



THEME
03

멀티 피직스 시스템을 위한 새로운 수치 해석 기법의 개발과 구조 최적설계의 응용: 고전 역학 이론의 새로운 발견

윤길호 | 경북대학교 기계공학과, 교수 | e-mail : gilho.yoon@gmail.com

이 글에서는 최근 학계와 산업계의 관심이 집중되고 있는 멀티 피직스 시스템(Multiphysics System)의 최근 해석 방법과 이를 이용한 구조최적설계(Structural Optimization) 기법의 응용과 최신 기법에 대해서 소개하고자 한다. 특히, 유체-구조 연성시스템 및 유체-열 시스템의 연성시스템의 구조최적화를 위하여 새롭게 개발된 해석 기법을 소개하고 이를 이용한 구조최적설계에 대해서 소개한다.

CAE를 이용한 멀티 피직스 시스템 해석 소개

멀티 피직스 시스템은 작동을 위하여 두 개 이상의 물리계가 서로 연성이 되어 있는 복합 물리계 시스템을 일컫는다. 현재 많이 쓰이고 있는 IT융복합이나 멀티스케일과 비교하여 두 개 이상의 물리계가 연성이 되어 있는 것을 좀더 강조하기 개념이다. 기계 분야에서는 많이 연구되어 왔던 열탄성(Thermal/Structure)과 유체/구조 연성(Fluid/Structure)시스템뿐만 아니라 의료기기나 지능형 자동차와 로봇 등에서 사용되는 다양한 센서와 액추에이터 등이 멀티 피직스 시스템의 특별한 예로 들 수 있다.

위에서 말했듯이 멀티 피직스 시스템은 기존의 단일

물리계 시스템과 비교하여 여러 물리계가 비선형적으로 연성이 되어 있기 때문에 엔지니어의 경험에 의존하여 설계(design)하기가 어려운 특성이 있다. 많은 물리적 조건과 현상을 모델링하는 방정식도 정확히 세우기 어려울 뿐더러 그런 모델링을 수치적으로 해석하기도 현실적인 어려운 점이 많이 있다. 그러나 더 정밀하고 정확한 시스템을 설계 및 제작하기 위해서는 이런 복잡한 물리 현상의 연성해석이 필요하며 이를 바탕으로 하는 설계가 이루어져야 한다. 지난 몇 년간 국내외로 이러한 다물리계 시스템의 해석과 설계에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며 향후 이 분야에 대한 학계의 연구와 산업계의 투자가 증가할 것으로 예상된다.

다양한 멀티 피직스 시스템을 효과적으로 해석하기

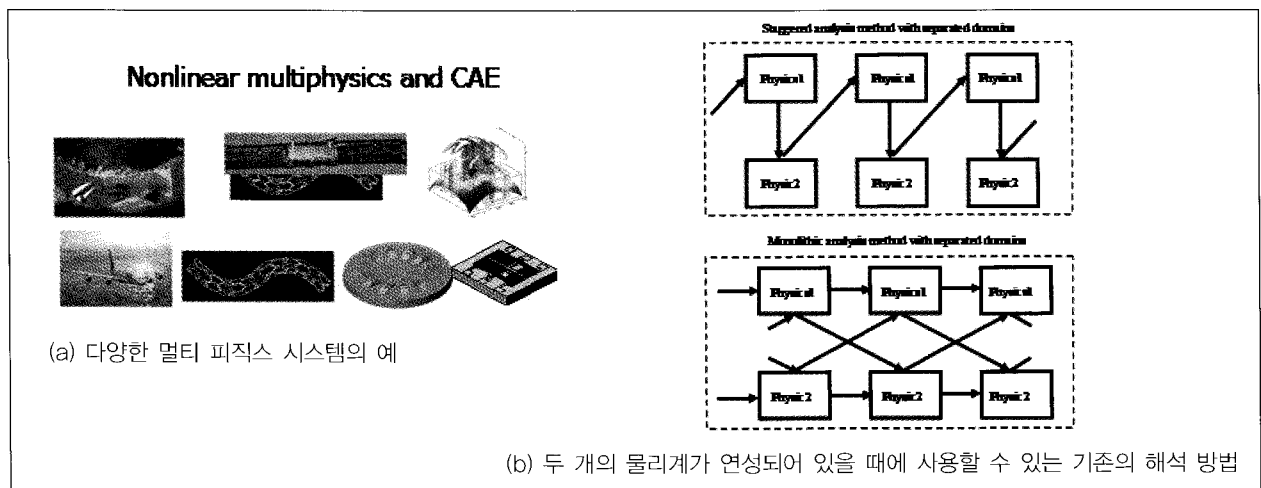


그림 1 멀티 피직스 시스템

위해서 여러 가지 수치해석기법이 개발되었고 사용되고 있다. 이러한 기법들은 기본적으로 두 개 이상의 물리계를 어떤 순서로 해석하느냐에 따라 여러 수치 기법들이 분류된다. 멀티 피직스 시스템의 종류가 많은 것처럼 아주 많은 해석 방법이 있다. 그 중 대표적인 수치해석 방법으로 멀티 피직스 시스템을 구성하는 물리계를 해석하는 순서와 연성하는 방법에 따라 일반적으로 스테이지드 해석방법(Staggered analysis method)과 모노리스 해석방법(Monolithic approach)으로 분류할 수 있다. 일반적으로 멀티 피직스 시스템은 서로 연성이 되어 있어 비선형 시스템거동을 보이며 기본적으로 비선형 시스템 해석이 필요하다. 또한, 이에 따라 해석 시간이 비교적 많이 소요되며 병렬처리를 이용한 해석 또한 연구되고 있다. 그림 1은 다양한 멀티 피직스 시스템의 예를 보여주고 있으며 두 개의 연성 방법을 소개하고 있다.

전통적인 구조해석 분야와 비교하면 이미 프로그램 개발 회사간 경쟁이 심하고 시장이 포화가 된 구조해석 분야와 달리 멀티 피직스 시스템의 해석 분야는 아직까지 신생 분야로 많은 연구 개발이 이루어지고 있는 상황이다. 또한 향후 몇 년 이내에 다물리계 시스템을 고려한 해석을 통한 제품 개발에 본격적으로 사용될 것으로 예측되기 때문에 CAE 프로그램을 개발하는 회사에서 시장을 선점하기 위하여 많은 관심을 기울이고 투자를 하고 있다. 현재 ANSYS, ADINA, ABAQUS, COMSOL 등의 대부분의 상용프로그램에서는 멀티 피직스 시스템을 효과적으로 해석하기 위하여 각 다중 물리계에 특성화된 최적화된 해석 솔버를 자체 연구 개발하여 탑재하고 있다.

본 연구자가 몇 년 동안 이런 멀티 피직스 시스템의 구조최적설계에 관하여 몇 가지 연구를 수행해본 결과 몇 가지 재미있는 사실을 발견할 수 있었다. 첫 번째로 멀티 피직스 시스템의 수치해석을 위하여 기존에 존재하는 단일 물리 법칙의 해석을 위해 개발된 이론이나 해석기법들을 조합해서 사용해 왔다는 것이다. 예를 들어 많은 공학자들에 의해서 연구되어 유체-구조에서 사용되어 왔던 해석 기법의 순서를 전기-구조가 연성이 되어 있는 시스템에 사용하고 있다. 두 번째로는 아

주 상이한 멀티 피직스 시스템들 사이에도 해석의 관점에서 보았을 때 아주 비슷한 특징이 보인다는 것이다. 예를 들어 그림 3은 정전기 시스템과 구조 시스템이 연성이 되어 있는 것과 유체와 구조가 연성이 되어 있는 멀티 피직스 시스템을 보여주고 있다. 아주 상이한 시스템임에도 불구하고 기존의 해석 기법이나 구조 최적설계를 적용할 때 발생하는 여러 문제점을 공유하고 있다는 것을 알 수 있다. 세 번째 특징으로는 아이러니하게도 멀티 피직스 시스템의 구조최적설계를 위한 새로운 해석방법들을 개발하기 위해선 요즘에 많은 연구자들이 관심에서 떨어진 많은 고전 역학 이론들이 사용되어야 한다는 것이다.

새로운 수치해석법의 개발과 멀티 피직스 시스템의 구조최적화-고전 역학 이론의 재발견

다양한 멀티 피직스 시스템의 구조최적화 설계를 효과적으로 수행하기 위해서 새로운 해석기법을 개발해야 할 경우가 종종 생긴다. 특히, 구조최적화 중 구조물의 위상을 설계할 수 있는 위상최적화 기술을 이용할 경우 다른 구조최적화 기술보다 많은 어려움을 맞닥뜨리게 된다. 지금까지 개발되어 있는 대부분의 수치해석 설계기술은 단일 물리 법칙이 지배하는 설계문제에 한정되어 왔기 때문에 멀티 피직스 시스템에 직접 적용할 때 많은 문제점들이 노출되고 있다. 이뿐만 아니라 현재 존재하는 해석 기술만으로는 완전 연성된 물리 현상을 묘사하기 어려운 설계 문제들도 많을 뿐 아니라, 설사 그러한 수치 해석 방법이 존재한다 하더라도 그 기술을 기존의 최적설계기술에 그대로 접목시키는 것이 매우 어렵다. 특히 다물리 현상이 관련된 최적 설계의 경우, 설계문제 자체의 해 공간 자체가 매우 복잡하고 창의적이면서 제작성이 뛰어난 다물리 복합 구조 시스템을 찾기 극히 어렵다. 이런 설계상의 문제점들을 해결하기 위한 연구가 현재 진행 중으로 본 연구자는 현재까지 전기-열-구조, 음향-구조, 유체-구조, 열-유체, 전기-열-유체-구조 물리계가 연성이 되어 있는 시스템의 위상최적설계를 연구한 경험이 있다.

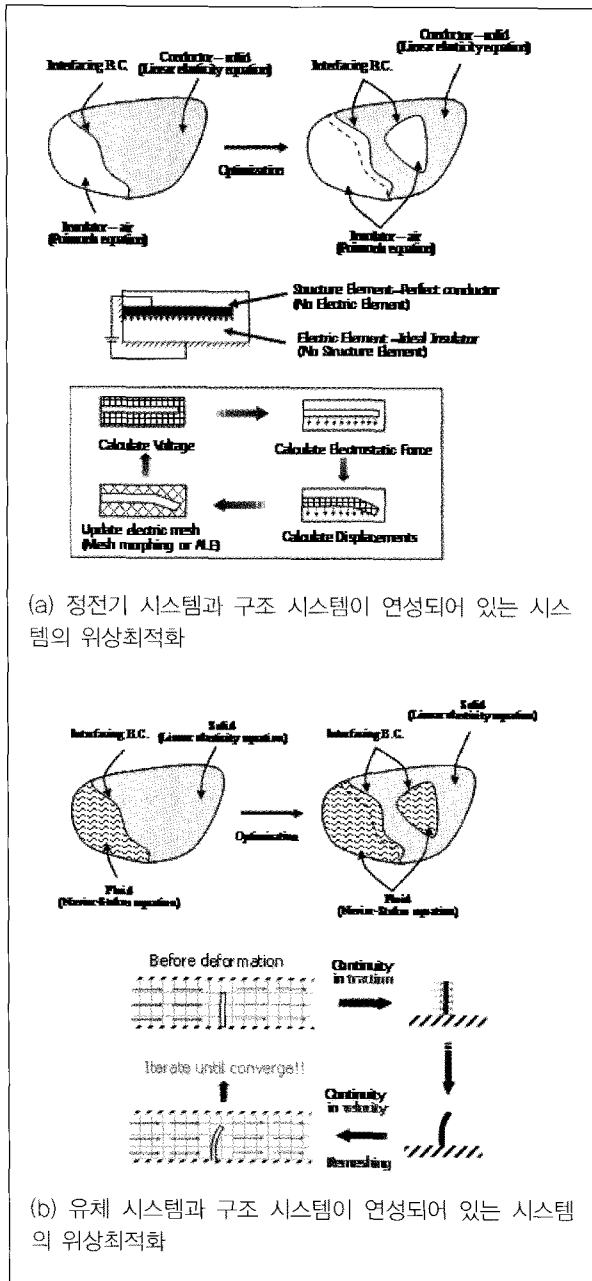


그림 2 비슷한 특성을 가지는 멀티 피직스 시스템 예제

예를 들어 정전기 시스템(Electrostatic; Electric/Structure)의 구조최적설계와 유체-구조(Fluid-structure interaction) 연성 시스템의 구조최적설계를 위해서 연속체역학의 이론을 새롭게 연구된 모노리스 해석 기법을 그림 3, 4에서 보여주고 있다. 기존의 해석 기법이 두 물리계의 영역을 나누어 해석하는 것에 비해서 새

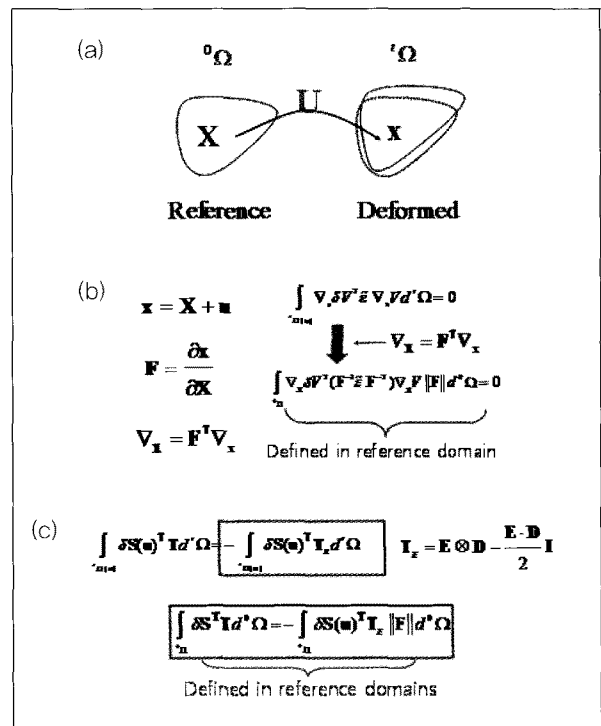


그림 3 연속체 역학의 개념을 이용한 구조-전기 연성 현상의 새로운 해석 방법

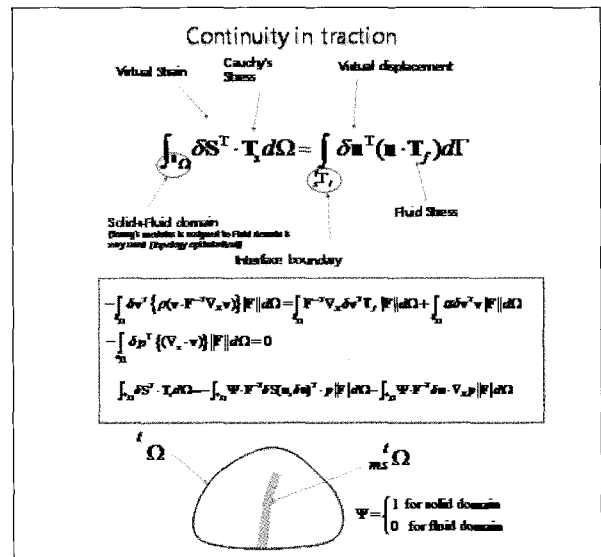


그림 4 연속체 역학의 개념을 새롭게 적용한 구조-유체 연성 현상의 해석(일반적으로 이런 기고문에 이런 식을 쓰는 것 자체가 일반적이지 않고 본 저자도 이런 식들을 잔뜩 쓴 것들은 논문이 아닌 이상 읽어보지도 않는다. 하지만, 여기서 강조하고 싶은 것은 보기에도 어려운 고전 역학 이론을 이용한 새로운 이론들의 개발이 아직도 필요하며 학문의 발전과 연속성을 위해 누군가는 해야 하지 않을까 하는 점이다.)

롭게 제안된 기법은 여러 물리계 영역을 통합하여 해석하는 새로운 방법이다. 또한 구조물의 변형전과 후의 해석 영역이 변화하는 것을 고려하기 위하여 연속체 역학의 변형텐서(Deformation tensor)를 사용하는 것을 보여주고 있다.

그림 5는 위에서 개발된 새로운 모노리스 해석기법을 이용하여 정전기 시스템의 위상최적설계와 유체-구조 연성 시스템의 위상최적설계 예제를 보여주고 있다. 새롭게 연구된 모노리스 해석 기법은 기존의 해석 기법이 전기영역과 구조영역을 따로 나누어 해석하는 것이 비하여 새로운 해석 기법은 한 개의 영역에 두 개의 물리계를 같이 통합하여 해석하는 새로운 방법이다. 이를 이용하여 위상최적설계가 성공적으로 이루어졌으며 이 아이디어를 확장하여 음향-구조, 유체-구조, 전기-열-유체-구조 등이 연성이 되어 있는 시스템에서의 구조최적설계가 연구되고 있다.

맺음말

사회가 점점 고도화되고 기술이 비약적으로 발전하면서 새로운 개념의 제품을 개발하기 위한 다 학제적

인 연구가 꼭 필요하다. 이런 측면에서 여러 개의 물리계가 연성이 되어 있는 멀티 피직스 시스템은 앞으로 더욱 많은 발전이 이루어질 것으로 예상된다. 이런 융합 분야의 연구는 앞으로 계속될 것으로 예상되고 우리 기계공학이 지향해야 할 방향임은 분명하다.

본 저자가 이런 멀티 피직스 시스템을 수년 동안 나름대로 연구하다 보니 아주 재미있는 현상을 발견하였다. 그것은 현재 많은 비선형 멀티 피직스 시스템의 수치해석을 위하여 존재하는 수치해석 기법들이 아주 탄탄한 수학과 공학적인 이론을 사용하지 않는다는 것이다. 단지, 기존의 멀티 피직스 시스템의 해석 기법을 초기에 개발하는 사람들이 아주 초보적인 기계공학 이론과 프로그램을 연동해서 개발하고 있다는 느낌을 지울 수 없다. 현재 이런 현상이 고착화되어 아주 탄탄한 공학이론을 기반으로 하여 아주 새로운 방향의 수치 이론을 개발하는 것이 오히려 점점 더 어려워지는 것 같다.

우리나라 대학교의 기계공학과에서는 현재 융합 공학의 시대를 맞아 많은 변혁을 겪고 있다. 특히, 주요 연구 중심 대학 및 연구소의 교원 및 연구원 임용 때 이런 융합 공학을 하지 않으면 지원자체가 어려운 것 같다. 물론 새로운 학문의 연구의 필요성을 부정하는 것

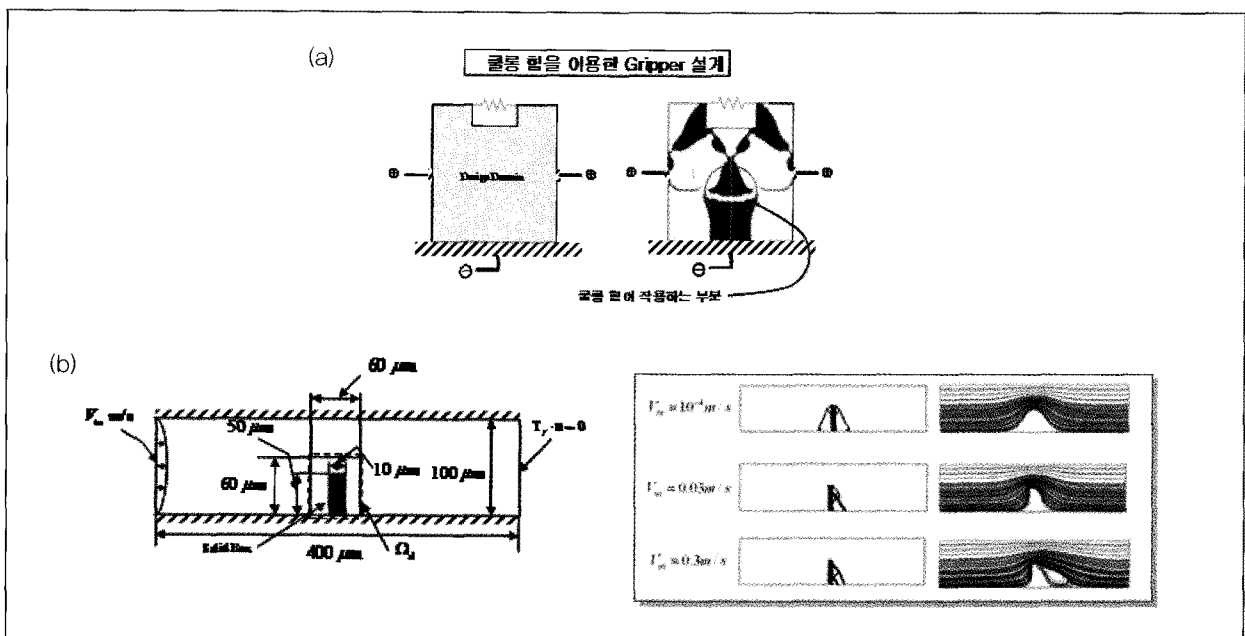


그림 5 새로운 해석 기법과 이를 이용한 정전기 시스템과 구조 시스템이 연성되어 있는 시스템의 위상최적화

은 아니다. 하지만, 기계공학에 관련된 기존의 연구원 및 교수님들 심지어 학부생들도 오히려 '융합'이라는 미명하에 바이오, 멤스, 나노, 재료 등의 분야를 하지 않으면 연구비를 수주하지 못하는 것 같다. 또한, 소위 무한 경쟁 대학교 사회가 되면서 경쟁에 필요한 많은 수의 SCI급 논문을 써야 하는 상황에 내몰리는 것 같아 씁쓸하다. 기계공학의 CAE 및 응용역학 부문은 정말 제대로 된 연구 및 논문을 일 년에 1~3편 이상 내기 어려운 것 같다. 그런데, 이런 실적으로는 경쟁력을 갖추기에는 어렵다. 그러다 보니 뉴턴 이후로 연구되어 왔던 전통적이고 배우기 아주 어렵고 학위 논문도 쓰기

어려운 기계공학 학문(탄성학, 소성학, 고등유체역학, 연속체역학, 트라이볼로지, 관셀이론 등등)이 등한시 되고 논문을 많이 쓸 수 있는 주제만을 쫓아가는 것이 아닌가 하는 아쉬움을 떨쳐버릴 수 없다. 더 나아가 이런 배우기 어렵고 연구하기 힘든 학문들이 단절이 된다는 느낌을 저버릴 수 없다. 그러나 아이러니하게도 본 저자가 멀티 피직스 시스템의 해석과 최적화를 연구하다 보니 배우기도 어렵고 논문쓰기도 어려운 이런 전통적인 기계공학 이론들이 멀티 피직스 시스템의 해석과 이를 이용한 구조최적화에 적용되며 새로운 이론 개발에 필수 불가결한 것 같다.



기계용어해설

실험자동화(LA: Laboratory Automation)

계측기나 실험기 등을 온라인으로 접속하여 측정, 검사, 실험의 자동화를 이룬 것.

레커 에나멜(Lacquer Enamel)

금속이나 목재면에 적합한 휘발건조성의 도료에 수지, 가스제 등의 용제를 녹여서 만든 용액에 안료를 분사하여 만든 것.

에너지 보존의 법칙(Law of Conservation of Energy)

외부와 에너지의 교환이 없으면 에너지를 바꾸어도 전체의 양은 항상 일정하다는 법칙.

왼손법칙(Left-hand Rule)

자장 내에서 자력선에 수직으로 놓인 도선을 자장에 수직으로 이동했을 때 도선에 흐르는 전류의 방향, 또는 반대로 그 도선에 전류를 통했을 때 도선이 받는 힘의 방향을 나타내는 법칙.

연축전지(Lead Accumulator)

양극에 과산화연, 음극에 납, 전해액으로 묽은 황산을 쓰는 대표적인 2차 전지.

S형 꼬임 로프(Left-lay Rope)

몇 개의 철사를 꼬아서 한 줄의 새끼줄을 만들고, 다시

6가닥의 새끼줄을 꼬아서 1줄의 마 로프를 중심으로 꼬아서 만든 줄.

수준기(Level Vial)

유리관 속에 알코올 또는 에테르 등을 넣고 약간의 기포를 남겨 놓아 기포의 위치로 수평을 재는 기계.

레벨링 블록 (Levelling Block)

나사를 돌리면 췌기형의 블록이 이동하여 높이를 조절할 수 있도록 만들어 기계의 설치나 공작품의 체결에 쓰이는 블록.

경수로(Light Water Reactor)

보통의 물을 감속재, 냉각수로 쓰기 때문에 중래의 화력발전 기술을 그대로 활용할 수 있는 원자로.

피뢰기(Lightning Arrester)

전압을 강하시키기 위하여 전류를 재빨리 대지로 방류시키고 작동이 종료하면 원상태로 되돌리는 보호장치.

라이프 사이클 코스트(LCC: Life Cycle Cost)

대형 시스템의 예정된 유효기간 중 직접, 간접, 개발, 비개발 및 기타 관련되는 코스트로서 그것을 설계, 개발, 생산, 조업, 보전, 지원의 과정에서 발생하는 것과 발생할 것으로 예측되는 것을 포함한 총합 코스트.