

차세대 자동차와 소음·진동

이 장 무

(서울대학교 교수, 본학회 부회장)

1. 머리말

작년 12월부터 수행되고 있는 G7 차세대자동차 안전도공통기반 기술(차실내부음향특성 최적화해석 및 저진동차체 종합설계 기술개발) 연구의 개략적인 내용을 소개하고자 한다.

자동차의 국내 시판은 물론이고 수년전부터 완성차를 직접 설계, 제작하여 외국에 수출하고 있는 현 시점에 있어서 국내 완성차 메이커들은 나름대로의 독자적인 차체진동 및 차량실내 소음의 해석기술과 차실내부음향 최적화 기술을 확보하고 있다. 그러나 날로 치열해가는 국제기술경쟁에 있어서 저소음 및 저진동 차체의 개발이야말로 자동차의 부가가치를 높이는것은 물론이고, 앞으로의 경쟁에서 우위를 점할 수 있다는 사실에 주목할 필요가 있다. 특히 근자에 일본을 위시한 구미 선진국에서 자동차의 안락성 및 정숙성 확보 추세에 부응하여 저소음·저진동 차량을 성공적으로 개발하여 세계시장을 석권하고 있다는 사실을 간과해서는 안 된다.

국내 완성차 메이커들은 저소음·저진동 차체의 개발을 위해 나름대로의 기술을 확보하여 실차에 적용하고 있으나 대부분은 외국의

차체해석용 팩키지를 도입하여 사용하고 있으므로 이의 활용에는 한계가 있다. 위와 같은 팩키지를 그대로 활용함으로써 발생하는 문제점으로는 독자적인 우리의 기술발전의 한계성을 들 수 있다. 또한 효과적인 설계기술을 확보하는데 장애가 된다는 점이다. 현재 국내 업계의 저진동·저소음 차체설계기술은 초보적 단계를 넘어 독자기술을 개발 확보하려는 단계라 볼 수 있다.

차체와 같은 대형/복합구조체의 진동해석을 하는데 있어서는 필요불가결한 방법중의 하나는 BBA나 CMS(부분구조합성법)이다. 그러나 실제에 있어서는 이를 충분히 활용하지 못하고 있으며 국내의 현 단계는 개념정립의 단계에 있다. 그러므로 부분구조합성법의 여러가지 기법(구분모우드합성, 빌딩부력법, 각종 부분구조합성에 대한 실험기법 등)에 대한 체계적인 해석기술의 확립이 현시점에서 절실히 요구되고 있다.

차체는 여러 구성요소를 갖고 있으며 이들을 연결시키는 각종 결합부에 대한 이해와 정량화가 차체해석에 있어서 해결해야할 주요한 문제의 하나이다. 특히 국내 자동차기술의 역사가 매우 짧음으로서 현재 사용되고 있는 각종 결합부의 진동특성에 대한 축적된 데이터나

경험이 매우 부족하며 새로 사용되는 각종 새로운 결합부에 대한 처리 기술이 미흡한 상태이다.

이와 관련하여 차체모델링의 유한요소해석기술은 상당수준 도달했으나 주요 구조물의 예를 들면 A-pillar, B-pillar, Rocker, ... 등의 typical section의 모양 및 크기 그리고 강판의 두께 등을 유효적절하게 최적화하여 저진동차체를 설계하는 기법은 아직 초보적 단계라 하겠다.

차체모우드의 정확한 규명 및 진동전달 특성 해석등이 여러가지 기법으로 수행되고 있으나 만족스러운 수준에 있다고 보기 어렵다. 또한 각종 기법에 의한 해석을 수행한 후 이를 재 해석하는 기법에 대한 연구가 궁극적 저진동차체 최적설계에 필요하나, 아직까지 별로 진행된 바가 없다.

차실내부 소음을 획기적으로 저감시키기 위한 연구가 완성차 제조회사를 중심으로 시작되어 학계에도 확산되고 있다. 차실소음의 저감을 위하여는 소음·진동원의 특성규명, 전달경로의 파악, 차체의 진동특성 규명, 차실내부 음향모우드 해석, 차체진동과 차실내부 소음의 연성해석, 최적화 기법 및 능동소음제어 기법의 연구가 필수적이다. 소음·진동원 규명 및 전달 경로 파악과 관련, 한양대학교 등

에서 음향인텐시티 응용기법을 하여 학문적 측면에서는 어느 정도의 수준에 있으나, 산·학협동 기회가 적어서 실용화 및 안정화 측면에서 미흡한 상태이다. 차실내부 음향해석 및 흡음성능 최적화와 관련, 한국과학기술원 등에서 유한요소해석 및 경계요소해석 응용기법이 개발되어 일부 실용화되고 있으나 탄성 경계면 처리, open space 처리, 흡음 및 감쇠특성처리 및 고주파 영역해석 등에서 해결되어야 할 문제점이 많다.

또한 핵심이 되는 차체진동 음향연성해석 및 최적화와 관련, 서울대학교 등에서 ACSTAP(연성해석 전용프로그램)이 개발되어 실차 설계에 활용되고 있으나 완전연성해석, 고주파영역해석, 최적화 기법에 대한 보완이 요구되고 있다.

2. 외국의 기술 현황 및 연구의 필요성

자동차설계기술이 발달된 미국 등이 구미 각국과 일본에 있어서는 차체의 소음/진동해석에 중점을 두어 이와 관련된 독자적인 기술을 이미 확보한 상태에 있다. 특히 저소음/저진동을 위한 차체의 설계개념을 오래전부터 설계에 도입하여 근자에 이르러서는 저소음/저진동에 완전히 포커스를 맞춘 자동차를 제작하여 판매하고 있다(대표적인 것으로 Lexus, Soarer 등의 일체차). 앞에서 밝힌 바와 같이 선진국에서는 과거 수십년 간의 설계기술이 확립되어 차체의 설계에 있어서의 진동처리 문제에 대한 노하우를 확보한 상태라 말할 수 있다. 그들은 이미 자동차뿐만 아니라 항공기 등의 설계에 있어서 부분구조합성법의 효율적인 사용에 대한 경험을 가지고 있을 뿐더러, 각종 대형/복합 구조물의 각종 결합부에

대한 진동학적 처리 기법을 어느 정도 확보하고 있다.

자동차 선진국의 최근 동향은 오랜동안의 차체설계 및 제작 경험의 축적으로 현재에는 설계에서 제작까지의 기간이 종래의 5년 주기에서 3년 주기로 바뀌며, 이에 대응하기 위한 설계 및 제작기술에 필수적인 컴퓨터를 이용한 차체진동해석 시뮬레이션 기술을 개발하고 여러가지 설계구속 조건과 설계목표를 만족하는 최적화 저진동 차체설계기술을 개발 널리 응용하고 있다.

차실 소음저감과 관련된 해석 기법에 관하여는 일본, 미국, 구미 각국의 산업체, 연구소, 대학에서 활발한 연구가 진행되고 있으며 일본은 환상의 저소음·저진동차 Lexus를 제작 판매하는 수준에 있다. 또한 Lotus, NIT 등의 유명 외국용역회사는 국내 자동차의 소음저감 기술용역에 빈번히 참여하여 이 분야 기술의 예측이 우려되고 있다.

소음원 규명과 관련하여 미국의 SDRC, SMS, ZONIC, 일본의 RION 등에서 음향인텐시티 해석 하드웨어 및 소프트웨어를 개발/판매하고 있고 음향해석과 관련하여서는 NIT의 범용 해석프로그램인 Sysnoise가 개발/판매되고 있으나 이러한 범용소프트웨어를 응용하여 차실소음 해석과 최적화를 하는데에는 모델링 기법의 know-how가 필요하여 차실소음저감 설계를 다시 package로 외국에 용역을 주는 사례가 많다. 차체진동/실내소음연성해석은 미국의 GM사 등에서 NASTRAN을 응용하여 완전연성해석을 수행하고 있으며 실차에 적용하고 있으나 상용 package로서의 구입은 불가능한 실정에 있다.

금년 1월에 일본의 Nissan 자동차의 연구소를 방문하고 온 한국과

과학기술원의 박윤식교수와 한양대학교의 오재응교수에 따르면 이 연구소의 연구원은 약 1500명인데 이중 40~50%에 해당하는 인력이 NVH(Noise, Vibration and Harshness)에 관련된다고 한다. IDEAS를 이용한 실험적 소음·진동해석, MSC NASTRAN을 이용한 수치적 소음·진동해석이 활발하게 이루어지고 있으며 소음·진동의 크기(dB등)를 단순히 줄이는 차원을 떠나서 소음·진동의 감성(emotion, feeling)을 다루고 Fuzzy 콘트롤 등을 응용하는 추세에 있다고 한다. 미국의 Chrysler 자동차도 최근 NVH시설을 대폭 강화하였다.

차체를 설계하는데에는 차체의 정적·동적 강성도 향상, 주행시 저소음, 저진동 등으로 인한 쾌적한 승차감 향상, CRASHWORTHINESS 등의 안전도 향상을 위한 설계목표가 있고 또한 패키징(packaging), 스타일(styling), 생산가공방법, 소재의 가공도 및 강도 등으로부터 오는 각종 설계제한 조건들이 고려되어야 한다. 차체설계의 첫번째 단계는 클레이 모델(CLAY MODEL)로부터 시작된다. 일단 차체의 스타일이 결정되어 CLAY MODEL이 만들어지면 그 차체의 윤곽에 맞는 그리고 앞서 밝힌 여러가지 설계목표와 제한 조건을 고려한 차체구조물을 설계하는 것이다. 이런 차체설계는 지난 수십년 동안 경험적 기술에 의존해 왔다. 즉, 차체설계에 오랜 경험을 가진 엔지니어들이 차체구조물을 기초 설계하면 시제품(prototype)을 만들어 여러가지 정적강성도 시험, 동특성시험 및 주행시험 등을 거쳐 문제점을 찾아내고 다시 설계를 보정하는 시행착오의 방법이었다. 그러나 이러한 설계방법은 항상 시제품의 제작이 필수적이고 따라서 최종설계까지

소요되는 시간이 꽤 길었다. 최근의 국제시장에서의 급속한 차종 모델의 변화추세에 대응하기 위해서는 기존의 5~6년이 걸리는 경험적, 실험적 설계방법을 3년 이내로 단축할 수 있는 차체설계기술의 개발은 필연적이라 하겠다. GM, Ford, Toyota 등 선진국의 자동차 회사들은 최근 회사고유의 CAD/CAE 시스템의 (유한요소해석기술 및 컴퓨터시뮬레이션 기술 등을 이용한) 응용을 또한 차체설계 및 해석기술을 개발함으로써 차체설계 소요시간을 획기적으로 단축해가고 있다.

고성능의 안전한 자동차의 설계 및 제작에 있어서 저진동의 개념이 얼마나 중요한가는 이미 잘 알려져 있다. 이를 실제로 실현시키기 위해서는 차체 각 부위의 개별적인 소음 및 진동특성의 규명, 상호간의 진동연성은 물론, 소음/진동원의 전달경로에 대한 충분한 연구를 통해 최적화된 설계기법의 확립이 필요하다.

이 연구는 이와 같은 저진동차체의 종합설계 기술개발의 선결 문제이며, 동시에 핵심적인 과제로서 그 중요성이 매우 높다. 특히 자동차 차체는 여러 부품이 상호필요한 역할을 하고 있기 때문에, 이들을 부분으로 나눠 하나하나의 특성을 규명하고 이를 조합하여 전체적인 특성을 규명하는 부분구조합성법은 저진동 차체설계의 기본이 된다. 또한 차체를 구성하는 여러부분들 사이의 결합부의 특성을 완전히 체계적으로 규명하는 것이 전체 차체의 진동특성의 규명에 필수적이라 할 수 있다. 이들의 진동 전달특성 및 기타 동특성은 궁극적으로 전체 차체의 진동특성을 좌우하는 바, 이에 대한 근본적인 해석과 풍부한 데이터 베이스의 구축이 필요하다. 따라서 본 연구는 저진동차체의 종

합설계기술에 있어서 가장 중요한 공통기반기술이 된다.

최근 자동차의 안락성과 정숙성 향상에 대한 요구가 증대하고 교통소음 수준에 대한 규제가 강화되면서 차체의 설계 단계에서부터 차실소음의 특성을 예측하고 소음수준을 저감시키기 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 특히 엔진의 고출력화와 에너지 절약을 위한 차체의 소형 경량화에 따르는 차실내부 소음 수준의 증가는 보다 능동적인 저감 대책을 요구하게 되었으며, 이는 자동차뿐만 아니라 항공기, 열차 등 여러 대중교통산업의 공통적인 핵심연구과제가 되고 있다.

차실내 소음특성은 많은 소음 및 진동원과 차체라는 극히 복잡한 진동계의 특성에 지배된다. 차실소음원은 크게 세가지로 구분되는데, 첫째, 엔진과 동력 전달장치 및 흡배기 계통 등의 많은 소음원과, 둘째, 노면가진, 세째, 고속주행시의 공기역학적인 소음원을 들 수 있다. 또한, 소음진동원으로부터 차실내로의 전달경로에 따라 고체전달과 공기전달 소음으로 구분된다. 고체전달 소음은 엔진이나 노면으로부터 차체진동을 통하여 차실내로 방사되고, 공기전달 소음은 소음원으로부터 공기를 통하여 실내로 전달된다. 따라서 차실 소음저감을 위하여는 소음·진동원의 특성규명, 전달경로의 해석, 차체의 진동특성 규명, 차실내부 음향모드 해석, 차체진동과 차실내부음향의 연성해석, 내부음향특성 최적화를 위한 민감도 해석/기여도 해석 등의 최적화 해석 기법이 요구된다.

소음·진동원과 전달경로를 파악하기 위하여는 음향인텐시티법과 통계에너지법 등의 해석 및 응용기법을 개발해서 주소음원, 소음파우어 및 주요 전달경로를 규명하는

것이 중요한 포인트이다. 이러한 연구를 통하여 개선될 차체부위 및 이에 관련된 방음, 흡음 재료/부품의 설계 지침을 얻을 수 있다. 차실 내부 음향모드 및 응답해석을 위하여는 이미 실용화되고 있는 유한요소해석 기법이 효과적인 방법으로 알려졌으나 외국에서도 완벽하게 개발되지 못한 경계요소해석 및 통계에너지 기법을 고도화하고 실용화하는 연구를 수행하여야 한다. 이를 통하여 저주파 및 고주파 영역의 소음의 내부음장 특성을 규명하고 주전달경로, 2차적 소음원 파악 및 최적흡음성능 예측이 가능하다. 또한 진동/음향연성 해석 및 최적설계를 위하여는 차실내부 공간과 그를 둘러싸고 있는 판넬의 진동-음향 연성관계를 수식적으로 정식화하여 전용해석 프로그램을 개발하고 각 주파수대역에 있어서의 내부음향에 대한 차체 판넬 진동의 민감도 및 기여도를 분석하여 구조 기인 소음(structure-borne noise) 특성을 파악할 필요가 있다. 유사한 방법으로 공기 기인 소음(air-borne noise)에 대해서도 해석할 필요가 있다. 이와 같은 체계적이고 종합적인 해석기술이 개발되어야만 일본의 저소음 자동차의 수준을 능가하는 저소음 차체의 독자적 설계/제작이 가능하게 된다.

3. 저소음/저진동 차체설계 연구내용/범위

저진동차체설계시 가장 흔히 이용되고 있는 것이 기본차체(bodies in white)의 첫번째 torsional 진동모드와 제1, 제2 bending 진동모드이다. 차체의 idle shake를 줄이기 위한 즉, 저진동을 위한 차체의 전체적 강성도, 질량분포를 결정하는데 이들 기본적 진동모드들이 결정적 영향을 미친다. 물론

현가장치(suspension)와 엔진고정 장치(engine mounting), 그리고 crashworthiness 등의 안전도, 과도응력부위의 피로파괴 해석등도 제한조건으로 고려되어야 한다. 따라서 저진동 차체설계 및 해석기술에 관한 연구에는 가장 먼저 차체의 기본적인 저주파진동모우드 해석기술, 그리고 이런 저주파 진동모우드의 설계제한 조건 즉, 예를 들면 기본차체의 첫번째 torsional

진동모우드의 진동수가 28 Hz 이상이 되어야 한다든지, 제1, 제2 bending 진동모우드가 각각 23 Hz, 29 Hz 이상이 되어야 한다든지 하는 설계조건을 만족하는 차체의 설계방법 개발이라 하겠다. 그리고 이런 저주파수 진동모우드에 의한 초기설계후 차실소음 저감설계를 위해서는 고주파진동모우드도 정확하게 해석하고 최적설계를 할 수 있는 기술개발이 아울러 이루어져

야 한다.

자동차의 실내소음의 원인이 되는 각종 소음원(엔진, 노면-타이어 가진, 공력가진 등) 및 전달경로의 특성을 음향인텐시티법을 활용하여 실험적/이론적으로 규명한다. BBA/CMS 기법으로 구한 차체의 진동특성을 확보한다. 강체/탄성부 판넬과 내부의장 및 개구부로 구성되는 차실의 음향모우드 및 응답특성을 유한요소해석 및 경계요소해

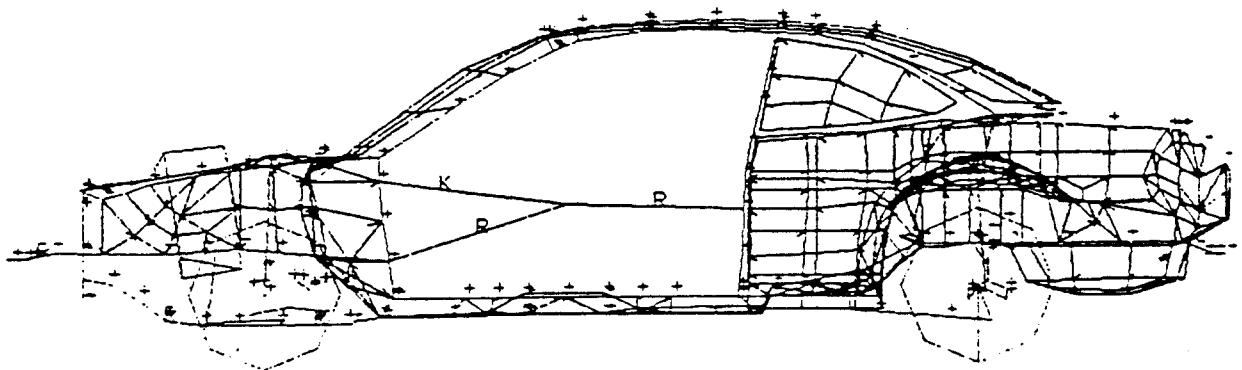


그림 1 저주파 진동 모우드 해석을 위한 유한요소모델의 예

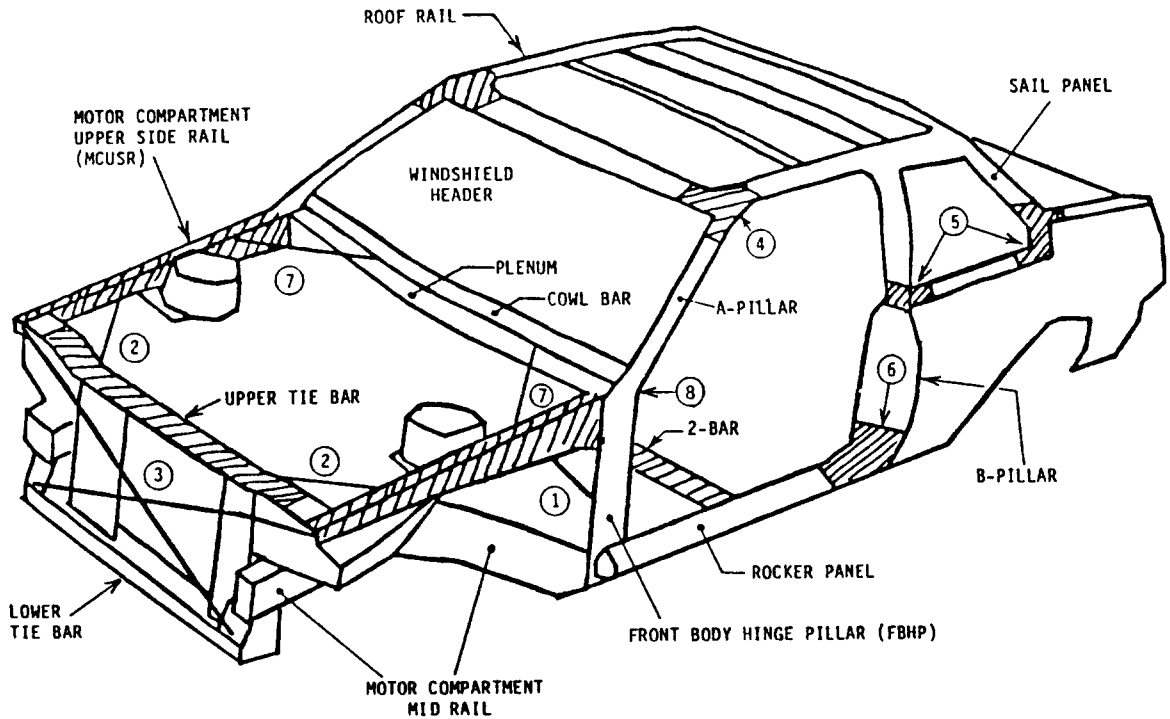


그림 2 차체의 진동에 영향을 미치는 주요 결합부의 예

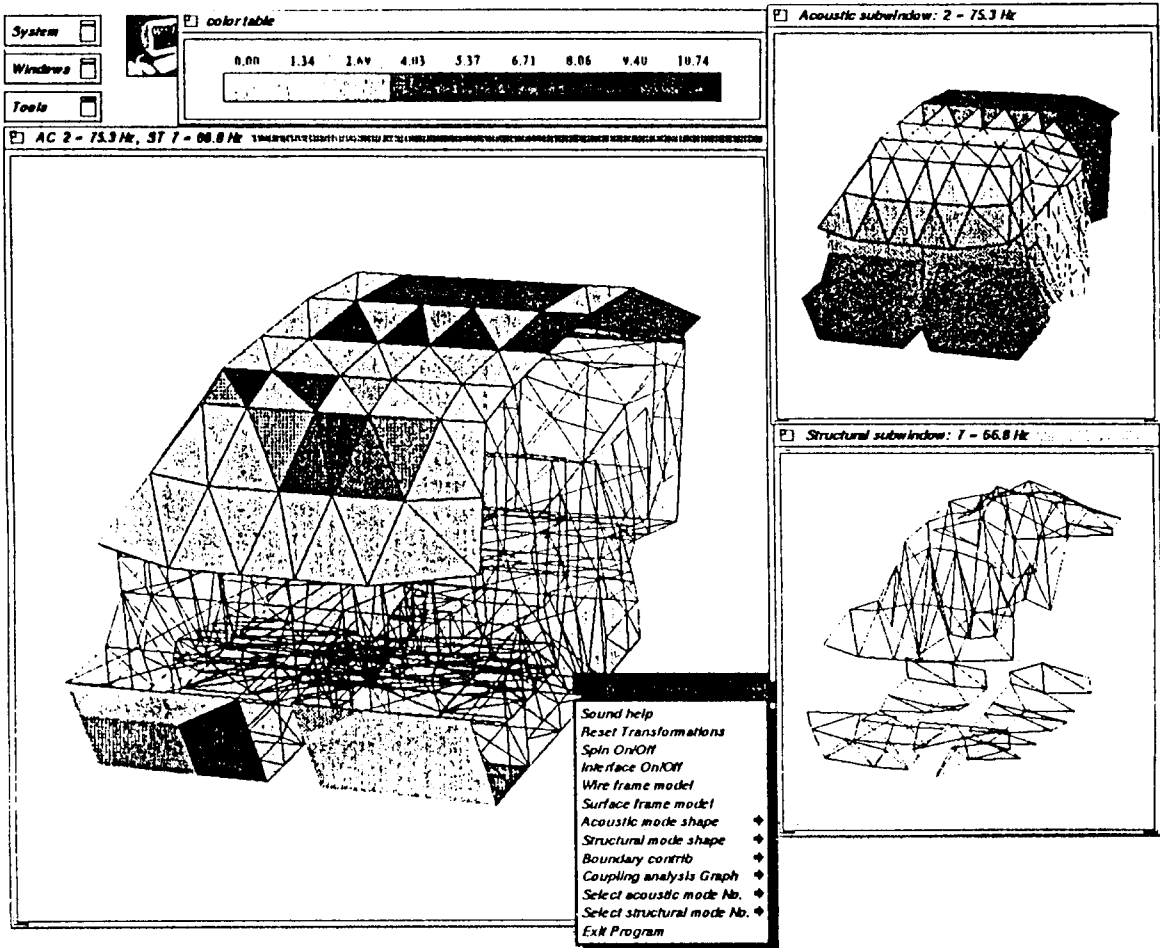


그림 3 차실 내부음향 모드 해석 및 연성 기여도 분포

석프로그램 개발/응용을 통하여 해석하며 특히 현재 국내외적으로 많은 학자가 도전하고 있는 고주파영역(100 Hz~8 kHz)의 음장해석을 통계에너지방법을 응용하여 수행한다. 또한 차체의 구조진동에 의하여 유발되는 차실소음의 특성을 예측하고 차실 각 부분의 판넬의 기여도를 분석하는 진동/음향 연성해석의 전용프로그램을 개발한다. 이들의 전술한 각 부분의 연구를 조합하여 저소음차체 최적설계에 대한 연구를 수행한다.

4. 연구진행 현황 및 결론

이 연구는 서울대학교, 한국과학기술원, 연세대학교, 한양대학교, 국민대학교, 강원대학교 및 한국표준과학연구원에서 32명의 연구원이 참여하고 있다. 참여기업은 현대자동차, 기아자동차, 대우자동차, 아시아자동차, 쌍용자동차, 현대정공, 대우조선, 만도기계 등 8개 회사이다. 현재 매월 1회이상의 월례연구회를 서울대학교, 한국과학기술

원, 자동차회사연구소에서 개최하여 이론과 실무에 대한 폭넓은 정보교환을 하고 있다. 또한 이 연구팀은 앞으로 유명 외국차량의 차체에 대한 심층적인 분석연구를 수행하여 참여 자동차업체에서 활용할 수 있게할 계획이다. 이 연구가 계획대로 잘 진행되어 산업체로부터 좋은 호응을 받게 되면 연구팀의 구성원을 추가로 보강하여 연구를 추진할 예정이다. 한국소음진동공학회 회원 여러분의 많은 성원과 조언을 기대한다.