	<h2 style="text-align: center;">통계적 에너지 해석법을 이용한 소음·진동 해석 프로그램: AutoSEA2</h2> <p style="text-align: center;">임종윤* (한국ESI)</p>
---	---

1. 머리말

자동차, 철도 차량, 선박, 항공기 등의 복잡한 구조물에서의 소음·진동 거동을 해석하기 위해서는 운동방정식이나 파동방정식에 기초한 전통적인 해석 방법인 유한요소법(FEM)이나 경계요소법(BEM)을 적용하는 데에는 한계가 있다. 구조물이 크거나 해석 주파수 대역이 높은 경우, 해석 대상의 모드 밀도(modal density, 단위 주파수당 공진 모드의 개수)가 높아 경계조건이나 해석대상의 작은 변화에 대해서도 모드가 급격하게 변하게 되는 불확실성(uncertainty)이 증가하게 되며, 이를 유한요소법 또는 경계요소법 등을 이용하여 해석할 경우에는 그 계산시간이 매우 오래 소요되고 모드 거동 등의 결과에 의미를 부여하기 어렵게 된다. 기존의 유한요소법이나 경계요소법으로는 고주파수 대역에서 모드 사이의 상호작용을 분석하기에는 너무 복잡하며, 특히 경계요소법의 경우 고주파수 대역에서는 유한요소의 크기를 작게 하여야 함에 따라 계산시간이 매우 오래 소요된다. 예를 들어, 자동차의 경우, 일반적으로 200 Hz 이상의 소음·진동 해석은 기존의 유한요소법으로 적용하기 곤란하다. 따라서 모드 밀도가 높은 구조물이나 공진 모드의 수가 많은 주파수 대역의 해석을 위해서는

새로운 해석법이 요구되었고 성공적인 해석법으로 인정된 것이 바로 통계적 에너지 해석법(SEA : statistical energy analysis)이다.

이러한 비교적 큰 구조물이나 관심주파수 대역이 높은 시스템의 소음·진동 해석에 통계적 에너지 해석법이 필요한 기본적인 배경은 몇 가지로 설명할 수 있다. 일반적으로 주파수 대역이 증가함에 따라 주파수 대역 내의 공진 모드의 수는 급격히 증가하며 특히 소음과 관련되어 있는 음향 시스템의 경우는 매우 크게 증가하는 경향이 있으며 이렇게 모드 밀도가 높은 대역에서 기존의 전통적인 해석방법은 실용적이지 못하며, 모드 중첩(modal overlap)이 매우 크게 발생하여 의미 없는 결과를 줄 수도 있다. 또한 고주파수 대역에서의 소음·진동 응답은 통계적 에너지 해석법으로 예측된 평균값에 접근하는 경향이 있다. 그리고 더욱 근본적인 이유로는, 해석 대상물의 제작 및 조립상태, 물성치의 변동, 작동조건, 공간적인 편차 등으로 인해 시스템 자체에 변동성 및 불확실성이 내재되어 있으며 전통적인 방법은 이를 고려하기 어려운 점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 운동방정식 또는 파동방정식에 근거한 기존의 결정론적 방법(deterministic method)에서 벗어나 통계적 에너지 해석법은 하부시스템 사이의 음향·진동 에너지

지 흐름을 다루는 것이다.

통계적 에너지 해석법은 해석하고자 하는 대상을 여러 개의 하부시스템(subsystem)으로 나누고 이 하부시스템들 사이의 소음 · 진동 에너지 평형을 고려함으로써 각 하부시스템의 여러 주요 인자를 가지고 하부시스템의 에너지를 구하고 다시 이 에너지로부터 그 하부시스템의 소음 · 진동량을 구하는 것이다. 통계적 에너지 해석법이 적절히 적용되기 위해서는 무엇보다도 하부시스템의 모드 밀도가 어느 정도 높아야 한다. 즉 모드 수가 많을수록 모집단의 수가 많다는 것을 의미하며 통계적 에너지 해석법의 신뢰도가 높아지는 것이다. 자동차의 경우 150~200 Hz 이상의 주파수 대역의 해석에 적합한 것으로 알려져 있다.

2. SEA 방정식과 해석과정

n 개의 하부시스템으로 이루어져 있는 시스템에 대해, 각 하부시스템에 대해 소음 · 진동 에너지 평형을 고려하여 식을 세우면 아래와 같은 SEA 방정식을 얻을 수 있다. 이 식에서 SEA 인자 행렬인 $[A]$ 는 각 하부시스템에 대한 모드 수, 감쇠손실계수(damping loss factor), 연성손실계수(coupling loss factor)로 이루어져 있다. 모드 수는 해석 주파수 대역에서의 공진모드의 수를 의미하는데, 모드 수가 클수록 그 하부시스템의 진동 또는 음향 에너지를 저장할 수 있는 능력이 크다는 것을 의미한다. 감쇠손실계수는 하부시스템의 에너지 소산의 정도를 나타내는 지수로, 해석적으로 얻기는 곤란하며 시험을 통해 얻어지는 것이 보통이다. 연성손실계수는 하부시스템 사이의 에너지 전달의 정도를 나타내는 지수로 모드 밀도가 높은 주파수 대역에서는 해석적으로 얻을 수 있다. 여기서 모드 수와 연성손실계수를 해석적으로 구해진 값을 사용하여 SEA를 수행하는 것을 analytical SEA라고 하고 SEA 인자 행

렬을 실험을 통해 규명하는 것을 experimental SEA(ESEA)라고 한다.

$$\omega \begin{bmatrix} (\eta_1 + \sum_{i \neq 1} \eta_i) N_1 & -\eta_{12} N_1 & \dots & -\eta_{1n} N_1 \\ -\eta_{21} N_2 & (\eta_2 + \sum_{i \neq 2} \eta_{2i}) N_2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\eta_{n1} N_n & \dots & \dots & (\eta_n + \sum_{i \neq n} \eta_{ni}) N_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ N_1 \\ \dots \\ E_n \\ N_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Pi_1 \\ \dots \\ \Pi_n \end{bmatrix}$$

$$\omega[A]\{\epsilon\} = \{\Pi_n\} \Rightarrow \{\epsilon\} = \frac{1}{\omega}[A]^{-1}\{\Pi_n\}$$

일반적으로 SEA를 적용하여 시스템의 소음 · 진동 응답을 해석하는 과정은 다음과 같다.

- 해석대상을 여러 개의 하부시스템으로 나눈다. 자동차의 경우, 적게는 수십 개에서 많게는 수백 개의 하부시스템으로 나눈다. 하부시스템으로 나누는 기준은 지배적인 모드 거동이 상이한 곳 또는 임피던스 변화가 크게 일어나는 곳으로 구분하며 보통은 재료특성이 다르거나 볼팅, 용접 등으로 연결된 곳 등도 기준으로 하나 더 세밀한 구분을 위해서는 해석대상의 소음 · 진동 거동을 잘 이해하는 숙련자에 의해서 구분되어야 한다. 예를 들어 자동차의 경우, 크게는 engine compartment, hood, fender, door, windshield, door window, floor panel, car interior, roof panel, trunk volume, trunk wall 등으로 나눌 수 있는데 좀더 세밀한 모델을 위해서는 각 부분을 모드 거동을 관찰하여 적절히 나누어야 한다. 보통 공기 투과 소음을 해석하는 경우에는 구조 하부시스템과 음향 하부시스템 사이의 면적 연결부(junction)가 중요하므로 구조물의 매우 세밀한 모델은 필요하지 않으며 또한 구조 하부시스템 사이의 점, 선 연결부에 대해 해석적인 근사모델을 적용해도 무방하다. 이에 반해 구조 기인 소음의 해석에는 구조 하부시스템 사이의 점, 선 연결부에 대한 좀더 현실적인 모델이 필요할 수가 있다. 자동차의 경우 상세 SEA 모델을 할 경우 약 300~400 개의 구조 하부시스템(structural subsystem)과 약 100 여 개의 음향 하부시스템(acoustic subsystem)이 사용된다.

• 각 하부시스템의 주요 인자(모드 밀도, 내부 손실계수, 연성손실계수)를 실험 또는 해석에 의해 구하고 이를 입력한다. 이 때 실험적인 방법으로 ESEA가 사용되기도 하는데 하부시스템의 주요 인자를 실험을 통해 용이하게 구하기 위해서는 power injection method를 이용한 ESEA가 이용된다.

• 해석주파수 대역에 대해 각 하부시스템 사이의 에너지 평형방정식을 푼다. 보통 해석주파수 대역은 1/3 또는 1/1 옥타브 대역으로 정한다. 에너지 평형 방정식은 선형 대수방정식이어서 수백 개의 하부시스템으로 구성된 자동차의 경우도 매우 빠른 시간에 그 결과를 얻을 수 있다.

• 각 하부시스템의 에너지를 소음 또는 진동량으로 환산한다. 통계적 에너지 해석법에서는 주파수 대역에 따른 각 하부시스템의 공간평균된 (spatial averaged) 소음·진동량을 얻을 수 있다. 즉, 각 하부시스템의 위치에 따른 국부적인 응답의 변화는 얻을 수 없으나, 자동차의 경우, 자동차 전체를 모델링함으로써 각 주요 위치에서의 소음·진동 거동에 대한 정보는 충분히 얻을 수 있으며 이를 근거로 소음·진동 저감 대책을 신뢰성 있게 마련할 수 있다.

• 각 하부시스템의 소음·진동 응답 및 그 경로를 분석하여 구조물 변경, 연결부위 변경, 흡·차음재 적용 등의 다양한 대책에 대한 입력으로 다시 통계적 에너지 해석을 실시하여 개선 정도를 확인한다.

3. AutoSEA2

AutoSEA2는 통계적 에너지 해석법을 이용하여 복잡한 시스템의 소음·진동 응답을 해석하는 상용 소프트웨어로 전세계적으로 가장 널리 사용되고 있으며 자동차를 비롯하여 철도차량, 항공기, 선박, 우주선, 발사체, 건축물, 가전제품 등의 다양한 분야에서 적용하고 있다. 그 적용분

야를 정리하면 다음과 같다.

- 자동차 : 실내 소음, sound package의 weight/cost 최적 선정, 가속 소음 예측
- 철도차량 : 객실 소음, 철차의 외부 방사소음, wheel/rail interaction noise
- 항공기 : 여객용·군사용 항공기의 내부 소음 예측
- 선박 : 여객선 등의 객실 소음, 구축함/잠수함 등의 수중 음향 방사음 예측
- 우주선, 발사체 : 우주선, 발사체, 미사일에서의 payload에 대한 소음·진동, shock 해석
- 가전제품 : 냉장고, 에어컨, 식기세척기 등의 소음 예측
- 건축물 : 여러 소음원으로부터의 사무 빌딩, 호텔 객실 등의 실내 소음 예측

이렇게 다양한 분야에서 가장 널리 사용되고 있는 AutoSEA2의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

AutoSEA2를 실행하면 그림 1과 같이 두 개의 화면이 나타나는데, 하나는 SEA 하부시스템을 생성, 수정, 관찰 및 그 해석 결과를 볼 수 있는 3D 화면이고, 다른 하나는 해석에 필요한 다양한 입력데이터를 관리, 수정 및 생성하는 데이터베이스 브라우저 화면이다. 또한 오른쪽에 보이는

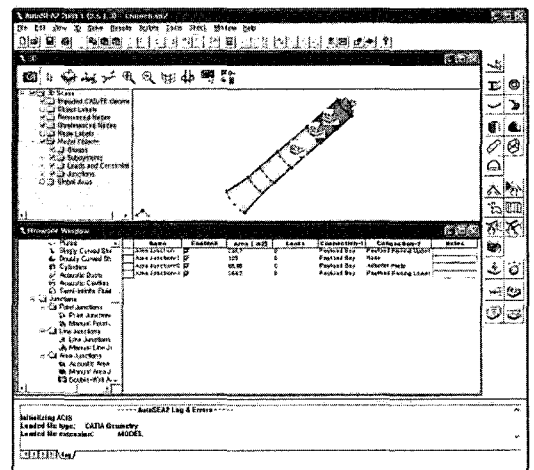


그림 1 AutoSEA2의 주요 화면

아이콘은 하부시스템의 생성, 연결부의 자동 및 수동 생성, 가진원의 정의 및 할당 등의 기능을 하는 것이다.

3.1 3차원 모델링

AutoSEA2는 SEA를 이용하여 소음 · 진동 응답을 해석하는 데 있어 3차원 모델이 가능한 유일의 상용 프로그램이다. CAD 또는 FEM 노드 데이터를 읽어 들여, 구조 또는 음향 하부시스템을 기하학적 정보로부터 3차원 화면에서 직접 생성할 수 있는 장점이 있다. 또한 FEM 데이터의 경우, 유한요소를 컴퓨터 마우스로 직접 선택하거나 영역을 선택하여 원하는 구조 하부시스템을 자동으로 생성해주는 기능이 있다. 기본적으로 SEA는 시스템의 세밀한 기하학적 정보를 필요로 하지 않지만 이를 몇 개의 주요 노드로부터 하부시스템을 생성하는 것은 번거롭고 어려운 일이다. 따라서 해석 대상의 CAD 데이터나 유한요소 해석을 위한 준비한 메시 데이터를 이용하면 하부시스템을 생성하는 데 큰 도움이 된다. 하부시스템의 생성과 SEA 모델링을 위해 읽을 수 있는 상용 또는 범용 CAD 데이터는 IGES, SAT, step, catia, pro-engineer 형식의 파일이며 상용 FEM 데이터로는 Nastran, I-DEAS 등의 메시 데이터이다. SEA 하부시스템을 구조물이 가지고 있는 3차원의 형상으로 모델링을 할 수 있어 하부시스템의 구성, 형태, 하부시스템 사이의 연결부 등을 쉽게 관찰하거나 수정할 수 있다. 그림 2는 자동차의 FEM 메시 데이터를 읽어드려 SEA 하부시스템 생성을 하고 있는 AutoSEA2의 화면 중의 한 예이다. 이러한 노드 데이터를 가지고 자동차의 구조 하부시스템 및 음향 하부시스템의 생성은 그림 3과 같이 이루어진다. 이러한 3차원 모델링의 기능으로 인해 SEA 모델링 및 수정을 신속하게 할 수 있으며 오류도 쉽게 수정할 수 있다. 또한 하부시스템의 기하학적 형상, 즉, 반경, 면적, 체적 등에 대해 잘못된 예측을 피할 수 있으며, 하부시스템 사이의 연

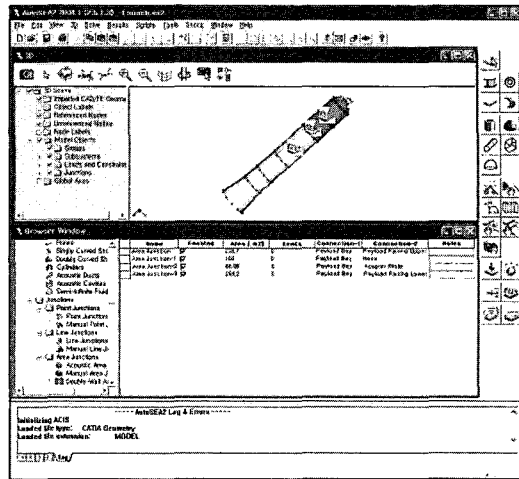


그림 2 자동차의 FEM 모델과 AutoSEA2에서의 하부시스템 생성

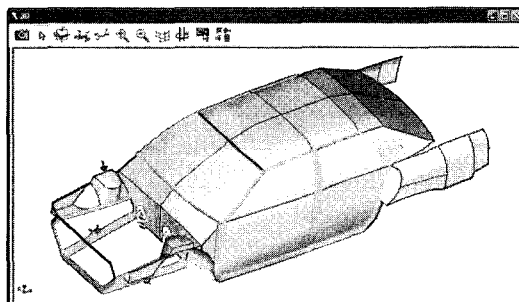


그림 3 자동차의 SEA 구조 및 음향 하부시스템

결부에서의 정보에 대한 오류도 피할 수 있다.

AutoSEA2에 사용되는 SEA 하부시스템은 크게 구조물에 대한 하부시스템과 음향공간에 대한 하부시스템으로 나눌 수 있는데, 구조물에 대한 하부시스템은, beam, ring beam, flat plate, singly-curved shell, doubly-curved shell, cylinder 등이 있고 음향공간에 대한 하부시스템은 1-D 덕트, 3-D 캐비티 등이 있다. 빔의 경우, 두 방향의 bending mode와 함께 extensional mode, torsional mode 등을 선택적으로 정할 수 있으며, 단면적, 관성 모멘트, 전단 중심 등을 고려할 수 있다. Flat plate는 일반적인 평판 구조물에 대하여 사용되며 fluid

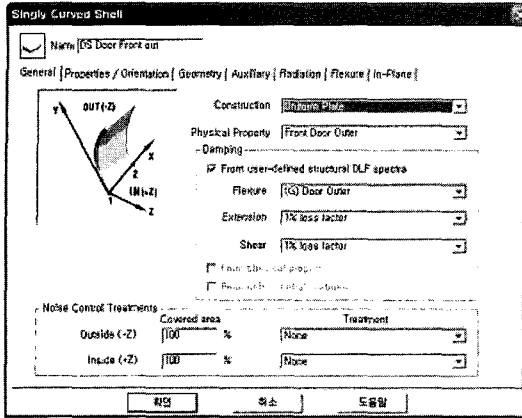


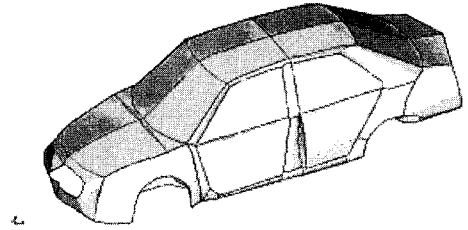
그림 4 Singly-curved shell의 하부시스템에 대한 입력데이터 할당

loading, tension 등도 모델링에 포함할 수 있다. 곡률이 있는 구조물에 대해서는 singly-curved shell, doubly-curved shell, 실린더 등을 사용할 수 있으며 fluid loading, tension, pressurization 등을 고려할 수 있고 곡률반경도 사용자가 조정할 수 있다. 또한 빔을 제외한 구조 하부시스템은 밴딩 모드와 함께 두 방향의 in-plane 모드를 해석에 포함시킬 수 있고, 또한 흡·차음재((noise control treatment)를 하부시스템의 앞 또는 뒷면에 부착시킬 수가 있다. 음향 하부시스템인 1-D 덕트는 단면에 비해 길이가 큰 음향공간의 모델링에 적합하며, 3-D 캐비티는 일반적인 음향공간의 모델링에 사용하는 것으로 여러 개의 면으로 이루어지며, 각면에 흡·차음재를 선택적으로 부착할 수가 있다. 그림 4는 singly-curved 셸에 대한 다양한 입력데이터를 조절할 수 있는 화면의 한 예를 보여준다.

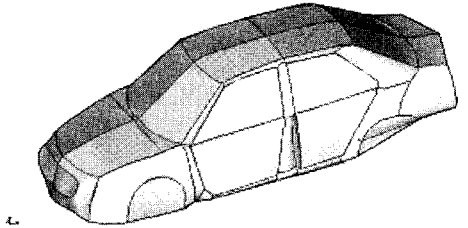
그림 5는 4도어 세단형의 자동차를 비교적 상세하게 SEA 모델링을 한 것으로 각각 구조 하부시스템, 자동차 내부의 음향 하부시스템, 자동차 외부의 음향 하부시스템을 나타낸다.

3.2 다양한 해석기법

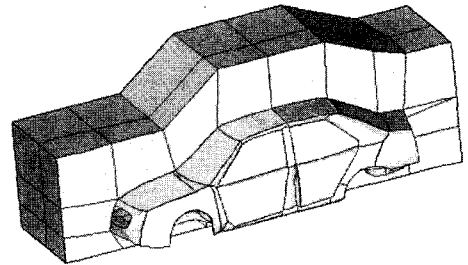
AutoSEA2는 full wave transmission theory를 적용하여 복잡한 형상의 구조물에 대해서도 더 앞선



(a) 구조 하부시스템



(b) 내부의 음향 하부시스템



(c) 외부의 음향 하부시스템

그림 5 4-도어 세단형 자동차의 전형적인 AutoSEA2 모델

진동 및 방사음 해석을 할 수 있다. 구조 하부시스템의 경우, 유니폼 구조뿐만 아니라 ribbed, sandwich, composite, laminate 등의 여러 구성에 대해 적용할 수 있으며, 다층 음향재료로 이루어진 흡·차음재를 고려한 SEA 해석도 쉽게 할 수 있다. 또한 연결부에서의 acoustic leakage, lumped mass, isolator 등의 다양한 조건을 실제의 시스템에 맞게 모델링을 할 수 있다.

AutoSEA2는 SEA 하부시스템을 생성하여 하부시스템에 대한 물성치 및 관련 데이터를 할당하고 나면, 그 하부시스템의 모드 수 및 감쇠손실계수를 그래프로 확인할 수 있으며, 하부시스템 사

이의 연결부를 자동 또는 수동으로 생성시키거나 할당하면 그 연결부에서의 연성손실계수, 방사효율 등이 계산되어 그래프로 확인할 수 있게 해준다. 또한 각 해석 주파수 대역에 따른 SEA 해석 행렬을 확인할 수 있으며, 3D 화면에 의해 생성된 하부시스템에 밴딩 모드, in-plane 모드 등의 모드 타일을 지정하여 SEA 해석에 포함시키거나 배제할 수 있다. 주요 변수들에 대해 스펙트럼 형태의 시험 데이터 또는 외부 데이터를 이용할 수 있다. 또한 해석을 위해 입력되어야 하는 시험 또는 외부 데이터의 스펙트럼이 SEA를 위한 해석주파수 대역과 다르더라도 그 스펙트럼을 해석주파수 대역에 맞게 자동으로 조정해 준다.

일종의 virtual microphone인 semi-infinite fluid를 원하는 위치에 생성하여 하부시스템과 연결하면, 하부시스템과 semi-infinite fluid 사이의 거리에 따라 각 하부시스템으로부터의 방사소음 및 투과소음을 예측할 수 있는 기능이 있다. 일반적인 등방성, 직교성의 탄성재료뿐만 아니라 점탄성재료(visco-elastic material), fiber/foam 등의 기공재료(porous material) 등에 대한 모델링이 가능하며, 특히 다층 음향재료로 이루어진 흡·차음재를 하부시스템에 자유롭게 부착하여 해석할 수 있다. 실제 시스템에서는 구조 또는 음향 하부시스템이 흡·차음재와 함께 부착되어 있는 경우가 흔한데, AutoSEA2에서는 이를 매우 쉽게 고려하여 해석을 할 수 있는 장점이 있다. 또한 하부시스템에 부착된 흡·차음재를 달리하면서 그 영향을 관찰할 수 있어 흡·차음재의 선정, 배치 등에 있어 합리적인 기준을 제시해 준다. 그림 6의 연갈색은 자동차 내부의 다양한 내장재 및 흡·차음재를 하부시스템에 부착한 것을 보여 주며 그림 7은 흡·차음재를 모델링하기 위해 다층 음향재료의 음향 물성치를 입력하는 화면을 보여준다.

AutoSEA2에는 가진원에 대해 point force/모멘

트에 의한 외력과 함께 user-defined 파워를 가지고 있으며, 음향 가진(acoustic excitation)인 diffuse/propagating acoustic field, aero-acoustic field by turbulent boundary layer 등도 가지고 있다. 또한 진동 또는 음압을 구속조건으로 주어 일종의 가진원으로 보아 해석해 주는 energy constraint 기능이 있어 외력 또는 진동/음향 파워를 알기 어려운 경우에 사용할 수가 있다. SEA는 각 하부시스템에 대해 주파수 평균된 값을 구하는 것이 적합하므로, AutoSEA2는 일반적으로 많이 사용되는 1/3 옥타브 대역, 1/1 옥타브 대역 해석을 갖추고 있으나 또한 1/n 옥타브 대역, constant 대역 등을 사용자가 정하여 수행할 수 있다.

SEA는 하부시스템 사이의 진동/음향 에너지 전달을 다루므로, 관심 있는 하부시스템으로의 에너지 입력 및 손실을 쉽게 알 수 있다. AutoSEA2는 각 하부시스템으로의 에너지 입력과 손실을 에너지 전달 메카니즘에 따라 분류하여 그래프로 나타내어 준다. 이는 일종의 소음 또는 진동 전달경로에 대한 분석으로 관심 있는 하부시스템에서의 다양한 에너지 전달을 주파수 대역에 따라 관찰함으로써 주요 에너지 전달경로를 파악할 수 있게 해주고, 이에 따라 주파수 대역에 따른 적절한 대책을 마련하는데 큰 도움이 될 수 있게 한다. 그림 8은 자동차 운전자 귀 위치의 실내공간에 대해 다양한 전달 메카니즘

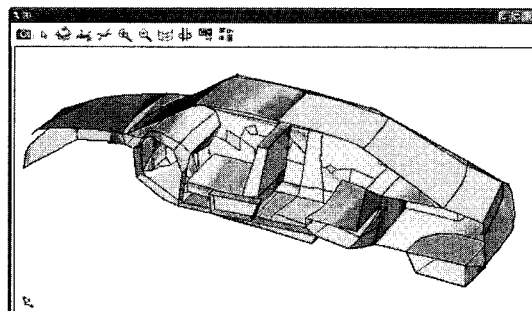


그림 6 자동차 내부의 하부시스템에 부착된 흡·차음재 모델링

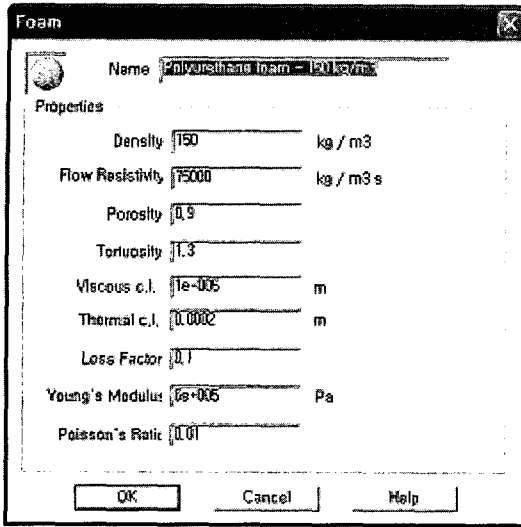


그림 7 다층 음향재료를 모델링하기 위한 음향 물성치 입력

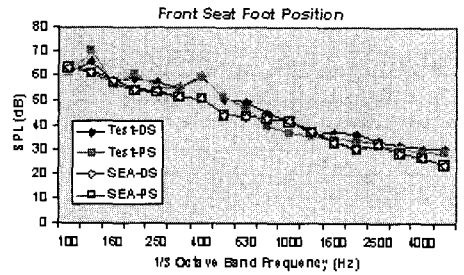
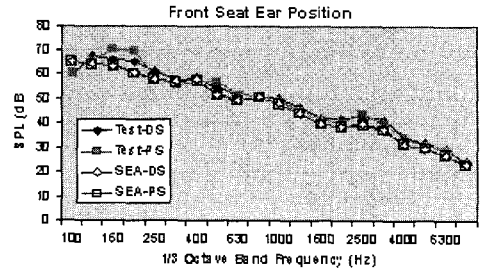


그림 9 시험과 AutoSEA2 해석과의 비교

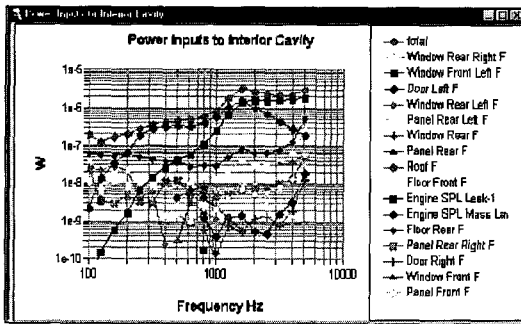


그림 8 자동차 실내공간의 음향파워 전달 메카니즘 ranking

에 의한 음향파워의 입력을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프를 통해 주파수 대역에 따라 운전자 귀 위치의 실내공간에서의 소음에 가장 지배적인 소음 전달 메카니즘이 어느 것인지 판단할 수 있다.

그림 9는 자동차에 대해 AutoSEA2로 모델링하여 해석한 결과와 시험한 결과를 비교하여 나타낸 것으로, 모든 주파수 대역에서 3 dB 이내의 차이가 나는 시험과의 좋은 상관관계를 보여주고 있다.

3.3 Junction의 자동 또는 수동 생성

AutoSEA2는 각 하부시스템 사이의 포인트, 라인, area junction을 “auto-connect” 기능을 이용하여 한 번에 생성시킬 수 있다. 각 연결부가 화면에 표시되어 확인 및 수정이 매우 용이하며 연결부의 일부를 해석에 포함시키거나 배제시킬 수도 있다. 이러한 연결부의 자동 생성 기능으로 인해 하부시스템 사이의 연결부를 정의하여 생성하거나, 모델이 변경되어 수정할 경우 모델링 시간을 크게 줄여준다. 또한 복잡한 연결부의 크기, 방향, 관련된 하부시스템에 대해 잘못된 선택을 해결해 줄 수 있다. 구조 하부시스템과 음향 하부시스템의 연결부에서 생기는 area junction은 음향 에너지의 전달이 주로 발생하는 곳으로, 질량 법칙(mass law)에 의한 전달, 구조물의 진동에 의한 전달, acoustic leakage에 의한 전달 등의 전달 메카니즘을 선택적으로 정하여 해석할 수 있어 각 전달 메카니즘의 기여도를 알 수 있게 하여준다.

하부시스템 사이의 오프셋으로 인해 “auto-connect”로 생성되지 않은 연결부나 복잡한 연결

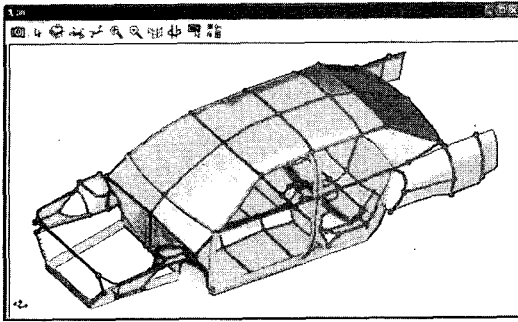


그림 10 “Auto-connect” 기능을 통해 생성된 포인트 및 라인 연결부

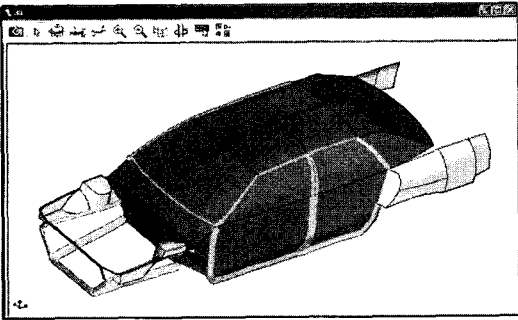


그림 11 “Auto-connect” 기능을 통해 생성된 area junction

부인 경우에는 수동 연결부 기능을 이용하여 쉽게 연결부를 정의하고 화면에 나타나게 할 수 있다. 그림 10과 그림 11은 각각 “auto-connect” 기능을 통해 생성된 포인트 및 라인 연결부와 area junction의 예를 보여주고 있다.

3.4 복수 모델의 통합

AutoSEA2는 하부시스템의 수가 많은 복잡한 시스템에 대해 전체 시스템을 몇 부분으로 나누어 각 부분을 독립적으로 모델링한 후 다시 합체하는 것이 가능하다. 각 부분을 따로 모델링한 후 ASCII 형태의 중립파일을 이용하여 전체 시스템으로 합치는 작업을 쉽게 할 수 있어, 복잡한 시스템에 대한 모델링 시간을 줄여주고 대규모의 모델링 작업시, 효율적인 관리가 가능하다.

3.5 사용자가 정의할 수 있는 유연한 SEA

AutoSEA2는 대부분의 변수에 시험 데이터나 FEM 등에 의한 외부 데이터를 사용자가 지정할 수 있도록 하여준다. 또한 I-DEAS의 테스트나 CADA-X 등의 상용 시험분석 프로그램으로부터 실험적인 SEA를 통해 얻은 다양한 스펙트럼 데이터를 각 하부시스템에 쉽게 할당하여 주는 기능이 있다. 이러한 다양한 데이터를 지원함으로써 모델링에 유연성이 있으며, 저주파수 대역에서 FEM 결과를 이용함으로써 해석 주파수 대역을 확장할 수도 있다.

4. 맺음말

소음 · 진동 해석을 위한 도구로 SEA는 미국, 일본, 유럽 등에서는 꽤 오래 전부터 활발하게 사용하고 있으며 국내에서도 근래에 들어 점차 적용하려는 분야가 늘어나고 있다. AutoSEA2는 SEA 분야에서 매우 확고한 위치를 가지고 있는 소음 · 진동 해석 소프트웨어로 국내의 자동차, 철도차량, 우주항공, 국방분야, 가전제품, 흡 · 차음재 등의 영역에서 그 활용도가 커지고 있다.

AutoSEA2는 일반적인 범용의 소음 · 진동 해석 기능과 함께, 자동차를 모델링하기에 편리한 기능을 갖춘 모듈에서 철도차량의 wheel-rail contact noise를 모델링하기 위한 모듈, 발사체나 인공위성에서의 lumped mass에 의한 효과를 모델링하기 위한 모듈, 미사일이나 발사체 등에서 충격원에 대한 시간영역에서의 SEA를 가능하게 해주는 모듈 등을 제공하고 있다. 또한 모드 밀도가 높은 주파수 대역에서 FEM과의 접목을 시도하여 좀 더 낮은 주파수 대역에서도 그 신뢰성을 확보하고자 하는 시도가 이루어져 왔으며 그 성과가 가시적으로 드러날 예정이다. 앞으로도 AutoSEA2가 복잡한 시스템에서의 소음 · 진동 문제를 분석하고 해결해 주는 데 유용한 동반자가 되기를 기대한다. 