

FRF ANALİZLERİNDE ANALİZ SONRASI İŞLEMLER İÇİN MAKRO OLUŞTURULMASI

Artun Bötke* , Sedat Horozoğlu* , Şener Yılmaz*

*Hexagon Studio, KOCAELİ

ÖZET

Bir araç projesinde NVH analizleri aracın sürüşü, rijitliği ve konforu açısından önem arz etmektedir. FRF (Frequency Response Function – Frekans Tepki Fonksiyonu) analizleri de NVH analizlerinin önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Hızın ve çabukluğun giderek önem kazandığı günümüzde ise analiz sonrası (post-process) işlemler, ciddi bir zaman ve insan gücü kaybına sebebiyet vermektedir.

Bu çalışmada; FRF analizleri içinde yer alan dört ayrı analiz alt-türünün, Hypergraph programında işlenmesini sağlayan bir makronun oluşturulması anlatılmıştır. Kendine ait bir kullanıcı ara yüzü (GUI) bulunan makroya, analiz çıktıları ve hedef değerleri girildiğinde, sonuç grafikleri birkaç dakika içinde belirlenmiş bir formatta çizdirilmektedir.

Anahtar kelimeler: NVH, FRF, FEA, makro

GENERATING A MACRO FOR POST-PROCESS CALCULATIONS OF FRF ANALYSES

ABSTRACT

NVH analyses of a vehicle project are very important for riding, stiffness and comfort of the vehicle. FRF (Frequency Response Function) analyses form an important amount of NVH analyses. In present conditions at which speed and quickness have become more important, post-process calculations cause serious time and humanpower losses.

This study involves generating a macro which provides processing four different subtypes of FRF analyses in Hypergraph software. Output graphs are plotted in a specified format and in a few minutes when analyses' output and target values are entered via the macro's own GUI (graphical user interface).

Keywords: NVH, FRF, FEA, macro

1. GİRİŞ

Araç projelerinde sanal analizlerin önemi, katkısı ve kullanımı git gide artmaktadır. Çoğunlukla sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı NVH analizleri, araçtaki ses ve titreşim ile ilgili parametrelerin hesaplanmasını sağlamaktadır. FRF (frekans tepki fonksiyonu) analizleri de, NVH analizleri içinde yer almaktadır.

Günümüzün artan rekabet ortamında projeleri

hızlandırmak ve ürünün kalitesini arttırmak için kullanılan sonlu eleman analizlerinde; sonlu elemanlar modelini oluşturmak, analiz dosyasını koşturmak ve analiz çıktısını işleyebilmek ciddi zaman ve insan gücü kayıplarına yol açmaktadır. Bu çalışma, yukarıda sayılan adımlardan üçüncüsü olan analiz sonrası (post-process) işlemleri üzerinedir.

FRF analizlerine özel olarak oluşturulan bir makro sayesinde, analiz sonrası işlemler birkaç dakikaya indirgenmiş ve sonuç çıktılarının, raporlamada kolaylık sağlayacak şekilde belirli bir formatta yazdırılması sağlanmıştır.

2. FRF ANALİZLERİ

Frekans tepki fonksiyonları (FRF – frequency response functions), doğrusal sistemlerdeki girdilerin ve çıktılarının Fourier spektrumları arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Bunlar, doğrusal sistemlerin dinamik davranışlarını karakterize etmeye yaradıkları için pratik açıdan oldukça önemlidirler. Teorik olarak; çıkış niceliklerinin Fourier bileşenlerinin, giriş niceliklerinkine oranıdır. Pratikte ise, bu niceliklerin yaklaşımlarından hesaplanırlar. Böylece bu fonsiyonlar kesin olarak sadece, sürekli giriş sinyallerinin uygulandığı, sanal harmonik frekanslarda mevcuttur [1].

FRF'in tepki parametresini deplasman (mm) olarak alırsak, matematiksel olarak (1) ifadesi oluşur. Bu ifade kompleksdir, hem şiddet hem de faz kısmını içerir. Analiz çıktısı olarak kullanılan bileşen şiddettir ve (2) ifadesiyle hesaplanır.

$$H(\omega) = \alpha(\omega) = \frac{1}{(k - \omega^2 m) + i(\omega c)} \quad (1)$$

$$|\alpha(\omega)| = \frac{|X|}{|F|} = \frac{1}{\sqrt{(k - \omega^2 m)^2 + (\omega c)^2}} \quad (2)$$

$\alpha(\omega)$ ifadesine 'dinamik esneklik (dynamic flexibility)' denir. Denklemdaki k , sistemin katılığı; ω , açısal frekans; m , sistemin kütlesi ve c ise sistemin sönümleme katsayısıdır. Tepki parametresini, deplasman yerine hız (mm/s) olarak alırsak (1) denklemi (5) denklemine, (2) denklemi ise (6) denklemine dönüşür.

$$x(t) = X e^{i\omega t} \quad (3)$$

$$v(t) = \dot{x}(t) = V e^{i\omega t} = i\omega X e^{i\omega t} \quad (4)$$

$$Y(\omega) = \frac{V}{F} = i\omega \frac{X}{F} = i\omega \alpha(\omega) \quad (5)$$

$$|Y(\omega)| = \omega |\alpha(\omega)| \quad (6)$$

$Y(\omega)$ ifadesine 'hareketlilik (mobility)' denir. Benzer şekilde, (7) ifadesini kullanarak (4) - (6) denklemlerini bir daha tekrarlarsak tepki parametresi ivme (mm/s²) olan $A(\omega)$ 'yı yani 'ateletlilik (inertance)'i elde ederiz [2].

$$a(t) = \ddot{x}(t) \quad (7)$$

$$A(\omega) = \frac{A}{F} = -\omega^2 \alpha(\omega) \quad (8)$$

3. FRF ANALİZ ALT-TÜRLERİ

Üstte bahsedilen üç tepki parametresi kullanılarak dört FRF analiz alt-türü elde edilir:

- 1) Dinamik Katılık (Dynamic Stiffness)
- 2) VTF (Hareketlilik)
- 3) Ateletlilik (Inertance)
- 4) Akustik Duyarlılık (Acoustic Sensitivity)

3.1 Dinamik Katılık (Dynamic Stiffness)

(2) denklemiyle bulunan dinamik esnekliğin matematiksel tersi alınarak bulunur. Birimi 'N/mm'dir.

$$\text{'Dinamik Katılık'} = 1/\text{'Dinamik Esneklik'} \quad (9)$$

Bu değer, aracın (motor ve süspansiyon bağlantıları gibi) önem arz eden bağlantı noktalarının dinamik durumunu belirlemek amacıyla kullanılır.

3.2 VTF (Hareketlilik)

Titreşim Transfer Fonksiyonu (VTF – Vibration Transfer Function) özel adıyla anılan bu analiz çıktısında (6) ifadesinde elde edilen hareketlilik direkt kullanılır. Birimi '(mm/s)/N'dur.

Motordan gelen titreşimin direksiyonda oluşturduğu etki gibi, titreşim girdisi olan noktaların yolcu/şoföre yapısal yolla aktarılan titreşimini ölçmek amacıyla kullanılır. Burada esas bakılan öge, yapısal yolla olan iletilebilirliktir (transmissibility).

4.3 Ateletlilik (Inertance)

(8) denklemiyle elde edilen ateletliliğin birimi '(mm/s²)/N'dur. Dinamik katılık ile benzer olarak sistemin katılığını belirlemek amacıyla kullanılır. Logaritmik olarak çizdirilen grafik, hiperbolik olarak görülür. Test ekiplerinin yaptığı Noktasal Direngenlik (Point FRF) testlerinde birincil çıktı ateletlilik olur. Bu yüzden analiz-test karşılaştırmasını yaparken ateletlilik kullanılır.

4.4 Akustik Duyarlılık (Acoustic Sensitivity)

Kabaca hareketliliğin vibro-akustik ortamdaki hali denilebilecek akustik duyarlılık (acoustic sensitivity), titreşim girdisi olan noktalardan giren titreşimin şoför/yolcu kulağında oluşturduğu ses basınç seviyesidir. Ölçülen/hesaplanan çıktı, basıncın kuvvete oranı (P/F) olduğu için Gürültü Transfer Fonksiyonu (Noise Transfer Function – NTF) da denir ve birimi 'dB'dir [3].

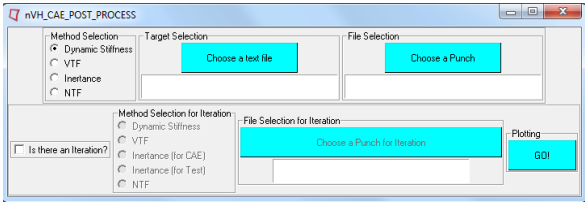
4. MAKRO

Yukarıda açıklanan dört FRF analiz alt-türüne ait çıktı grafiklerini çizdirmek için Tcl ve Tk programlama dilleri kullanılarak Altair Hypergraph programında çalışan bir makro yazılmıştır [4, 5].

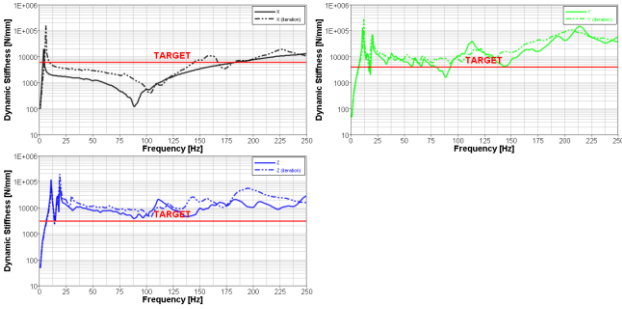
Makronun yazılma amacı; analiz-sonrası (post-process) işlemlerde hız kazanmak, böylece zaman ve adam-saat tasarrufu sağlamak ve grafikleri belli bir formatta çizdirebilmektir. Makronun yazılmasıyla normalde en az 1.5 saat tutan grafik hazırlama işlemleri, 3 dakikaya indirilmiştir. Ayrıca kodlama işlemi öncesinde

mutabık kalınan bir format koda yedirilmiştir. Böylece sonrasında hazırlanan tüm raporlarda bir bütünlük sağlanmıştır.

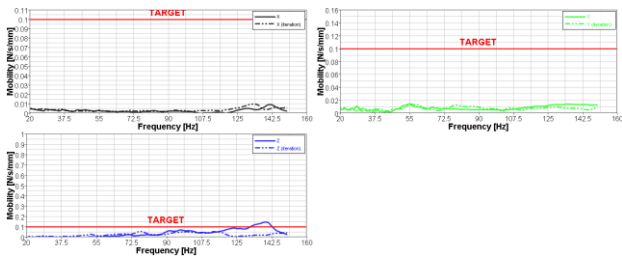
Hypergraph programı içinden açılan makronun kendine ait bir ara yüzü (GUI) bulunmaktadır (Şekil 1). Bu ara yüz sayesinde; kullanıcı istediği FRF analiz alt-türünü seçebilmekte, isterse aynı modele ait farklı iterasyonları da üst üste çizdirebilmektedir. Ayrıca gerekli olan girdi dosyalarını da aynı ara yüz sayesinde girebilmektedir. Bu dosyalar, grafik hedeflerinin bulunduğu bir text (*.txt) dosyası ve gereken sonuç dosyalarıdır (*.pch). Makroya sonradan analiz-test karşılaştırmalarını da yapabilecek ek bir kod eklenmiştir. Makroya ait bazı sonuç grafikleri Şekil 2 – Şekil 5'te verilmiştir.



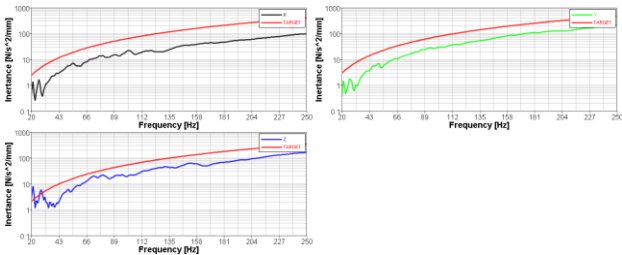
Şekil 1. Makronun ara yüzü



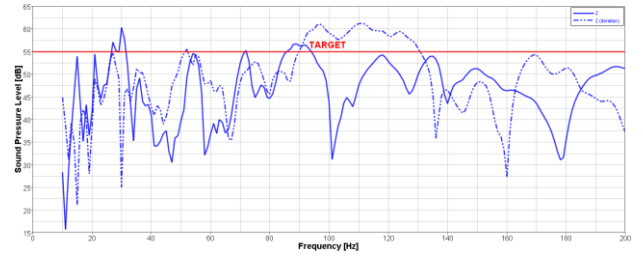
Şekil 2. Dinamik Katılık (Dynamic Stiffness) grafikleri



Şekil 3. Hareketlilik (Mobility) grafikleri



Şekil 4. Ateletlilik (Inertance) grafikleri



Şekil 5. Akustik Duyarlılık (Acoustic Sensitivity) grafikleri

5. SONUÇ

Bu çalışmada, FRF analizleri sonucunda çıkan grafikleri, daha az zaman ve insan gücü harcıyarak Altair Hypergraph programı içerisinde çizdiren bir makronun oluşturulması anlatılmıştır. Mevcut makronun şirket içinde hazırlanması sebebiyle, gelecekte doğabilecek ek isteklerle kolaylıkla geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

1. Fahy, F., 2001, **Foundations of Engineering Acoustics**, pp. 392-393.
2. Ewins, D.J., 2000, **Modal Testing: Theory, Practice and Application**, 2nd ed., pp. 29-35.
3. Bennur, M., 2011, “**Vehicle Acoustic Sensitivity Performance Using Virtual Engineering**”, SAE International, 2011-01-1072.
4. **Introduction to Hyperworks Desktop Customization**, 2009.
5. Wall, K., 2008, **Tcl/Tk Programming for the Absolute Beginner**, pp. 115-239.