

# 유동해석 데이터 가시화 어플리케이션을 위한 동적 기능 구성 사용자 인터페이스

허영주, 이종연, 김민아  
한국과학기술정보연구원  
e-mail:popea@kisti.re.kr

## The Dynamic Function Configuration User Interface For CFD Data Visualization Applications

Young-Ju Hur, Joong-Youn Lee, Min-Ah Kim  
Korea Institute of Science and Technology Information

### 요 약

본 논문에서는 유동해석 데이터를 기반으로 하는 가시화 어플리케이션을 위한 동적 기능 구성 사용자 인터페이스를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 동적 기능 구성 사용자 인터페이스는 해석 데이터의 메타 데이터 분석 결과를 이용, 데이터 중심의 사용자 인터페이스를 제공함으로써 가시화 관련 기반 지식이 없는 유동해석 분야 전문가들이 보다 용이하게 원하는 가시화 결과를 얻을 수 있게 해준다. 제안한 사용자 인터페이스의 사용성을 검증하기 위해 응용 분야 전문가들을 대상으로 사용성 평가를 진행하고 그 결과를 제시한다.

### 1. 서론

유동 해석이란 유체와 표면간의 상호작용 및 그로 인한 흐름의 변화와 관련 특성을 파악하는 해석을 가리키는 것으로, 특히 이 중 한 분야인 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이후 CFD)은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용, 열이나 유체의 흐름을 수치 기법의 알고리즘으로 해석하는 학문을 가리킨다. 특히 CFD 분야는 자동차나 항공기 설계 분야에서 실험을 대체하는 방식으로 널리 활용되고 있다. 한편, 고성능 컴퓨팅 기술의 발달은 시뮬레이션 데이터의 정밀도를 높임으로써 데이터의 신뢰도를 크게 향상시켜 왔다. 반면 이런 정밀한 시뮬레이션의 결과로 생성된 데이터의 크기와 복잡도 역시 기하급수적으로 커졌으며, 이런 복잡한 데이터를 보다 직관적으로 분석하기 위한 수단으로 활용되고 있는 것이 데이터 가시화 기술이다. 이런 데이터 가시화 기술을 응용 연구자들이 쉽게 접근할 수 있도록 다양한 가시화 응용 어플리케이션이 개발돼 왔다.

가시화 응용 어플리케이션의 사용자는 응용 연구자일 가능성이 높으며, 따라서 가시화 기술보다는 시뮬레이션 데이터 방면에 보다 전문적인 지식을 갖추고 있다. 이들은 특히 자신의 전문 분야에서 필요로 하는, 특화된 가시화 기능을 주로 사용하게 되는데, 이런 경우 범용의 데이터 가시화 기능 위주로 구성된 사용자 인터페이스는 응용 연구자의 가시화 어플리케이션에 대한 진입 장벽을 높이는 결과를 초래해 왔다.

본 논문에서 제안하는 동적 기능 구성 사용자 인터페

이스는 유동해석 분야 응용 연구자의 사용성을 고려해서 구성된 사용자 인터페이스로, 해당 분야 연구자가 보다 효율적으로 손쉽게 시뮬레이션 데이터를 분석할 수 있는 가시화 어플리케이션 개발의 토대를 제시한다.

### 2. 관련 연구

ParaView는 Kitware사에서 개발한 범용 가시화 어플리케이션으로 VTK(Visualization ToolKit)[1]을 기반으로 개발된 오픈소스 소프트웨어다. ParaView는 여러 응용 분야의 데이터에 대한 범용 가시화 기능을 지원함에 따라 다양한 기능을 유연성 있게 데이터에 적용하는 것이 가능[2]하다. 그러나 특정 분야에서 보는 시각으로 분석해봤을 때는 사용자들이 필요로 하는 기능에 비해 UI가 복잡하게 구성돼 있어서 일반 사용자들이 가시화에 어려움을 겪는 편이다.

CFD 분야에 특화된 가시화 어플리케이션으로는 EnSight[3]와 Tecplot[4]을 들 수 있다. 이 두 어플리케이션은 CFD 데이터의 후처리를 위한 어플리케이션으로 응용 연구자들의 요구에 맞춘 다양한 기능을 제공하는 반면, 사용 패턴에 대한 고려가 없이 설계된 UI를 제공하기 때문에 CFD 분야에 전문화된 가시화 도구임에도 불구하고 해당 분야 연구자들이 사용하기에 진입 장벽이 높다.

소프트웨어의 품질을 정의하는 관점은 다양하게 나타날 수 있으나, 엔드유저 입장에서는 UI가 소프트웨어의 품질을 결정짓는 주요 요소라 할 수 있다. 소프트웨어의 사용자 인터페이스는 사람과 정보 매체의 점점 또는 채널

이라 표현하며, 그 개념은 보다 사용하기 편한 시스템을 만들기 위해 사용자의 인지적 측면에서 디자인하고 사용 편리성을 평가하는 것이다[5]. 이런 사용 편리성은 사용자의 필요와 요구에 보다 가까운 형태로 시스템을 사용하기 쉽게 만드는 것으로 정의할 수 있는데, 사용성에 대한 국제 표준 가이드인 ISO 9241-11은 효과성(effectiveness), 효율성(eficiency) 및 만족성(satisfaction)으로 사용성을 정의한다[6].

본 논문에서는 사용성에 대한 국제 표준 가이드인 ISO 9241-11[6]에서 정의한 효과성(effectiveness), 효율성(eficiency) 및 만족성(satisfaction)을 이용해서 제시한 사용자 인터페이스의 사용성에 대한 객관적 지표를 제시한다.

### 3. 동적 기능 구성 사용자 인터페이스

#### 3.1 기존 유동해석 데이터 가시화 어플리케이션 사용자 인터페이스 분석

사용자의 사용성 관점에서 기존 가시화 어플리케이션을 분석한 결과, 기존 UI의 문제점은 다음과 같다.

- 범용성

일반적으로 가시화 어플리케이션은 다양한 응용 연구 분야를 지원하기 위한 범용 사용자 인터페이스를 토대로 구성돼 있으며, 특정 전문 분야 사용자의 필요성은 간과한 상태로, 모든 가시화 기능을 나열하는 형태로 구성돼 있다. 이런 범용 UI 구성은 응용 연구자들에게 복잡하고 사용하기 어렵게 느껴질 뿐만 아니라, 원하는 기능을 인지하는데 많은 노력이 수반된다.

- 기능 개체 중심 UI

사용자가 필요로 하는 기능 완성을 위한 워크플로우(workflow)를 무시하고 구현 편의성을 위주로 구성된 개체 중심 UI의 문제점은 한 기능을 수행하기 위해 사용자가 여러 단위 기능을 파악하고 숙지해야 한다는 것이다. 이런 구성의 UI는 가시화 전문가가 아닌 응용 전문가인 사용자가 직관적으로 파악하기 어려울 뿐만 아니라, 최종 목적하는 기능을 수행하기 까지 여러 단계의 과정을 거쳐야하기 때문에 수행 시간도 늘어날 수밖에 없다.

- 사용 빈도 및 용어를 고려하지 않은 UI 배치

많은 기능을 나열할 경우, 사용빈도가 높은 기능을 최

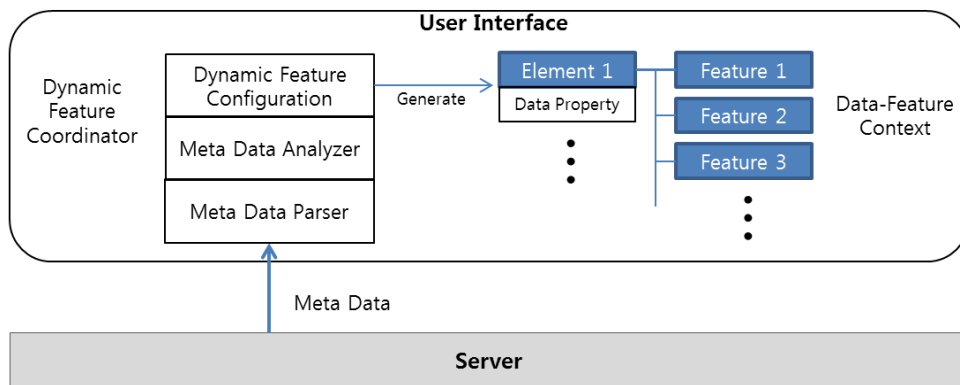
우선으로 주요 메뉴에 배치한다면 사용성과 작업 효율성을 높일 수 있다. 그러나 기존 가시화 어플리케이션들은 사용 빈도에 대한 고려 없이 나열식으로 UI를 배치했다.

#### 3.2 동적 기능 구성 사용자 인터페이스

일반적으로 가시화 어플리케이션의 사용자는 가시화, 혹은 전산 관련 지식보다는 시뮬레이션 데이터가 기반하는 응용 분야에 보다 전문적인 지식을 가지고 있으며, 응용 분야에 대한 특정 가시화 기능을 주로 사용하게 된다. 따라서 사용자는 가시화 기능보다는 데이터에 대한 이해도가 높은 편이며, 특정 데이터를 구성하는 구성 요소가 주어졌을 때 어떤 방식으로 데이터를 가공할지에 대한 판단을 더 쉽게 내릴 수 있다. 즉, 응용 분야 사용자들은 가시화 기능에 대한 선택을 먼저 내리고 이후 적용할 데이터 구성요소를 선택하는 형태의 UI보다는 데이터 구성요소에 대한 적용 기능을 선택하는 형식의 UI에 보다 쉽게 적용할 수 있으며 보다 효율적으로 원하는 기능을 수행할 수 있다.

시뮬레이션 데이터를 기반으로 동적 UI를 구성하기 위해서는 시뮬레이션 데이터에 대한 정보를 사전에 확보, 분석할 수 있어야 한다. 이를 위해서 시뮬레이션 데이터에 대한 메타 데이터를 활용한다. 유동해석 데이터의 경우, 메타 데이터에는 시뮬레이션 데이터를 구성하는 영역과 변수에 대한 정보가 기록된다. 즉, 데이터 구성요소의 명칭, 데이터 타입, 속성 등의 정보가 기록되며, 이 메타 데이터는 어플리케이션 사용에 앞서 사전에 저장돼야 한다.

데이터에 대한 메타 정보는 데이터 로딩 작업을 수행하면서 어플리케이션에서 로딩하며, 로딩된 메타 데이터는 동적 기능 구성부(Dynamic Feature Coordinator)로 전달된다. 동적 기능 구성자는 메타 데이터를 파싱하는 파서, 메타 데이터 분석자 및 동적 기능 구성자로 구성된다. 파서는 서버로부터 읽어 들인 메타 데이터를 파싱, 분석자로 전달하는 역할을 수행하고, 분석자는 파싱된 메타 데이터를 토대로 데이터 구성요소에 대한 기능 연결을 위한 데이터 구조를 생성한다. 동적 기능 구성자는 분석된 메타 데이터를 토대로 각 데이터 구성요소별로 실행 가능한 기능을 구성해 넣음으로써 사용자 선택에 따라 기능 UI를 구성하는 역할을 수행한다(그림 1). 결과적으로 동적 기능



(그림 1) 동적 기능 구성을 위한 Dynamic Feature Coordinator

구성부는 각 데이터 구성요소에 대해 속성 및 실행 기능 목록으로 구성된 컨텍스트 정보를 제공하며, 이 컨텍스트 정보를 바탕으로 사용자 선택에 기반한 동적 기능 UI가 구성된다.

기존의 유동해석 데이터 가시화 어플리케이션은 대부분 데이터 속성에 따른 기능 분류 없이 기능 나열식으로 구성돼 있다. 따라서 사용자는 익숙하지 않은 가시화 용어로 구성된 기능을 먼저 선택한 후, 적용할 데이터 구성요소를 선택하기 때문에 원하는 기능을 적절히 선택하기 어려울뿐더러 적용할 수 없는 기능 선택으로 인한 기능 오류율도 높았다. 그러나, 동적 사용자 인터페이스는 데이터 구성요소를 먼저 선택하면 해당 데이터 속성에 대해 실행 가능한 기능만을 나열하는 방식이므로 사용자는 보다 쉽게, 오류 없이, 효율적으로, 원하는 데이터를 가시화할 수 있다.

**4. 결과**

응용 연구자들의 사용 편의성을 고려해서 구성 유동해석 데이터 가시화 어플리케이션의 전체적인 UI 레이아웃은 (그림 2)와 같다. 동적 기능 구성을 위한 핵심 UI는 리스트 패널과 옵션 패널로, 리스트 패널에는 데이터 구성요소를 나열해서 선택할 수 있게 구성하고, 옵션 패널에는 선택된 데이터 구성요소를 토대로 기능을 선택하고 기능에 따른 옵션을 입력할 수 있게 했다.

동적 기능 구성 사용자 인터페이스의 사용성에 대한 객관성을 확보하기 위해 ISO 9241-11에서 정의한 지표인 효과성, 효율성, 만족성의 3가지 요소를 기반으로 사용성 평가를 실시했다. 평가 참가자는 향후 사용자 그룹이 될 가능성이 높은 5명의 전산유체공학 전문가들로 구성했으며, 기존에 CFD 분야 해석 도구 사용 경험이 있는 사용자들이다. 사용성 측정을 위해 CFD 분야에서 주로 사용하는 가시화 관련 주요 기능 중 12가지 기능을 선정, 시나리오를 구성했으며, 상용 유동해석 어플리케이션인 EnSight와 비교 분석했다.

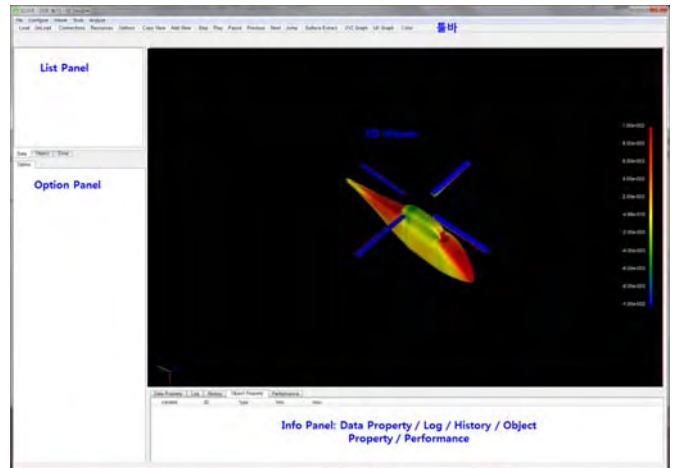
• 효과성

사용성 관점에서의 효과성이란 사용자가 주어진 작업을 끝낼 수 있는지 여부를 나타내는 요소로, 본 실험에서는 도움 요청 횟수와 조작 에러 발생 횟수를 측정했다. 해당 시나리오를 모두 수행하는 동안 동적 기능 구성 UI에서 발생한 사용자의 도움 요청 횟수는 전체 1회였으며, 조작 오류 발생 횟수는 2회였다. 반면 EnSight의 도움요청횟수는 12회로 사용자마다 평균 2.4회의 도움을 요청했다. EnSight에서 발생한 조작 오류는 모두 5회다.

• 효율성

효율성이란 작업 수행에 있어서의 효율성을 나타내는 요소로, 본 실험에서는 주요 작업의 평균 수행시간을 측정함으로써 효율성을 측정했다.

각각의 주요 작업에 대한 평균 수행시간은 <표 1>과 같다.



(그림 2) UI 레이아웃

<표 1> 주요 작업 평균 수행시간 및 표준편차

기능	동적 기능 구성 기반 UI(초)		EnSight(초)	
	수행시간	표준편차	수행시간	표준편차
데이터 로딩	38.2	13.1	94	12.5
오브젝트 조작	18	4.7	26.4	13.0
Cutting Plane 생성	36.2	18.4	163.4	35.2
Cutting Plane 이동/회전	97	138.9	67.7	54.0
Cutting Plane 삭제	9.6	4.2	21.6	16.9
CoutourLine 생성	45	16.9	50.8	11.7
IsoSurface 생성	25.4	7.4	48.2	20.1
IsoSurface 삭제	5.4	3.5	9	3.1
애니메이션 실행	34.8	15.0	56.2	16.8
Streeline 생성	78.8	23.1	146.2	27.8
Particle Tracing	11	6.8	111.2	50.2
이미지 저장	7.2	3.9	40	41.5
<b>총 평균 수행시간</b>	<b>33.9</b>		<b>69.6</b>	

전체 작업에 대한 평균 수행시간은 동적 기능 구성 UI가 33.9초, EnSight가 69.6초로 워크플로우를 고려한 동적 기능 구성 UI의 수행 시간이 약 2배 정도 빠른 것을 알 수 있다. Cutting Plane의 이동/회전 조작에서 EnSight에 비해 오랜 시간이 소요된 이유는 사용성 향상을 위해 측 방향으로 위젯을 정렬하는 UI를 추가했는데, 사용자들이 이 UI의 위치를 파악하는데 다소 시간을 소요한 데 기인한다. 특히 한 사용자가 해당 UI의 위치를 파악하는데 503초의 시간을 소요했으며, 이에 따라 해당 작업에 대한 평균 수행시간이 상승했다.

• 만족성

만족성은 가장 널리 사용되고 있는 방법인 SUS[8]를 이용, 소프트웨어에 대한 만족성을 측정했다. SUS는 이미 통계적 신뢰성을 확보하고 있으며, 적은 사용자로도 신뢰도가 높은 결과를 낼 수 있는 측정 방식이다[9][10].

SUS 응답 결과는 <표 2>와 같다. 동적 기능 구성을 기반으로 하는 UI는 상위 10% 이상에 해당하는 90.5점을 획득했으며, EnSight는 하위 15% 이하에 해당하는 44.5점을 획득했다. 이는 일반적으로 가시화 어플리케이션들이 사용성은 고려하지 않은 채 기능 제공에만 그 목적을 두기 때문이다.

<표 2> SUS 측정 결과

항목	동적 기능 구성 기반 UI	EnSight UI
SUS	80.5(점)	44.5(점)

### 5. 결론 및 향후 계획

동적 기능 구성 사용자 인터페이스는 시뮬레이션 데이터에 대한 분석을 토대로 메타 데이터를 생성, 활용해서 데이터 속성에 따른 기능을 매칭함으로써 사용자의 데이터 선택에 따라 적용 가능한 기능을 제시하는 방식이다. 본 방식은 기존의 기능 위주 인터페이스와 차별되는 데이터 중심의 사용자 인터페이스로, 기존 가시화 어플리케이션들에 비해 높은 사용성을 확보할 수 있다.

본 논문에서 제안한 기법은 데이터를 기반으로 가시화를 수행하는 다양한 분야에서 활용 가능하다. 향후에는 보다 다양한 분야의 데이터에 대한 분석을 토대로 활용 분야를 확장해나갈 예정이다. 또한, 사용성에 대한 심도있는 고찰을 통해 보다 편의성을 높인 사용자 인터페이스를 개발해나갈 예정이다.

### 참고문헌

[1] W.Shroeder, K.Martin, and B.Lorensen, "Visualization Toolkit" 4<sup>th</sup> Ed. Kitware, 2006.  
 [2] J. Ahrens, B.Grevici, and C.Law, "ParaView: An End-User Toolkit for Large Data Visualization", Elsevier, 2005.  
 [3] <http://www.ensight.com>  
 [4] <http://www.tecplot.com>  
 [5] Eun-young Kim, Jae-ha You, Se-jin Jung, Young-seon Kweon, "Study on Interface for enhancing customer satisfaction in Internet Shopping Malls", Proceedings of The Korea Society of Manager Information Systems, pp.532-540, 2003.  
 [6] ISO 9241-11, "Ergonomic requirements for office work with visual display terminals(VDTs)-Guidance on usability"  
 [7]Dumas, J.S. and Fox, J.E., "The Human Computer Interaction Handbook(2nd Edition)", Taylor and Francis, 2008  
 [8] Brook J. "SUS: a quick and dirty usability scale", Taylor and Francis, 1996

[9] <http://www.usability.gov>

[10] Lewis J.R. & Sauro, J., "The Factor Structure of the System Usability Scale", Proceedings of the Human Computer Interaction International Conference(HCII), 2009.