

EQEM 방법을 이용한 해석 및 측정 데이터 경량화 방법 연구

EQEM-based mesh simplification for FE analysis result and measurement

*정창교¹, #최영¹, 양상욱²

*C. K. Jung¹, #Y. Choi(yychoi@cau.ac.kr)¹, S. W. Yang²

¹ 중앙대학교 기계공학부, ² 중앙대학교 미래신기술연구소

Key words : CAD, CAE, CAI, Decimation, EQEM

1. 서론

경량 가시화 데이터 형식은 설계 또는 제품 생산 단계에서 개발 프로세스에 대한 시간 단축 및 비용 절감과 품질 개선을 위해 여러 부문에서 활용되고 있다. 설계부터 생산, 유지보수 등에 관여하는 작업자들은 경량 가시화 데이터를 이용하여 설계 데이터를 검증하고 부서간이나 작업자간의 피드백 과정에서 활용하고 있으며, 이러한 경향을 반영하여 최근의 PLM 시스템들은 전략적으로 경량 가시화 데이터를 채택하고 자사 제품의 시장 영향력을 높이기 위해 노력하고 있다. 그러나 기존 기술 및 연구 동향은 CAD 데이터의 가시화와 컨퍼런스를 활용한 다양한 연구와 솔루션의 개발에 초점이 맞추어져 엔지니어링 데이터와 제품검사 데이터의 공유와 협업에 대한 연구는 상대적으로 적었다. 그 이유는 CAE, CAI 데이터는 일반적으로 CAD 데이터에 비해서 매우 많은 양의 데이터를 포함하고 있기 때문이다.

본 논문에서는 절점의 기하학적 위치정보와 속성정보를 고려하여 메시메시션을 수행하는 EQEM(extended quadric error metric) 방법을 기반으로 하는 CAE/CAI 메시 경량화 방안을 제안한다.

2. CAE/CAI 데이터의 공유 및 협업 시 문제점

해석 데이터의 메시 형상은 가능한 정다각형에 가까운 모양(approximately regular shape)을 유지하며 이러한 조건을 만족시키기 위해서 가시화 메시에 비해서 많은 수의 메시지를 가지게 된다. 또한, 해석 결과 데이터에는 각 절점 별로 응력, 변위, 온도 등의 해석 결과나 물리량을 나타내는 데이터를 가지게 되므로 CAD 데이터보다 많은 양의 정보를 다루게 된다.

측정 데이터에는 일반적으로 하나의 모델에 대해서 수십 내지는 수백만 개의 포인트가 생성되기 때문에 협업 환경에서 공유되기에는 너무나 크다. 설계 데이터와 비교하기 위한 측정데이터는 단순 점집합(point cloud)이나 STL(Stereo Lithograph) 형태의 삼각형 집합(triangle soup)등의 가공되지 않은 원시(raw) 데이터인 경우가 많다. 측정 데이터로부터 폴리곤 메시나 곡면 혹은 CAD 데이터를 생성하는 측정 분야의 상용 소프트웨어들은 모두 내부적으로 데이터의 크기를 줄이고 형상을 근사화 하는 데이터 형식을 가지고 있으나 설계 데이터와의 형상 오차 값을 근거로 한 근사화 방식은 제공되지 않는다.

3. EQEM 을 이용한 메시 간략화 방법

임의의 한 정점과 면 사이의 제곱거리를 표현하면 식 (1)과 같다. 식으로 표현되는 값을 QEM(Quadric Error Metric)이라 정의하며, 면이 하나의 정점으로 간략화 되었을 때의 에러 값이 된다 [1]. 이 식을 행렬로 표현 하면 식 (2)와 같이 표현되며 homogeneous 좌표계를 사용하여 하나의 행렬의 곱으로 나타낼 수 있다. 이 방법은 기하학적 위치정보를 고려한 메시 간략화에 주로 사용된다.

$$D^2(v) = Q(v) = (ax+by+cz+d)^2$$

$$= (n^T v + d)^2 = v^T (nn^T) v + 2(dn)^T v + d^2 \quad (1)$$

$$\{n=[a,b,c]^T, v=[x,y,z]^T\}$$

$$D^2(v) = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} a^2 & ab & ac & ad \\ ab & b^2 & bc & bd \\ ac & bc & c^2 & cd \\ ad & bd & cd & d^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

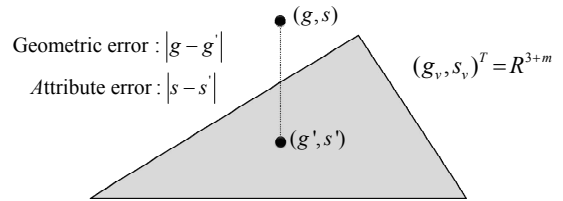


Fig. 1 Extended quadric error metric (EQEM)

EQEM 은 Fig. 1 과 같이 QEM 방식에 속성정보까지 고려한 확장된 메시 간소화 방법이다 [2,3]. QEM 은 정점의 기하 정보 ($G_v \in R^3$) 만을 고려하지만, EQEM 은 기하정보와 스칼라 값인 속성정보 m 을 포함하여 한 정점에 대해서 이웃하는 평면과의 에러 값을 계산한다. m 의 개수는 점이 가지고 있는 속성 정보에 따라 달라진다. 예를 들어 기하학 정보만을 고려한다면 $m=0$, 점의 RGB 값을 고려한다면 $m=3$ 이 된다. 속성정보를 고려하면 식 (3)과 같이 식 (1)의 확장된 형태로 나타나게 된다.

$$Q(v) = \begin{pmatrix} g \\ s \end{pmatrix} = Q_g(v) + \sum_{i=1}^m Q_s(v) \quad (3)$$

Fig. 2 는 메시 간략화의 예를 보여주고 있다. 메시 모델을 간략화 하기 위해서는 먼저 각 정점이 공유하는 면들에 대해 모든 에러 값을 계산해야 한다. 에러 값이 작은 두 개의 정점 (v_i, v_j) 이 축약되고 새로운 위치의 정점 v' 을 생성하게 되면, 새로운 정점은 정점 (v_i, v_j) 에 에러 값의 합을 가지게 된다.

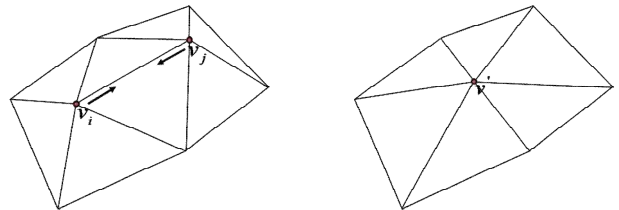


Fig. 2 Mesh simplification

4. 가시화를 위한 CAE/CAI 데이터 추출

Fig. 3 은 실험 목적으로 하나의 CAD 모델로부터 유래된 CAE/CAI 데이터를 보여준다. Fig. 4 는 CAE/CAI 데이터 메시 정보를 얻기 위해 가시화 관련 데이터를 추출하는 과정을 나타낸다.

해석 결과를 얻기 위해서는 요소를 모델링하고 특성을 정의하는 전 처리 과정, 해석 과정, 그리고 결과를 그래프나 색상지도(contour plot)로 확인하는 후 처리 과정의 작업

을 수행해야 하며, 이와 같은 과정을 통해 해석 결과의 다양한 정보를 가지게 된다. CAE 데이터의 여러 이력 정보 중 해석 결과 가시화를 위한 노드정보, 요소정보, 경계조건 등의 데이터를 추출했다.

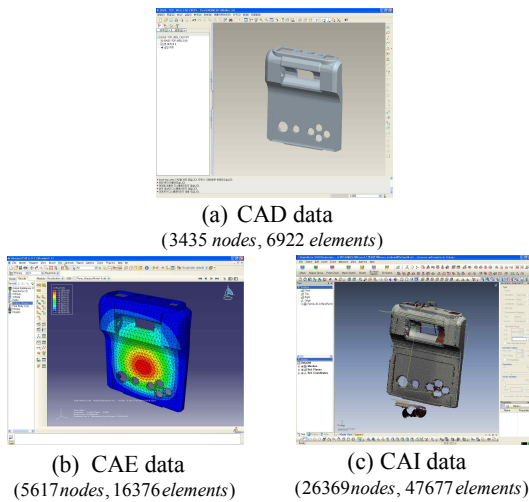


Fig. 3 CAD/CAE/CAI data for experiments (MD player case)

측정 데이터를 얻기 위해서는 CAD 데이터를 이용하여 RP 가공을 수행하였고, 3 차원 스캐너 장비와 역설계 소프트웨어 Rapidform XOR 을 이용하여 모델의 측정 데이터를 생성했다. 또한 품질 관리 소프트웨어 Rapidform XOV 를 이용하여 CAD 데이터와 CAI 데이터의 매핑을 통해 CAI 데이터 각 절점에 CAD 데이터와의 오차 값을 구했다. 이를 통해 CAI 점군 데이터의 기하학적 정보와 오차 값을 추출하여 비교 분석 자료를 획득했다.

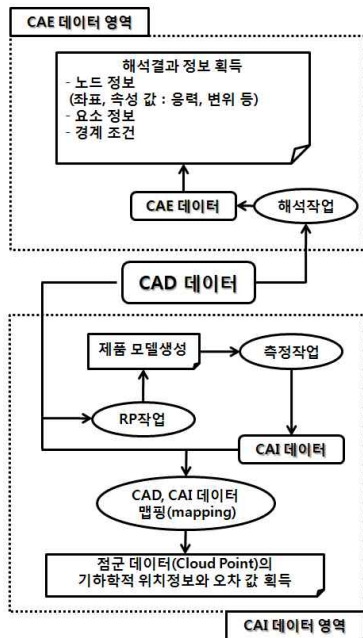


Fig. 4 CAE/CAI visualization data extraction process

5. EQEM 방식을 이용한 CAE/CAI 메시 간소화

Fig. 3 의 해석 및 측정데이터는 가시화의 목적으로만 활용하기에는 너무 많은 수의 메시를 포함하고 있다. 따라서 CAE 절점의 속성정보인 변위, 응력, 온도 등의 해석 결과 값과 CAI 절점의 속성 정보인 CAD 절점과의 오차 값을 통해 절점의 기하학적 위치 정보와 속성 정보를 고려한 CAE/CAI 데이터의 데시메이션(decimation)을 수행하였고, 간소화된 메시를 생성하였다. 그 결과를 가시화 한 예를

Fig. 5 와 Fig. 6 에서 보여주고 있다.

CAE 메시는 원 형상을 60% 유지할 경우 실제 해석결과와 유사한 contour 를 유지하며 가시화 할 수 있었고, CAI 메시의 경우 30% 만 유지한 상태에서도 측정 데이터와 설계 데이터의 오차 분포를 육안으로 구분할 수 없을 정도인 것을 확인할 수 있었다.

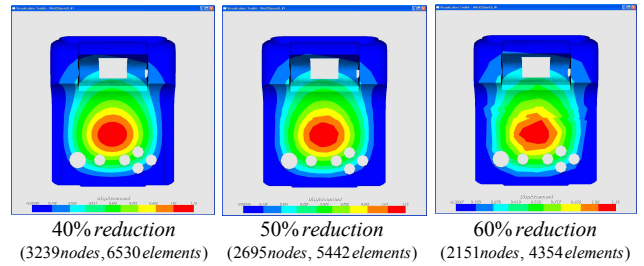


Fig. 5 CAE mesh decimation

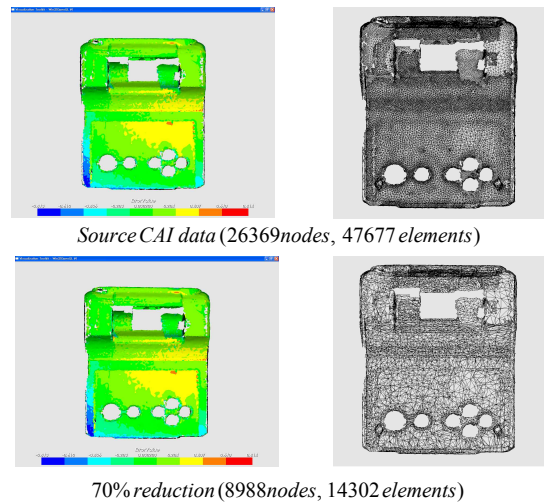


Fig. 6 CAI mesh decimation

6. 결론

해석 데이터와 측정 데이터를 경량화하기 위해 EQEM 방식을 이용하여 속성 정보를 고려한 메시 간소화를 수행하였다. CAE 데이터의 경우 노드의 해석 결과 값, CAI 데이터의 경우 각 노드의 CAD 데이터와의 형상 오차를 고려한 데시메이션을 수행 하였다. 기존의 경량 가시화 데이터의 경우 설계 및 분석 단계에서의 협업에 주로 사용되었지만, 이렇게 간소화된 CAE/CAI 데이터를 웹 환경 및 공유의 목적으로 활용하게 된다면 품질 관리 및 검증 과정에서도 조 직간, 기업간의 엔지니어링 정보를 공유하여 포괄적으로 제품정보를 관리할 수 있을 것이다.

후기

본 논문은 2009 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0071495).

참고문헌

1. M. Garland., and P, S, Heckbert., "Surface Simplification using Quadric Error Metrics", SIGGRAPH, 209-216, 1997.
2. Hoppe, H., "New Quadric Metric for Simplifying Meshes with Appearance Attributes", IEEE Visualization, 59-66, 1999.
3. 민경필, 한태화, 전준철, "3D 게임엔진을 위한 객체 간략화에 적용 가능한 EQEM 방법", 한국멀티미디어학회지, 29-37, 2005. 6.