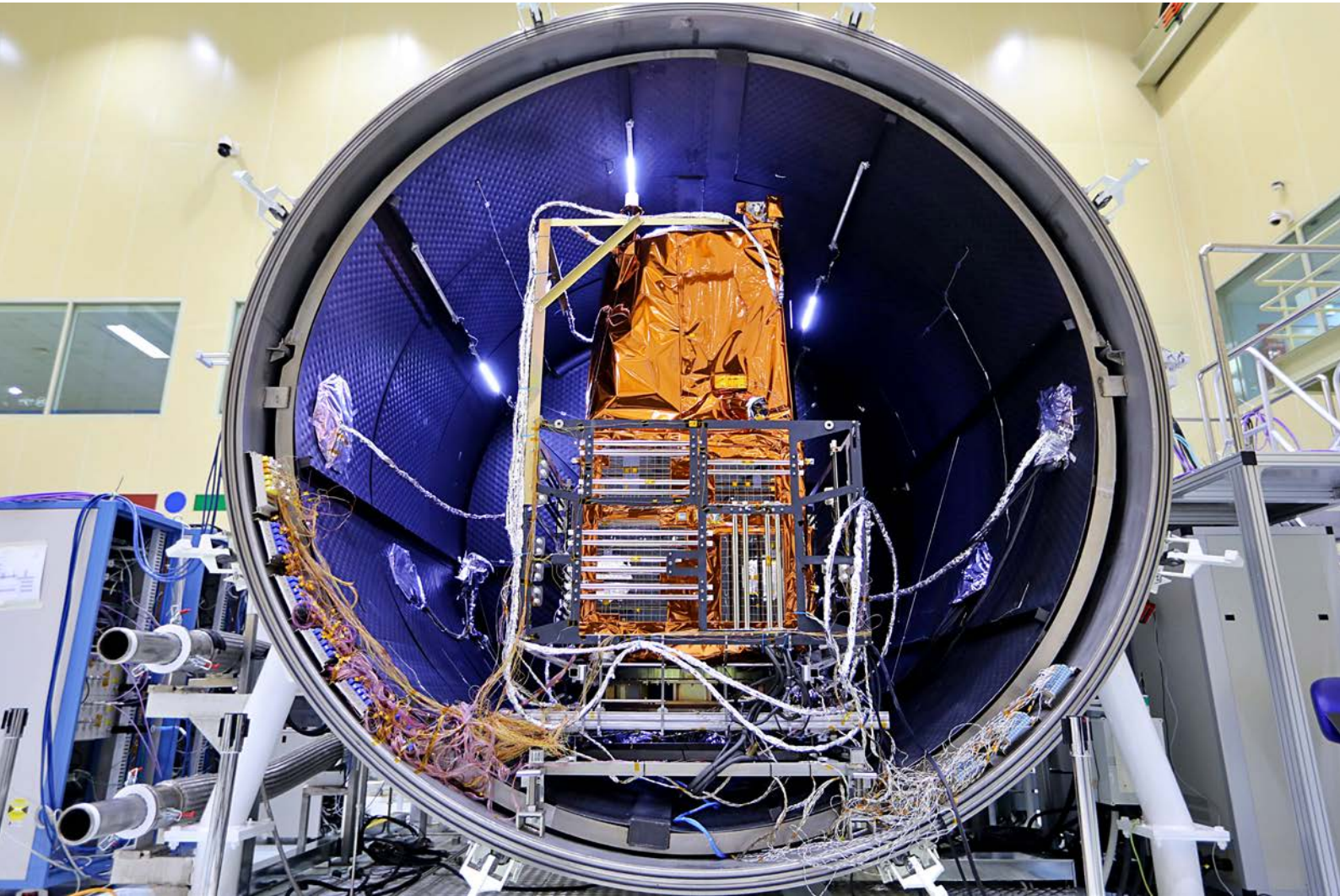


# KISTLER

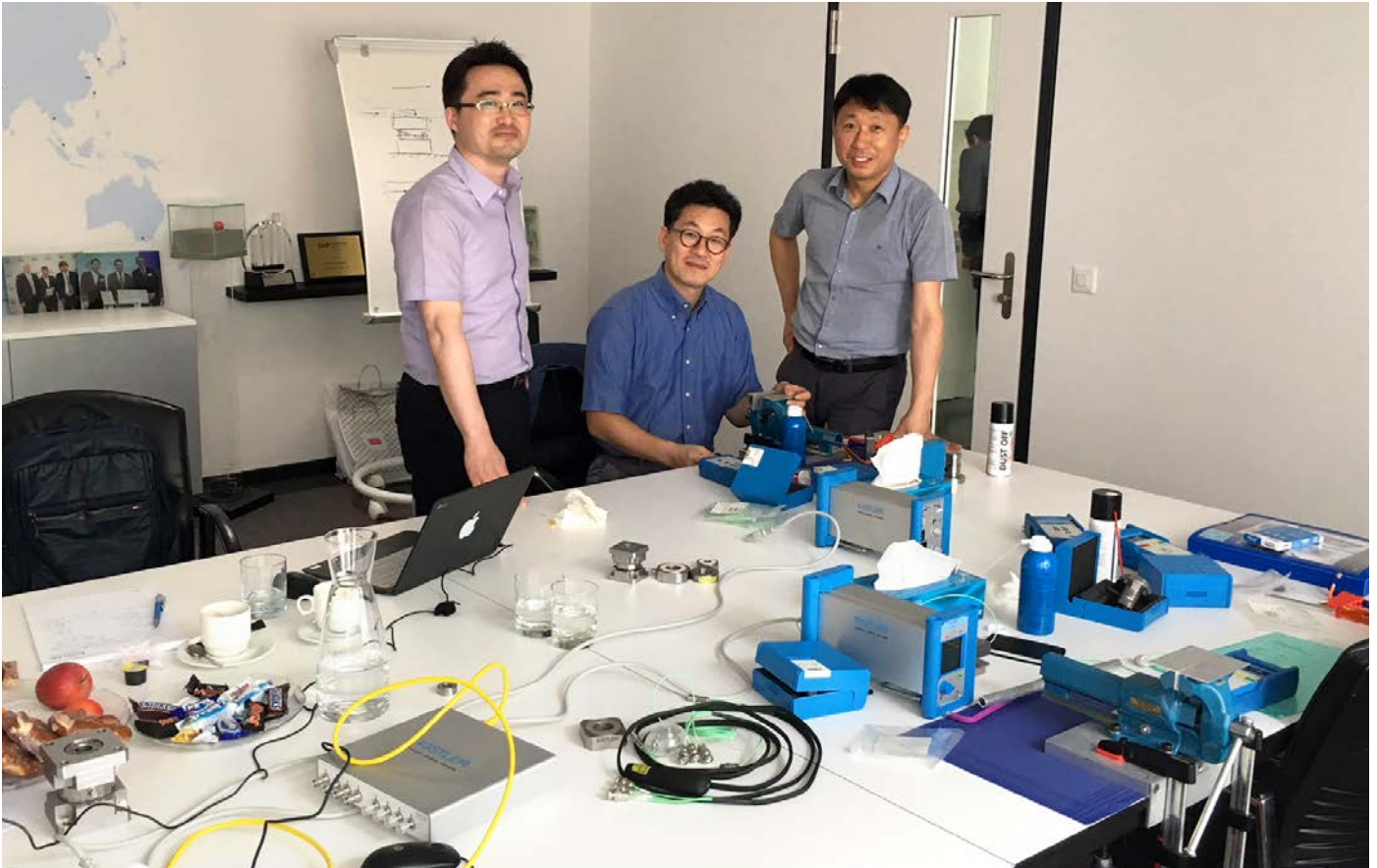
measure. analyze. innovate.



## Höhere Testsicherheit

Wie Kistler Südkoreas Forschung und Entwicklung für die Raumfahrt unterstützt

**KARI**  
KOREA AEROSPACE RESEARCH INSTITUTE



Von rechts nach links: Die Entwicklungsingenieure Sung-Hyun Woo, Ph.D., und Jong-Min Im vom Korea Aerospace Research Institute (KARI) arbeiten zusammen mit Seong-Oh Lee von Kistler an der Messkette für Satelliten-Vibrationstests.

**Die koreanische Luft- und Raumfahrtagentur vertraut für das Force Limited Vibration Testing (FLVT) von Satelliten auf Messtechnik von Kistler: 24 kreisförmig angeordnete und mit LabAmp-Ladungsverstärkern und Datenerfassungseinheiten verbundene Kraftsensoren ermöglichen eine integrierte Beschleunigungsregelung, mit der Schäden durch übermäßiges Testen verhindert werden können.**

Südkorea ist erst vor relativ kurzer Zeit in den Kreis der Raumfahrtnationen vorgestoßen. Den Grundstein hierfür legte das Land im Jahr 1989 mit der Gründung des Korea Aerospace Research Institute (KARI). Es befindet sich in Daejeon im Zentrum Südkoreas und gehört zum Wissenschafts- und Forschungscluster Daedeok Innopolis mit über 20.000 Forschern. In den 1990ern entwickelten die Spezialisten von KARI ihre ersten Raketen für Raumfahrzeuge. Heute liegt der Schwerpunkt der Raumfahrtagentur auf der Entwicklung intelligenter unbemannter Luftfahrzeuge (UAVs), Satellitenprogrammen und – in Zusammenarbeit mit der NASA – der Erforschung des Mondes.

Im Rahmen eines im Juni 2018 gestarteten Projekts setzten die Ingenieure von KARI sich zum Ziel, eine Infrastruktur zu implementieren, mit der Vibrationstests für große Nutzlasten flexibel durchgeführt werden können. Der sogenannte Force Limited Vibration Test (FLVT) ist ein bewährtes Verfahren, um die mechanischen Belastungen aufgrund von Vibrationen während der Start- und Flugphase zu simulieren. Hierbei wird der Prüfling auf einen Vibrationstisch gesetzt, mit dem Massen auf definierte und geregelte Weise angeregt werden können.

Um eine schwere Beschädigung oder sogar die Zerstörung des Prüflings durch übermäßiges Testen zu vermeiden, werden die Beschleunigungswerte häufig mithilfe zusätzlicher Kraftsensoren geregelt. „Diese Methode hat sich als empfindlicher, zuverlässiger und praktischer erwiesen als die alleinige Überwachung der Beschleunigung“, erklärt Sung-Hyun Woo, Direktor und leitender Wissenschaftler in der Abteilung für Weltraumumgebungstests bei KARI. „Unser Ziel war es, eine Regelung zu entwickeln, die die Anregung automatisch, abhängig von der Rückmeldung der Kraftsensoren, verringert.“ Diese Reduzierung des Beschleunigungspegels in engen Frequenzbändern nennt man „Notching“ – sie wird üblicherweise in Frequenzbändern angewendet, in denen ein Prüfling Resonanzen aufweist.

#### **Zuverlässige Daten und schnelle Verarbeitung ermöglichen Automatisierung**

Doch am Ende waren die Entwickler von KARI erfolgreich: Sie implementierten ein Field Programmable Gate Array (FPGA), das Berechnungen gleichzeitig und unabhängig von der Zahl der



**„Kistler hat uns während des gesamten Projekts unglaublich unterstützt – nicht nur durch die Produktqualität und Datenzuverlässigkeit, sondern auch durch die hervorragende Beratung.“**

Sung-Hyun Woo, Direktor und leitender Wissenschaftler in der Abteilung für Weltraumumgebungstests bei Korea Aerospace Research Institute (KARI)



Kistler Messtechnik in Ringstruktur für FLVT.

Operationen durchführen kann. Im bemerkenswertesten: „Die resultierende Dauer der vollständigen Kraft-Momenten-Berechnung beträgt nur mehr 0,12 ms in drei Schleifen von 0,04 ms. Es gab viele Parameter und Variablen zu beachten, bis die Schnittstelle zwischen Kraftmessung und Beschleunigungsregelung entwickelt war. Aber schließlich haben wir es doch geschafft!“

Als Nächstes wurde ein Vergleichstest mit der neuen Regelung durchgeführt. „Wir wollten prüfen, ob unser System wirklich besser ist als ein manuelles Verfahren. Deshalb führten wir einen Querschwingungstest mit unserer Vorrichtung durch, wobei hohe Momente auf die Grundfläche der Satelliten-Attrappe wirken“, so Im weiter. Der Test zeigte eindeutig, dass das System gut funktioniert: Dank des automatischen Notchings wurden die Beschleunigungswerte im Resonanzfrequenzbereich von 0,15 auf 0,03 g reduziert, so dass der Grenzwert von 60 kNm nicht überschritten wurde. Beim manuellen Verfahren hingegen kam es mit Werten von bis zu 71 kNm zu deutlichem „Overtesting“. Die Ingenieure von KARI nahmen anschließend FLV-Tests mit integriertem automatischen Notching und Momenten bis zu 300 kNm vor. Die Ergebnisse waren überzeugend, sodass nun der nächste Schritt vollzogen und das neue System auf echte Satelliten angewendet werden kann.

„Kistler hat uns während des gesamten Projekts unglaublich unterstützt – nicht nur durch die Produktqualität und Datenzuverlässigkeit, sondern auch durch die hervorragende Beratung. Die Mitarbeiter von Kistler haben uns mit ihrem großen Wissen über piezoelektrische Messketten geholfen und dabei mitgewirkt, alles zum Laufen zu bringen“, resümiert Sung-Hyun Woo. „Wir schätzen sie als wertvolle Partner auch im Hinblick auf zukünftige Projekte. Von den Kraftsensoren und Datenerfassungssystemen abgesehen könnten wir in kommenden

Projekten auch von den Beschleunigungssensoren von Kistler profitieren. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist für uns der lokale technische Support, den wir bei Bedarf von Kistler Korea erhalten.“

Piezoelektrische Kraftsensoren basieren auf dem piezoelektrischen Messprinzip. Sie eignen sich zur Messung (hoch-)dynamischer und quasistatischer Kräfte. Die auf den im Sensor verbauten Quarz wirkende Kraft erzeugt am Signalausgang eine proportionale Ladung. Ein nachzuschaltender Ladungsverstärker wandelt diese in ein auswertbares Prozesssignal um. Einer der besonderen Vorteile des piezoelektrischen Messelements besteht in seiner konstanten Messgenauigkeit über einen weiten Messbereich hinweg: So ist es möglich, einen sehr großen Sensor zur Messung von Kleinstkräften einzusetzen – bei gleichbleibender Messgenauigkeit. Piezoelektrische Sensoren zeichnen sich zudem durch eine hohe Überlastsicherheit aus, was gerade in tiefen Messbereichen aufwendige Schutzmaßnahmen erübrigt.



Der Kraftsensor 9377C von Kistler ist ein piezoelektrischer, vorkalibrierter 3-Komponenten-Kraftaufnehmer für Kräfte von bis zu 150 kN.

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.

Take the lead – right from the start

**Biomechanics**  
Force measurement solutions for motion analysis, sports performance diagnosis, rehabilitation and ergonomics

Safe braking thanks to efficient maintenance

**Brake force measurement in the rail transport sector**  
Sensors and accessories for precise brake force loading

Flexible to create and easy to integrate

**Weigh In Motion**  
Weighing equipment for a wide variety of traffic data collection applications and toll collection applications

Measuring equipment for demanding T&M applications

**Test & Measurement**  
Strain and signal conditioning systems

Develop and operate gas turbines more efficiently

**Gas turbine monitoring**  
Measuring combustion dynamics improves turbine efficiency performance

Analyzing and commanding sophisticated machining processes

**Cutting force measurement**  
Process monitoring systems for machining

Weitere Informationen finden Sie unter:  
[www.kistler.com/de/anwendungen](http://www.kistler.com/de/anwendungen)

**Kistler Group**  
Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur  
Schweiz  
Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter [www.kistler.com](http://www.kistler.com)  
Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf  
[www.kistler.com](http://www.kistler.com)

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.