 찾아서 해결될 수 있는 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단지원 한국지진공학센터의 2001년도 연구비 지원에 의해 수행된 바 이에 사의를 표한다.

## 참고문헌

- 정동선, 2000.10.1, 영국연구팀 ‘조기 경보 시스템’ 주장으로 본 지구상의 ‘덜 임팩트’, 일요신문, p. 42
- 김경욱, 2000, Data Explorer 소개 및 설치법, 한국해양해양공학회 컴퓨터 그래픽 가시화 논문집, pp 39-40