주요 솔리드 모델링 커널의 소개

이 상 헌
국민대학교 자동차공학과 조교수

지금까지 여러가지 상업용 솔리드 모델링 커널들이 시장에 출시되었으나 최근에는 대체로 Parasolid와 ACIS의 두개로 압축되는 경향을 보이고 있다. 또한 최근에는 새로운 커널을 새로이 개발 판매하는 것보다 기존의 주요 커널들을 이용하여 중간급의 솔리드 모델링 시스템이나 특정 분야에 대한 응용 프로그램을 개발하는 것이 일반적인 추세이다.

이 글은 CADENCE의 기사 가운데 CAD 관련 기고가이며 트레이너인 Joe Greco가 쓴 "Kernel Wars-Episode I"이라는 글을 옮긴 것으로 두 개의 주요 커널인 ACIS와 Parasolid에 대한 간략한 비교 분석과 새로이 시장에 출현하는 커널들에 대한 소개를 담고 있다. 이 글은 현재 인기 있는 솔리드 모델링 커널들의 특징들과 장래에 대한 Joe Greco의 상세하고 개인적인 견해를 밝힌 것으로서, 원문은 99년말에 발표된 것이나 그동안 커널들에 대한 큰 변화가 없었으며 원문의 내용이 독자가 커널들에 대한 기본적인 인식을 갖는데 유용한 내용을 담고 있기에 원문에 업계의 최신 발표 내용을 반영시켜 본 기사를 완성하였다.

1. 커널 전쟁-에피소드 I (Kernel Wars-Episode I)

중간급의 MCAD(Mechanical CAD) 솔리드 모델링 시스템들이 급속히 확산되게 된 것은 여러가지 요인에 기인한 것이라고 할 수 있다. 먼저, 향상된 여러가지 기능들과 유연성을 갖춤으로써 이 시스템들은 보다 더 넓은 시장에 호소력을 갖게 되었고, 따라서 그러한 시장을 만족시키기 위하여 보다 더 많은 프로그램들이 필요하게 되었다고 할 수 있다. 그러나 한편으로는 MCAD 소프트웨어가 증가하게 된 가장 큰 이유로서 모델링 루틴들의 핵심이라고 할 수 있는 솔리드 모델링 커널을 이용할 수 있게 된 것이라는 주장도 펼 수 있다. 회사가 해야할 일은 커널에 대한 라이선스를 받아서 자사의 솔리드 모델링 응용 프로그램에 사용하는 것인 것이다.

이 글에서는 이 분야의 가장 선도적인 두개의 커널인 ACIS와 Parasolid에 대해서 각 커널의 주요 모델링 기능과 장점들, 상호 작동 가능성(interoperability), 그리고 성능에 대해서 살펴보도록 하겠다. 그리고 기타 Varimetrix, think3 및 Solid Modeling Solutions의 커널들에 대해 간략히 살펴보도록 하겠다.

2. ACIS 커널

미국 Colorado 주 Boulder에 위치한 Spatial Technology 사는 1986년에 이 커널의 개발에 착수하여 3년 후 이를 출시하였다. 현재 ACIS는 Version 6.3까지 나와 있는데, AutoCAD, Mechanical Desktop, Vellum Solids, CADKEY, IronCAD 및 다수의 TurboCAD 제품들을 포함하는 200개 이상의 제품들에서 사용되어 왔다. 또한 ACIS는 몇 가지 CAM 프로그램들에서도 사용되고 있으며, 특히 FEA 제품들에 대단히 널리 퍼져 있다. 140만명 이상의 사용자들이 ACIS를 기반으로 한 프로그램들을 사용하고 있다.

⊙ 주요 모델링 기능/장점

Spatial 사의 마케팅 책임자인 Mike Hansen과의 대화를 나누었으며, ACIS가 갖는 특징들에 대한 그의 견해를 정리하면 다음과 같다. 최종 사용자에게 제공되는 ACIS의 첫번째 특징은 커널의 토폴로지이다. ACIS는 이 글에 소개한 다른 모든 커널들과 마찬가지로 비다양체 토폴로지(non-manifold

topology)를 채용하고 있는데, 이는 사용자들이 실제 존재하지는 않지만 다양체 형상을 만드는데 도움이 되는 형상을 만들 수 있다는 것을 의미한다. 또한 ACIS는 셀 토폴로지(cellular topology)를 이용할 수도 있다. 이를 사용하여 엔지니어들은 어떤 모델을 여러 조각들로 나누고 그것에 물성과 같은 것은 부수적인 데이터를 추가시킬 수 있다. 이것이 ACIS가 FEA 개발자들 사이에 인기가 높은 이유 중에 하나이다.

다음, 3D 스위핑(sweeping), 스키닝(skinning), net surface 그리고 N-sided patch를 포함한 커널의 고급 곡면 모델링 기능을 특징으로 지적할 수 있다. 이 가운데 N-sided patch는 중요하다고 할 수 있는데 이는 곡면 모델링 뿐만 아니라 다른 기능들에서도 사용될 수 있기 때문이다. N-sided patch는 근본적으로는 일종의 개량된 Gregory Patch라고 할 수 있다. Gregory Patch는 3개 또는 4개의 side를 갖는 일종의 NURBS 곡면이나, Spatial의 N-sided patch는 4개 이상의 side를 가질 수 있다. 이것이 최종 사용자에게 의미하는 것은 3개 이상의 모서리가 만나는 곳이나 볼록한 그리고 오목한 모서리들이 만나는 곳에 복잡한 블렌드를 만들 수 있다는 것이다.

또한 모든 곡면 모델링 기능들은 Deformable Modeling husk와 별개로 커널내에 만들어져 있다. 그런데 이 Husk는 곡면의 자유 형상 조작을 돕기 위해 1998년도에 회사에서 도입한 add-on으로서, 이것은 일부 Parasolid 기반 프로그램들에서 곡면을 편집하기 위해 사용되어 왔었다.

또한, husk라는 add-on 들이 개발자들에게 모듈별 선택을 제공하는 것이 ACIS의 또하나의 장점이라고 할 수 있다. ACIS에 표준이 된 하나의 husk 가운데 하나가 MegaCADD와 같이 건축 응용 분야에 사용되는 AEC Husk 이다. 이용 가능한 또다른 husk로서는 Advanced Blending Husk, ACIS IGES Husk 그리고 Healing Husk 등이 있다.

⊙ Interoperability/Healing

Healing Husk는 Spatial 사의 상호작동가능성(interoperability) 전략의 초석이라고 할 수 있다. 이 소프트웨어는 healing 과정을 3단계로 나누어서 작업을 한다. 첫번째 단계는 원래의 해석적인 곡면들을 인식하고, 두번째 단계에서는 이 곡면들을 이어 붙여서 모델의 새로운 토폴로지를 만들며, 마지막 단계에서는 모든 모서리들의 간극과 다른 조건들을 체크하여 실제 healing을 수행한다. Healing이 제대로 되지 않을 때에는, ACIS는 Version 5.0에서 도입된 Tolerant Modeling 스킴으로 전환한다.

이전에 ACIS는 import 되거나 export 되는 geometry에 단지 고정된 공차만 허용했었다. Tolerant Modeling은 모서리와 꼭지점 상에 국부적인 공차를 허용하며 이는 소프트웨어에 의해 결정된다. 결국에는 사용자들이 이 공차의 세팅을 조절할 수 있게 되기 때문에 개념 설계 단계에서는 낮은 공차를 가지고 모델링 작업을 하여 계산 시간을 절약할 수 있으며, 모델이 이후 엔지니어링과 생산 과정으로 넘어가면 공차를 필요한 만큼 더 높일 수 있게 될 것이다.

⊙ 성능

ACIS는 특별한 메모리 관리 루틴들을 가지고 있어서 Autodesk 사의 새로운 기계 관련 제품인 Autodesk Inventor와 같이 ACIS를 기반으로 한 제품에서 대규모의 어셈블리를 로딩할 때 이를 지원해 준다. Hansen에 의하면 Spatial 사는 ACIS가 Intel 사의 현재 및 차세대 프로세서에서 가능한 한 빠르게 수행될 수 있도록 ACIS를 최적화시키는데 Intel과 긴밀히 협력하고 있다고 한다. 또한, 속도를 향상시킬 수 있는 새로운 알고리즘을 수학자 팀에서 항상 찾고 개발하고 있는 중이라고 한다.

Mr. Greco가 수행한 한 테스트에서는 같은 IGES 파일의 ACIS 및 Parasolid 버전들이 ANSYS DesignSpace 안으로 import 되었다. Import와 해석 양쪽 다 ACIS 파일로 했을 때 2~3배 더 빨랐다. 이 테스트를 매번 다른 ACIS와 Parasolid 응용 프로그램을 사용하여 같은 파일에 대해서 두차례 더 반복하였으며 일반적으로 같은 결과를 얻었다. ANSYS의 대표자는 이것은 아마도 ACIS의 곡면을 생성시키는 방식과 관련이 있을 것이라고 말하였다.

3. Parasolid 커널

Parasolid 커널은 Missouri 주 St. Louis에 위치

한 Unigraphics Solutions(UGS)에서 나온 제품이다. 1988년 첫 출시 이후 현재는 Version 13까지 나왔으며 225가지 제품에서 60만명 이상의 사용자들이 사용하고 있다. 이 커널을 바탕으로 만들어진 프로그램들에는 SolidWorks, MicroStation, 그리고 Solid Edge 등이 있다. 최근 Visionary Design Systems은 ACIS 커널을 바탕으로 만들어진 IronCAD에 Parasolid를 갖추어 줌으로써 이제는 양쪽을 커널을 모두 사용하여 작업할 수 있게 되었다. 비록 FEA의 일부는 여전히 ACIS를 채택하는 쪽으로 가고 있지만, 많은 CAM 제품들이 Parasolid를 바탕으로 만들어지고 있다.

⊙ 주요 모델링 기능/장점

UGS의 Parasolid Business Development의 책임자인 Don Vossler는 Parasolid가 가지고 있는 가장 큰 장점은 소위 "Extreme Modeling"을 수행할 수 있는 커널의 능력이라고 느끼고 있다. 이는 쉽게 말하면 대단히 복잡하고 정교한 형상과 복잡한 부품들을 생성시키는 능력을 가졌다는 것을 의미한다. Vossler는 GM을 보라고 말한다. GM에서는 제품개발부서에 8천개의 Unigraphics를 가지고 매일 정교하고 복잡한 부품들과 거대한 어셈블리들을 생성하면서 Parasolid 커널을 테스트하고 있다.

⊙ Interoperability/Healing

Version 11 까지 Parasolid는 healing에 대해서 고려하지 않았다. Vossler의 설명에 의하면 healing은 geometry가 변경되어야 한다는 것을 의미하는데, 그것은 Parasolid 기반 응용 프로그램을 사용하는 대부분의 기존 사용자들에게는 용납할 수 없는 것이었다. 그들은 차라리 모델에 새로운 공차를 적용시키는 방법을 취한다.

그러나, geometry를 약간 변경시키는 것이 그다지 심각하지 않은 설계 부문에서는 보다 많은 사용자들을 위해서 healing은 Version 11의 일부가 되었고 사용자는 필요시 호출하여 사용할 수 있다. 기술적으로 healing은 커널에 재도입 된 것으로서 UGS는 약 8년전에 그것을 포함시켜서 단지 사용자의 요구시 그 기능을 불러내도록 한 적이 있었다. 그럼에도 불구하고, ACIS의 접근 방식과는 달리, 인내심을 갖고 모델링을 하는 것이 여전히 이 커널이 상호 작동 가능성 문제를 다루는 주된 방식이다.

⊙ 성능

Parasolid은 멀티쓰레드가 가능한 커널(multithreaded kernel)로서 두개의 프로세서를 장착한 시스템을 사용하면 일반적으로 30~50%의 속도 증가를 가져다 준다. Vossler는 커널의 멀티쓰레드 함수들을 구현하는 것이 개발자에게는 단지 세팅을 바꾸기만 하면 되므로 대단히 쉬운 일이라고 지적하였다. UGS는 공식적으로 AMD 프로세서를 지원하지 않는다.

4. 기타 사항들

⊙ 개발자들

이 두 커널 가운데 하나를 사용하는 개발자들은 자신들이 사용하고 있는 커널이 가장 강력하다고 느낀다. Visionary Design Systems 사의 기술 마케팅 엔지니어인 Shaun Murphy는 자신의 회사가 IronCAD Version 3에서 듀얼 커널 시스템을 최초로 개발한 적이 있기 때문에 이에 대하여 독자적인 시각을 가지고 있다. Murphy는 각각의 커널이 어떤 부분에서 보다 더 강력한지에 대한 자기 자신의 의견을 가지고 있으나, 기본적으로 그러한 차이점은 상대적으로 미미한 것이라고 느낀다. Murphy에 의하면 여기서 핵심은 과제를 수행하는 것에 대해서 커널이 어떻게 작동하는지 하는 것이다. "대부분은 healing과 같은 것에 대한 서로 다른 철학에는 익숙하지만, 그러나 심지어 blending과 같이 상대적으로 간단한 것도 서로 다르다는 것을 간과하고 있다." 이에 대한 실례가 그림 1에 나타나 있다. 그는 이러한 차이점들을 각 커널들의 기원탓으로 돌렸다. 즉, ACIS는 원래 기계 가공 분야에 보다 초점이 맞춰진 데 반하여, Parasolid는 본래 자동차 산업에 보다 적합하도록 만들어 졌다는 것이다.

Greco와 얘기를 나눈 대부분의 개발자는 그 커널의 약 90~100%를 사용하고 있다고 하였다. SolidWorks의 Tommy Lee에 의하면 Parasolid는 자신과 같은 프로그래머들이 어떤 분야를 선택하였을 때 필요한 만큼 충분히 사용할 수 있도록 지원해준다고 한다. 한편, ACIS 개발자인 Ashlar 사의 Tim Olson 또한 자신이 코어 커널에 쉽게 접근할 수 있기 때

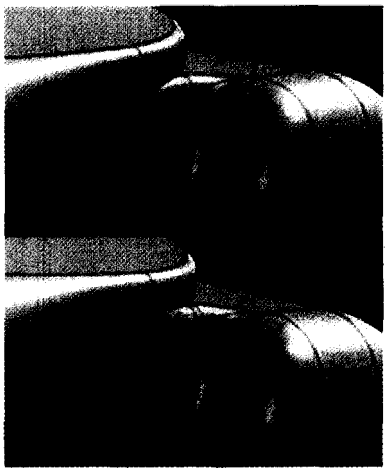

그림 1. ACIS (top images) and Parasolid (bottom images) come up with different solutions when it comes to calculating features such as these blends.

문에 Spatial 사의 제품을 좋아한다고 말한다. 그는 Spatial이 Laws라고 부르는 것에 대하여 언급하였는데, 그로 인해 그는 ACIS 루틴들을 취하여 최종 사용자들의 선택의 폭을 넓혀주는 새로운 조건들을 설정할 수 있다고 한다. 또한 그는 새로운 기술을 추구하는 Spatial 사의 의지에 감동을 받았다고 한다.

⊙ 커널에 추가하기

새로운 루틴들을 커널에 추가하는 것은 약간 요령을 부리는 것이 될 수 있으나 모든 사람들이 그렇게 하고 있다. SolidWorks의 Lee는 Parasolid의 surface lofting feature를 예를 들어 설명하였다. UGS는 loft 기능에 lofting 동안 uniformed scale을 수행할 수 있는 능력을 가지도록 하였다. 이것을 초월하는 기능이 필요했을 때 SolidWorks의 프로그래머들은 lofted cross-sections를 변화시키는 기능과 형상의 경계 조건들을 결정하는 계산을 추가하였다. SolidWorks의 여러 기능들이 기본 커널들에 추가되었는데, 그 가운데 Smart Mates와 같은 것들은 내부적으로 개발되었고, 그 나머지는 D-Cube의 구속조건 관리자(constraint manager)와 같이 third party에 의해 개발되었다.

Ashlar 사가 ACIS를 기반으로 한 Vellum Solids를 시장에 출시했을 때, Ashlar의 주요 목표들 가운데 하나는 고급의 곡면 모델링 기능을 제공하는

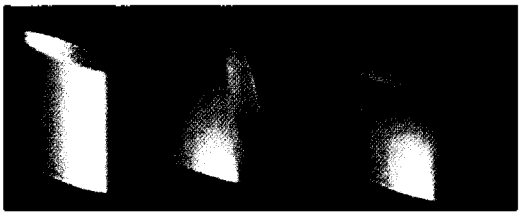

그림 2. The first two images are basic ACIS sweeps -straight (extruded) and along a curve. The third image (on the right) is a two-rail sweep based on code added in Vellum Solids to ACIS.

데 있었다. 이를 위해 그들은 Spatial의 코어를 확장해야만 했다. 그들은 그림 2에 나타난 것처럼 두 곡선들 사이를 스윕시킬 수 있는 기능 뿐만 아니라 소위 두개의 레일 스윕 기능을 포함하는 강력한 스위핑 기능들을 추가시켰다.

5. 커널 전쟁의 새로운 참가자

ACIS와 Parasolid가 커널 시장의 주요 제품이기는 하나 그들만이 있는 것은 아니다. 다른 회사들도 다음과 같은 세가지 목적 가운데 하나를 위해서 자신의 커널들을 개발해 왔다. Florida의 Palm Bay에 위치한 Varimetrix는 자신의 CAD 프로그램을 위해서 UPG2를 개발하였으며, Solid Modeling Solutions는 다른 업체에게 라이센스를 팔기 위하여 SMLib를 개발하였으며, think3의 커널은 원래 내부에서만 사용할 목적으로 개발되었으나 앞의 두 가지 철학을 모두 겸비하고 있다.

개발자의 전략이 무엇이든간에 10여년의 세월이 걸리는 그러한 노력을 들인데는 다음과 같은 두가지 주요한 이유가 있다. 첫째는 이 분야에서 자기 회사가 더 잘할 수 있다고 생각한 것이 그 하나이다. 두번째, Varimetrix와 think3의 경우는 모두 다른 회사에 의존하지 않고 자기 자신의 커널을 갖고 마음대로 할 수 있기를 원했기 때문이다.

원문에서는 Varimetrix, think3 그리고 SMLib 세가지 커널들에 대한 간략한 소개가 있으나 SMLib는 다른 기사에서 취급하고 있으므로 여기서는 생략하였다.

⊙ Varimetrix

UPG2의 기원은 간단히 UPG로 알려졌던 1992

년으로 거슬러 올라가는데 그 뒤 계속하여 기능이 개선되었다. Varimetrix는 그 대표적인 상품인 VX Vision에 탑재되었고 곧이어 다음 버전에도 탑재되었다.

Varimetrix의 상품 개발 이사인 Mike Crown은 "UPG2를 개발할 때 여러가지 목표가 있었다. 첫번째는 입체와 곡면이 완벽히 통합되어 작업자가 두 종류의 형상을 자유로이 다룰 수 있고, 어느 쪽으로 또는 하나에서 다른 쪽으로 변환을 해야 한다는 것을 생각할 필요가 없도록 다양한 기능을 개발하는 것이었다."라고 말한다.

UPG2는 "Proximity Compliant Tolerance Scheme" 이라는 방법을 사용하여 기하학적 문제를 선택적으로 곧바로 처리하는데 Crown은 이를 "가장 빠르고 신뢰성 있는 엔진"이라고 평가하였다. 기본적으로 UPG2는 두 곡면의 교차시와 같이 필요할 때 마다 모델을 점진적으로 교정한다. 이러한 기능 때문에 UPG2는 원점에 무관하게 음(-)이 아닌 데이터를 처리할 수 있다.

또 다른 특징은 그 성능인데 이는 다중 커널을 구축하면서 많은 부분이 이루어졌다. Varimetrix사는 여러 개의 프로세서를 사용하지 않더라도 자유 곡면을 처리시 충분한 속도를 가지는 커널을 원하였다.

또한, 커널 설계자들은 고성능의 어셈블리 모델링 기능도 원했는데, 이것은 display list 없이 on-demand memory management에 의해 실현되었다. display list를 사용하지 않음으로써 형상과 화면 정보를 동기화 시킬 필요가 없어지게 되었다. UPG2는 화면정보를 형상 정보과 함께 저장하기 때문에 형상이 필요하지 않을 경우에는 자동으로 화면 정보만을 사용하여 대형 어셈블리의 경우에도 훨씬 적은 기억 용량만을 필요로 한다.

Crown은 전혀 새로운 타입의 모델링인 Partition에 대해 아주 고무되어 있다. 기본적인 개념은 대화식으로 사용자에게 보다 많은 형상과 수정 기능을 제공하여 극도로 복잡한 형상의 경우에도 쉽게 모델링할 수 있는 hybrid modeling 형태를 가질 것이다.

⊙ Think3

수년의 개발 과정을 거친 후인 1993년에 think3가 처음으로 모델링 커널로 출시된 이후, 현재 thinkdesign과 thinkshape 제품에 탑재되어 있다. 이 회사의 판매 이사인 Real Morris는 "커널이 자동차의 엔진과 같다면, 가죽 시트나 크롬 도금한 범퍼와 같은 사소한 차이만 있을 뿐 오늘날의 거의 모든 사람들은 동일한 자동차를 운전하는 것이나 마찬가지" 라고 하였다.

또한 그는 "think3의 커널은 사용자들이 이용하기에 좋은 점들이 많은데, 그 중 하나는 Varimetrix처럼 입체와 곡면 모델링을 모두 다룰 수 있다는 것(hybrid modeling) 이다. 그리고 아직 thinkdesign과 thinkshape에서 완벽하게 제공하고 있지는 않지만, 모델링 과정을 저장하고 이용하는(history-based) 곡면 모델링 기능도 주요한 장점중의 하나이다."

Varimatrix와는 달리 think3는 특정 경우에는 그 커널을 판매하기로 결정하였다. HyperMill CAM S/W의 개발사인 OpenMind는 think3를 탑재한 제품을 출시한다고 발표하였다. Morris씨에 따르면 think3는 개발자에게는 단순히 커널 뿐만 아니라 모든 환경을 제공하여 그래픽 시스템과 GUI 제어 등을 포함한 응용 프로그램을 구축할 수 있게 할 수 있다고 하였다.

think3의 또하나의 장점은 유연한 공차(tolerance) 구조라고 한다. 즉, 각각의 기하 요소들은 각자의 공차를 가지고 있다. 이러한 기능의 장점은 모델링된 형상이 다른 시스템으로부터 읽혀질 때 아주 중요하다. 일반적으로 하나의 모델로 여러 개의 부품 모델이 읽혀질 때, 가장 낮은 공차를 가진 부품과의 일관성을 위해 공차를 낮춤으로써 정밀성을 상실하게 되는데 think3의 경우에는 그렇지 않다. think3의 커널은 모델의 토폴로지를 이용하기 위해 토폴로지를 이해할 필요가 없기 때문에 그만큼 오류가 적다고 할 수 있다고 한다.

think3는 하이브리드 모델링(hybrid modeling) 기능을 이용하여 보다 복잡한 형상을 생성할 수 있는 기능을 포함한 여러 기능들을 추가해 나갈 것이다. 또한 곡면과 입체와의 연계성을 증진할 수 있는 방법, 즉 입체를 변경시키면 관련된 곡면이 자동으로 개선되는 기능 등을 개발할 계획이다. 그리고 곡면을 변형시키는 기능과 다중 커널과 관련한 모든 기능들도 추가될 계획이다.

◎ **SMLib**

SMLib에 대해서는 다음 기사에서 자세히 소개되므로 여기에서는 생략하도록 하겠다.

◎ **잠재적인 문제들**

한 회사가 소유하거나 개발한 커널을 기반으로 한 CAD 응용 프로그램을 사용할 때 여러 가지 문제점들이 있을 수 있다. 예를 들면, ANSYS 사의 인기 있는 FEA 제품인 DesignSpace는 ACIS와 Parasolid 파일만을 읽을 수 있으며 몇가지 프로그램들만 직접 작업할 수 있다. 그러나 이러한 문제는 커스텀 커널을 사용하는 프로그램들이 만약 이들 필요한 파일들을 만들어 줄 수 없다면 마찬가지로 문제가 될 수 있다. Varimatrix의 Crown씨는 Parasolid export 기능을 개발중인 상태라고 하며, think3의 Morris씨에 따르면 이러한 문제를 해결하는 방법은 thinkdesign의 사용자들로 하여금 DesignSpace를 구입하지 않고 IGES 나 STEP과 같은 중립파일 형태를 받아 들일 수 있는 다른 대안을 기다리는 것이라고 한다.

메사추세츠 주에 있는 GSSL(www.gsslco.com) 사는 이러한 문제를 해결하는 IGES/SAT Plus와 ParaX Plus 프로그램을 개발하였는데, IGES를 (ParaX의 경우에는 STEP 파일도 포함하여) DesignSpace가 읽을 수 있는 포맷으로 변환해 준다.

6. 결 론

아직도 시장에 새로운 커널이 차지할 자리가 남아 있는가? 하는 문제가 남아 있다. 일반적으로 시장에는 몇몇의 선두 회사와 함께 특정 수요를 만족시키는데 성공한 많은 다른 회사들이 있다. 따라서 이러한 새로운 커널들이 잘 해내길 기대하고 만일 다른 것들이 출현한다 하더라도 놀라지 않기 바란다.

예상했던 바와 같이 대화를 나누었던 모든 개발자들은 커널에 대한 자신의 선택에 만족해 했다. 한편 두 주요 커널들간의 차이점이 점점 용해되어 가고 있다고 느꼈는데, 몇몇 개발자가 같은 이야기를 하는 것을 듣고 약간 놀라지 않을 수 없었다. 그들은 제품의 차별화 시키는지 그리고 무엇이 자신에게 적합한지를 결정하는 주요한 요소는 커널이 아니라 커널위에 추가적인 특징들과 사용자 편의성과 같은 다른 요소들이라고 지적하였다.

이 글은 CADENCE 1999년 11월호 "Kernel Wars-Episode I"의 기사를 바탕으로 최신 발표 자료를 반영하여 수정한 글이다.