



SIEMENS

Ingenuity for life

Siemens Digital Industries Software

벌크선 마찰 항력을 감소시키는 ALS 기법에 대한 CFD 연구

Simcenter STAR-CCM+를 사용한 선박 항력 감소 예측

개요

본 백서에서는 Siemens Digital Industries 소프트웨어 툴인 Simcenter™ STAR-CCM+™ 소프트웨어를 사용해 선체 하부에 기포를 주입해 감소 시킨 마찰 항력을 3D 수치로 알아본 2018년 연구 내용을 소개합니다. 본 연구에서는 두 가지 속도와 여섯 가지 공기 주입 속도로 재화중량 8,000 톤 벌크선을 1:23으로 축소한 모델을 사용했습니다. 수치 연구는 선박의 순항 속도 (10 노트)로 진행됐으며, 다른 하나는 최대 항력 감소 (6 노트)를 사용해 얻은 실험 결과에 기반했습니다.

Sudhir Sindagi 교수, Tolani 해상 연구소, 연구학자,
인도 마드라스 인도 공과 대학교 해양공학과

Dr. R. Vijayakumar 교수, 인도 마드라스
인도 공과 대학교 해양공학과

요약

수중에서는 물 점성이 대기 중보다 높아 수중 이동 수단은 육상 또는 공중 이동 수단보다 마찰 항력이 더 큽니다. 연료 비용이 증가하고 배출 가스 감축 규제가 강화되면서 선박 저항과 설치 전력 감소를 위한 노력이 필요한 상황입니다. 유체 마찰 항력은 화물선의 총 항력 중 60%를 차지하는 것으로 보고되었습니다.¹ 유조선의 경우 이 수치가 약 80%까지 증가합니다. 이는 유체 마찰 항력을 줄이기 위한 노력의 동기로 충분합니다.

표면 마찰 항력을 줄이기 위해 미세 구조-리블렛과 폴리머, 난방 벽 및 진동 유연 벽, 부분 공동 생성, 방오 및 코팅, 초 소수성 표면 및 공기 유회 시스템 (ALS)과 같은 여러 기술²에 대한 연구가 이뤄졌습니다. 과거에는 BDR (기포 저항 감소)과 ALS, 이 두 가지 항력 감소 기법이 사용되었습니다.

BDR을 사용한 실험 결과로는 30%, ALS를 사용한 실험 결과는 80% 이상 항력 감소가 이뤄졌습니다. 이를 통해 타 항력 감소 기술에 비해 ALS가 환경 친화적이며, 작업이 쉽고 비용 부담이 낮아 에너지 비용 절감 효과가 높다는 이점이 파악되었습니다.^{3, 4, 5} 또한 ALS는 마찰 항력을 80% 감소시켜 상선과 함정 모두에 상당한 연료 절감 효과를 가져다 줄 수 있습니다.

이번 실험 연구는 인도 마드라스 소재 인도 공과대학 해양공학과와 견인 탱크에서 진행되었습니다. Siemens Digital Industries Software의 Simcenter STAR-CCM+ 툴을 사용해 선체 하부 기포를 시뮬레이션하기 위한 수치 연구를 실시했습니다. 이는 직경 1mm, 직경 2mm 주입구를 사용해 225개 공기 주입구가 있는 특정 선체에 대한 시뮬레이션 제어 볼륨을 생성하는데 사용되었습니다. 시뮬레이션 목표는 두 주입구의 효과를 파악하는 것이었습니다.

Tolani Maritime Institute의 Sudhir Sindagi 교수는 "Siemens는 이 연구를 위해 Simcenter STAR-CCM+를 무제한 사용할 수 있도록 지원했습니다" 라고 말합니다. "우리 학교에서 사용하는 툴이라 학생들은 이를 적용해 실험하는 것에 익숙합니다. Simcenter STAR-CCM+의 계산 능력은 놀랍습니다."

인도 마드라스 소재 인도 공과대학 해양공학과 R. Vijayakumar 박사는 "Simcenter STAR-CCM+를 활발히 사용해 온 지 5년이 넘었습니다" 라고 말합니다. "소프트웨어 인터페이스와 메시 기능, 포스트프로세싱이 상당히 뛰어나고 직관적이며, 학생들은 이를 사용해 코드 활용에 금세 적응할 수 있습니다. 또한 메시 기능과 해석, 포스트프로세싱이 제품군에 통합되었습니다."

기포 주입에 따른 유량 매개변수 변동 연구

선체 마찰 항력을 나타내는 수식은 다음과 같습니다:

$$R_F = C_F \frac{1}{2} \rho S V^2$$

위 수식에서 마찰 항력을 감소시키려면 마찰 계수 (C_F)와 유체 유동 밀도 (ρ), 침수 표면적이 감소되어야 합니다. ALS에 기반한 기존 실험에서 볼 수 있듯 ALS 효과는 레이놀즈 응력을 감소시킬 수 있는 국소 유효 점도와 유체 밀도가 감소했기 때문에 나타납니다.² 마찰 항력 감소를 유발할 수 있는 다른 요인으로는 거품 총화, 벽면 근처 상 구성, 유동 방향의 난류 강도 감소 및 벽면 근처의 스펀 방향 소용돌이도 형성 등이 있습니다.

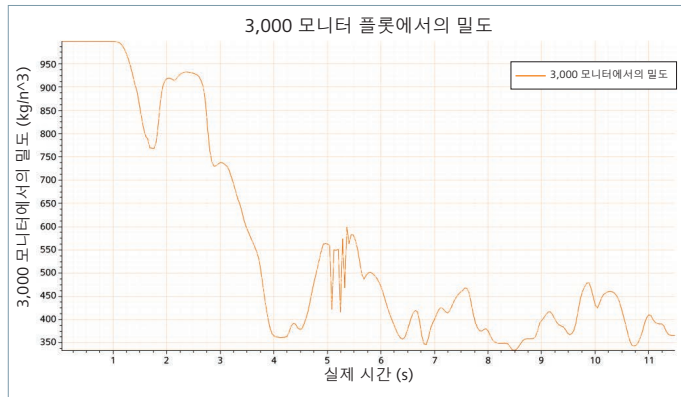


그림 1

경계 층에 공기를 주입하면 기포와 물이 포함된 공기-물 혼합물을 형성할 수 있습니다. 공기 주입량이 증가하면 기포는 표면을 지속적으로 덮는 패치로 합착되기

시작하며, 패치가 기포와 공존하는 지점에 천이 공기층이 형성됩니다. 공기 유량이 더 증가하면 연속 공기층이 형성되며 표면과 물의 직접 접촉이 감소합니다. 물에서 공기로의 유체 밀도를 감소시키려면 연속적인 공기층을 형성하는 것이 바람직합니다. 그림 1에서 볼 수 있듯 밀도 변화는 공기 주입 지점 후면으로부터 3,000mm 위치에서 시간에 대해 플로팅됩니다. 그림 1을 보면 밀도 감소가 약 55%에 달한다는 결론을 내릴 수 있으며, 이는 마찰 저항을 감소시킵니다. 액체 점도로 인해 발생하는 전단 응력은 다음 수식을 사용해 추산할 수 있습니다:

$$\tau_w = \mu \frac{du}{dy} - \rho U'V'$$

여기서 μ 는 액체의 동적 점도이며 $\rho U'V'$ 항은 레이놀즈 응력입니다.

$$\text{여기서 항은 } U'V' = -q\Lambda \frac{\partial u}{\partial y}$$

$q\Lambda$ 는 에디 점도, q^2 는 난류 에너지, Λ 는 난류 스케일이 포함된 에너지입니다.

대체로 우리가 얻은 것은:

$$\tau = (\mu + \rho q\Lambda) \frac{\partial u}{\partial y}$$

상기 식에서는 유량에 기포가 존재하면 혼합물 밀도가 감소하며 전단 응력이 줄어듭니다. 위 방정식의 두 번째 항은 레이놀즈 응력으로 알려져 있으며 밀도 (ρ)가 감소함에 따라 감소합니다. 기포의 주입으로 인한 난류 점도와 동적 점도의 변화에 대해 선박의 최후방에서 3,000mm 떨어진 위치에서 유사한 관측을 수행했으며,

그림 2와 3에 표시돼 있습니다. 선체 하부에 거품이 주입되면 국소 영역에서의 난류 점도와 동적 점도는 위 수식 중 첫 번째 항을 감소시킵니다. 마찬가지로 그림 4에서 표시된 것처럼 마찰 저항이 감소하는 또 다른 이유는 기포 주입에 의해 난류 소실률이 감소하기 때문입니다. 결론적으로, 밀도 감소, 점성 감소, 레이놀드 응력 감소 및 난류 소실률 감소에 따른 복합적인 효과는 마찰 항력 감소를 야기합니다.

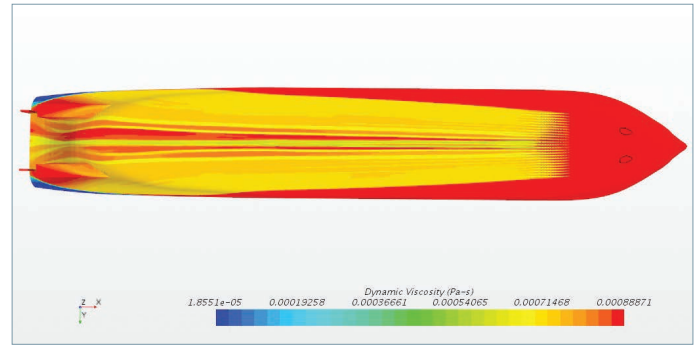


그림 2



그림 3

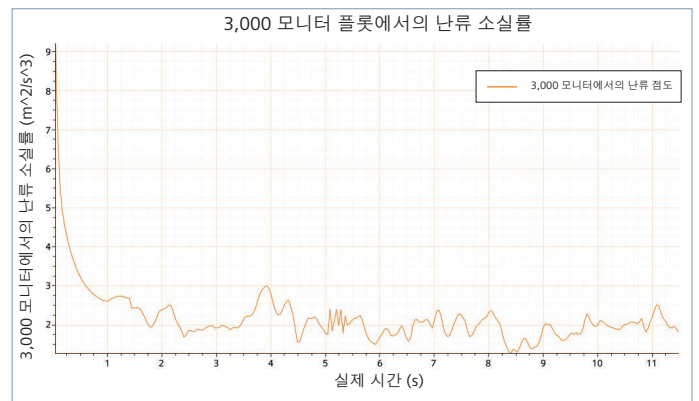


그림 4

10 노트에서의 다양한 주입 유량 연구

그림 5와 6은 각각 분당 2.5 입방피트 (CFM)와 1.5 CFM 두 값에 대한 세로 방향과 가로 방향의 마찰 계수(CF) 값의 변화를 보여줍니다. CF는 일정한 상태를 유지하지 않으며, 이는 공기층 형성이나 거품의 존재 여부에 따라 달라집니다 (그림 7). 또한 CF 값의 최대 감소는 선체의 측면과 달리 선체의 중심선에 있으며, 선박의 중심선에서 300mm 입니다. 주입 지점으로부터 세로 방향으로의 거리가 증가하면서 CF 값은 공기층 형성으로 초기에는 감소합니다. 거리가 늘어날수록 CF의 값은 증가합니다.

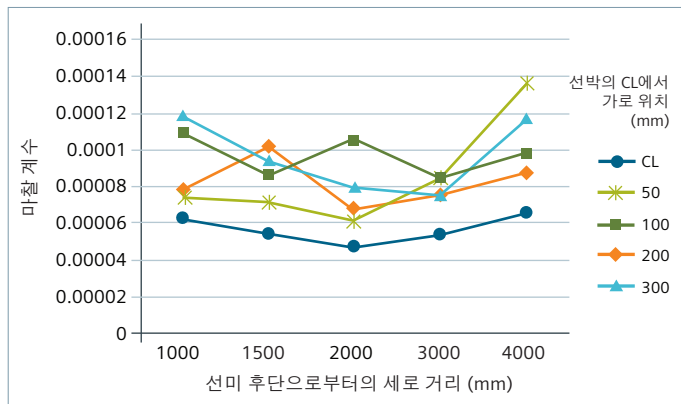


그림 5

세로 방향과 가로 방향의 주입 지점으로부터의 거리에 따라 ALS 효과가 감소함을 다시금 확인시켜줍니다. 여러 연구자들이 실시한 과거 실험에서^{6, 7} 특정 위치에서 기포가 가로 방향으로 빠져나간다는 점이 발견되었습니다. 이 실험에서 선체는 평평한 바닥으로 신중하게 선택됐으며, 선박의 최후방까지 기포가 빠져나가지 않는다는 점이 발견되었습니다. 이는 기포가 선체 하부의 최대 영역을 덮었기 때문으로, 기존 실험^{6, 7}에 비해 전체 항력에서 더 높은 감소 값이 나타나는 이유 중 하나입니다. 또한 그림 7은 세로 방향 거리가 증가함에 따라 기포가

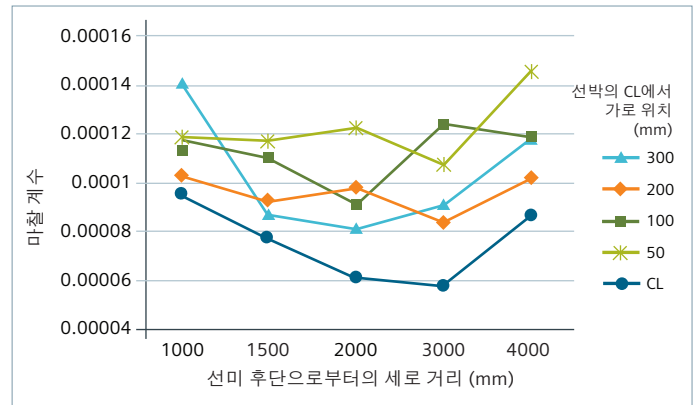


그림 6

합체되어 에어 포켓을 형성하는 모습을 보여줍니다. 이는 CF 값이 세로 방향에서 변동하는 주된 이유이며, 기포가 응집해 표면과 물의 접촉을 피하고 마찰 계수를 감소시키는 에어 포켓을 형성하기 때문입니다. 그림 7에서 볼 수 있듯 합착은 선박 속도와 공기 주입 속도에 따라 달라집니다. 속도가 빠를수록 기포는 개별적으로 움직이며 합착성이 떨어집니다. 속도가 느릴수록 기포는

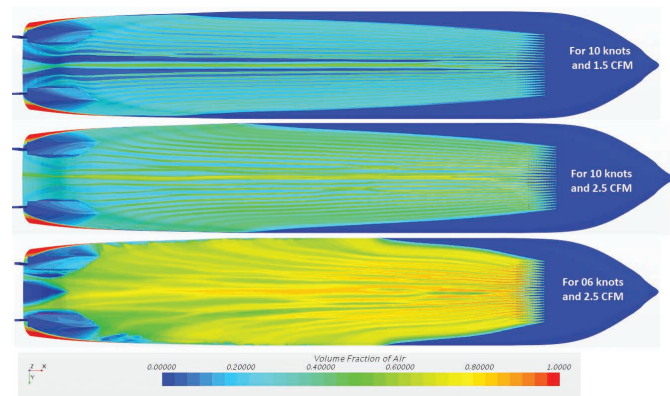


그림 7

서로 합착하기 시작하며, 물을 완전히 대체하는 공기층을 형성해 마찰 항력을 최대한 감소시킵니다.

일정한 주입 유량에서 여러 속도에 대한 세로 방향에서의 CF 값 변화

다양한 공기 주입 속도에 대해 세로 방향에서의 ALS 효과에 선박 속도가 미치는 영향에 대한 연구가 이뤄졌습니다. 그림 8과 9를 통해 2.5 CFM과 1.5 CFM의 공기 주입 유량에 대해 ALS 효과는 선박의 6 노트 속도에 더 많이 나타났으며, 마찰 계수가 가장 낮다는 결론을 내릴 수 있습니다. 앞서 언급했듯 속도가 느릴 수록 최대 감소가 나타나는 이유는 공기층이 형성돼 선체 하부의 물을 완전히 대체하기 때문입니다.

일정한 주입 유량에서 여러 속도에 대한 가로 방향에서의 CF 값 변화

다양한 공기 주입 속도 값에 대해 가로 방향에서의 ALS 효과에 선박 속도가 미치는 영향에 대한 유사한 연구도 실시됐습니다. 그림 10과 11을 통해 ALS 효과는 선박 속도 6노트일 때 더욱 두드러지며, 가로 방향에서 가장 낮은 계수 마찰값을 제공한다는 결론을 도출할 수 있습니다. 더불어 가로 방향에서는 기포 흐름이 없기 때문에 공기 주입 효과가 급격히 줄어듭니다.

정리하자면 ALS 효과는 기포가 없어 하류에서 스펀 방향으로 점차 감소합니다.

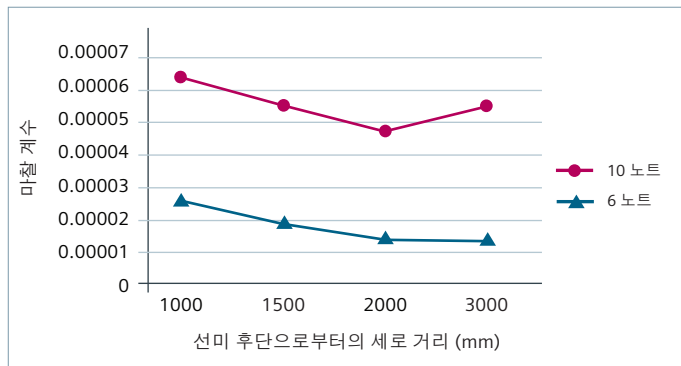


그림 8

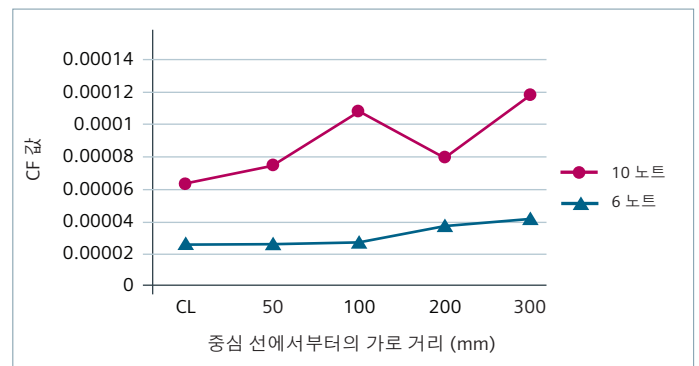


그림 10

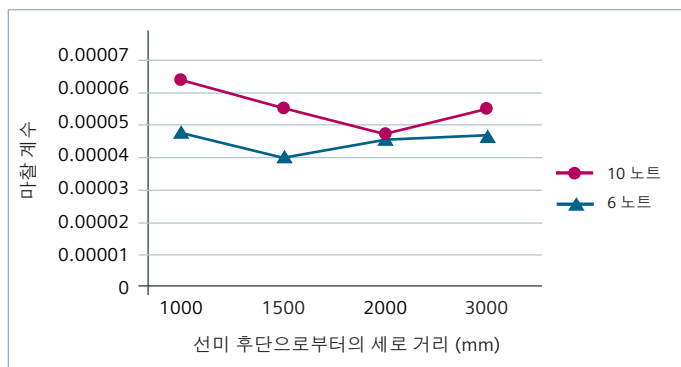


그림 9

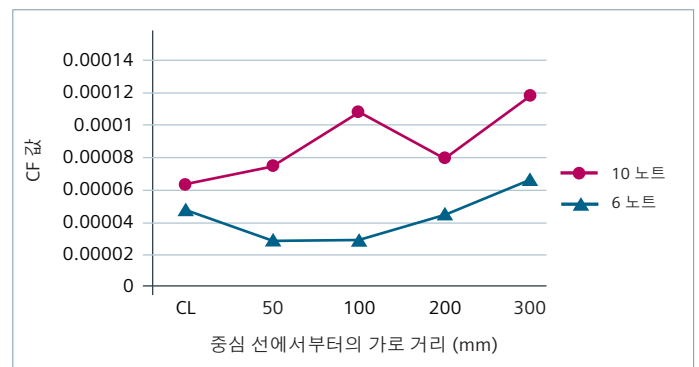


그림 11

다양한 크기의 주입 구멍에 대한 유량 매개변수 비교

ALS 기법을 실제로 적용할 때 기포 주입에 필요한 전력을 줄이려면 주입 구 크기가 더 커야합니다. 이 섹션은 유량 매개변수 변동과 관련한 유용한 정보를 제공하며, 직경 1mm 주입구와 직경 2mm 주입구가 있는 두 가지 주입구에 대한 총 선박 항력 감소치를 비교합니다. 이 연구에서는 네 가지 주입 속도에 대해 6노트와 10노트의 두 가지 속도를 적용했습니다.

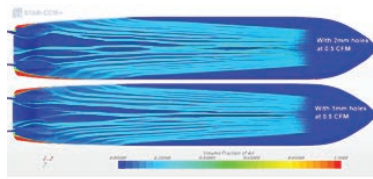


그림 12

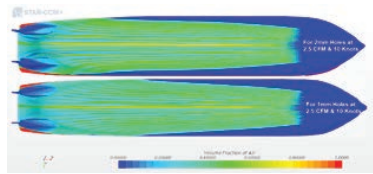


그림 13

그림 12는 6 노트 0.5 CFM에서 2mm 및 1mm 직경의 주입구가 있는 두 가지 크기의 구멍에 대해 선체 하부에 분포된 공기 부피율을 비교한 모습입니다. 그림 13은 10 노트 2.5 CFM에서 2mm 및 1mm 직경의 주입구가 있는 두 가지 크기의 구멍에 대해 선체 하부에 분포된 공기 부피율을 비교한 모습입니다. 그림을 보면 선체 하부 공기 부피율 분포에서는 큰 차이가 없다는 결론을 도출할 수 있으나, 기포 함착과 파괴로 인해 선체 후부에서의 공기 분포에는 약간의 차이가 발생했습니다.

결론

기포 주입에 의한 마찰 항력 감소에 대한 3D 수치 연구는 Simcenter STAR-CCM+를 사용해 8천톤 DBC를 1:23으로 축소한 모델로 진행했으며, 다양한 직경의 주입구를 사용한 다양한 공기 주입율과 두 가지 속도를 적용했습니다.

선체 하부에 기포를 주입하기 위해 직경 1mm 구멍과 직경 2mm 구멍을 사용했습니다. 발견 사항은 다음과 같습니다:

- ALS 효과는 레이놀즈 응력을 줄이고 전단 응력을 감소시키는 유체의 국부 유효 점도 및 밀도 변동에 의해 발생함

- ALS 효과는 기포 함착 및 공기층 형성 여부를 결정하는 선박 속도와 공기 주입 속도에 의해 좌우됨
- 다른 크기의 주입구에 대한 항력 감소 값에는 별 차이가 없음

Sindagi 교수는 "우리는 CFD로 선체 마찰 항력 감소에 대한 유의미한 정보를 얻는 방법을 알게 됐으며, 물리 기반 대안을 제시하고 복잡한 유체역학 유동과 관련한 물리 기반 설명을 제공할 수 있습니다" 라고 말합니다.

참조

1. Marin, "The efficacy of air-bubble lubrication for decreasing friction resistance," Maritech News, 2011.
2. S. Sindagi, R. Vijaykumar and B.K. Saxena, "Frictional Drag Reduction: An EFD and CFD Based Review of Mechanisms," International Conference on Computational and Experimental Marine Hydrdynamic, March 2016.
3. S. C. Sindagi, R. Vijayakumar and B. Saxena, "Frictional Drag Reduction: Review and Numerical Simulation of Microbubble Drag Reduction in a Channel," Transactions of Royal Institution of Naval Architect (RINA), International Journal Maritime Engineering, 2018.
4. S. Sindagi, R. Vijayakumar and B.K. Saxena, "CFD Investigation of MBDR Technique on Frictional Drag Reduction of Bulk Carrier," 6th National Conference on Coastal, Harbour and Ocean Engineering, Pune, India, 2018.
5. S. C. Sindagi, R. Vijayakumar, S. Nirali and B. Saxena, "Numerical investigation of influence of Micro Bubble injection, distribution, void fraction and flow speed on frictional drag reduction," in Proceedings of the Fourth International Conference in Ocean Engineering (ICOE2018), IIT Madras, India, 2018.
6. K. Fukuda, J. Tokunaga, T. Nobunaga, T. Nakatani and T. Iwasaki, "Frictional drag reduction with air lubricant over a super-water repellent surface," J Mar Sci Technol, 2000.
7. K. Yoshiaki, K. Akira, T. Takahito and K. Hideki, "Experimental study on air bubbles and their applicability to ships for skin friction reduction," International Journal of Heat and Fluid Flow 21, 2000.

Siemens Digital Industries Software

본사

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

미주 지역

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

유럽 지역

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

아태 지역

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong
Kowloon, Hong Kong
+852 2230 3333

Siemens Digital Industries Software 소개

Siemens Digital Industries Software는 엔지니어링, 제조 및 전자 설계가 미래와 만나는 디지털 엔터프라이즈를 실현하기 위한 혁신에 박차를 가하고 있습니다. Siemens Digital Industries Software의 솔루션은 규모를 막론한 기업이 조직에 새로운 인사이트와 기회, 혁신을 촉진할 자동화 수준을 제공하는 포괄적 디지털 트윈을 생성할 수 있도록 지원합니다. Siemens Digital Industries Software 제품과 서비스에 대한 자세한 사항은 sw.siemens.com 를 방문하시거나 [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) 및 [Instagram](#) 계정 팔로우를 통해 확인하실 수 있습니다. Siemens Digital Industries Software – Where today meets tomorrow.

www.sw.siemens.com

© Siemens 2019. 관련 Siemens 상표 목록은 [여기](#)서 확인할 수 있습니다. 기타 모든 상표는 해당 소유자에 귀속됩니다.

77769-81683-C8-KO 2/20 LOC