

제약, 식품, 화학 분야 위생 설비 및 공정 위한
마그네틱 교반 솔루션

SEDNA

기술백서

V. 2019

들어가는 말

마그네틱 교반 기술은 단순히 자석을 코팅해 플라스크에 넣고 회전시키던 기구로부터 시작되어 수많은 응용 어플리케이션을 만들어내었고, 현재에는 다양한 산업군에서 교반 환경의 위생성과 작업자의 안전을 지키며 발전해왔습니다.

세드나는 지난 15년간 유럽 중심의 기술을 국내 최초로 국산화하고, 국내 최고 수준의 기술력으로 현재에는 아시아와 전 세계에서 높은 경쟁력으로 긍정적인 평가를 받아오고 있습니다.

세드나는 지금까지 수집해온 교반과 관련된 바이오 공정 설비 (BPE, Bio Process Engineering) 정수라고 할 수 있는 수역학과 액상관리 이론, 현재에 이르기까지 축적되고 있는 수천여건의 적용 데이터를 토대로 한 노하우 그리고 전산유체역학의 도움을 받는 교반 펌핑 예측에 이르기까지 방대한 자료들을 정리하고자 하며

이를 통해, 전 산업 분야에서 마그네틱 커플링 기술을 적용하고자 하는 설계자, 소비자 및 유관 관계자분들의 선택을 돕고자 합니다.

본 백서는 세드나의 기술적 집합으로써, 주요 기술적 원칙과 적용 사례 그리고 사용자 편의를 위한 자료들을 총 망라 하였으며, 세드나의 끊임없는 연구개발과 산학 협력 시스템을 통해 기술 진보와 지식 재산권 확보를 이룸에 따라 기술 백서의 지속적인 갱신으로 소비자 만족을 위하여 노력할 예정입니다.

세드나이엔지 (주)

대표이사 **김 혁 배**

목 차

□ 용어(Glossary)	2
□ 마그네틱 교반기의 특징	5
□ 재질 특성	12
○ 마그네틱 교반기 접액부 재질	12
○ 마그네틱 교반기 베어링	14
○ 마그네틱 교반기 탄성체(Elastomer)	15
□ 교반 조건 특성	17
○ 교반 액상의 특징	17
○ 교반 용기의 특성	19
○ 교반 용기 내 교반기 설치 위치	21
○ 웰딩플레이트 용접	22
○ 전기	24
□ 임펠러 선정 원리	25
○ 스케일 업(Scale Up)시 교반기 선정 원리	28
□ 전산 유체 역학(CFD) 시뮬레이션	29
○ CFD (Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학)	29
○ FEM(Finite Element analysis, 유한요소 해석)	30
□ CIP의 개념	31
○ CIP 후 잔존 오염물 평가	34
□ 마그네틱 교반기의 Dry Running	35
□ 제품 치수표	38
□ 주요 적용 실적	40

□ 기술 개요(Introduction)

세드나 마그네틱 커플링 응용 기술의 대표주자인 마그네틱 교반기는 영구자석의 자기선속 및 자기 배열에 대한 심도 깊은 이해와, 가장 효율적인 기계적 구조에 대한 이론과 노하우를 기반으로 고위생 액상 관리 공정에 적합한 제품을 만들어 낸다.

세드나 마그네틱 커플링 기술은 기존의 산업 현장에서 적용되어오던 씰링 기술의 구조적 문제였던 씰 부위의 파손 문제를 원천적으로 해소가 가능하다. 기존 씰링 기술은 엘라스토머, 세라믹, 엔지니어링 폴리머등의 재질을 활용하여 액상의 외부 유출과 외부 환경 오염물질의 내부 혼입을 방지하는 역할을 하였으나, 마그네틱 커플링은 씰링 공간 자체가 존재하지 않는 기술로써 씰의 문제점을 해소하게 되었다.

이러한 커플링 기술이 적용된 세드나 마그네틱 교반기의 원리는 교반 용기의 내외부가 차단된 상태에서 드라이브 유닛의 구동력을 교반 용기 내부의 임펠러에 전달하고, 구동력을 전달 받은 임펠러가 회전하게 되면서 액상이 교반되는 구조이다.

또한, 다종의 임펠러 형상에 대한 수역학적 이해와 전산 유체역학 해석등을 통해 단순 교반부터 침전방지, 발효, 배양, 파쇄, 분쇄, 유화 등 산업 현장의 다양한 교반 분야에 적용이 가능하다.

□ 용어(Glossary)

• 토크(Torque, N*m)

토크는 회전축 둘레의 힘의 모멘트를 의미한다. 교반기의 토크는 액상, 점도, 밀도 등의 교반기에 적용되는 조건에 따라 교반기가 받는 부하를 의미한다.

모터 토크	마그네틱 커플링 토크	임펠러 토크
Spec 데이터	실측 데이터	이론 해석, CFD 해석

마그네틱 교반기에서 토크는 3가지 요소에 적용된다. 우선 모터 토크는 모터 제조사가 제공하는 모터의 허용 출력을 의미하며, 마그네틱 커플링 토크는 마그네틱 로터와 마그네틱 임펠러로 구성되어 결합되는 커플링의 허용 최대 부하 지점을 의미하며, 각 제품과 모델별로 자석의 크기 및 배열에 따라 상이한 수치를 가지고 있다. 임펠러 토크는 계산 공식과 CFD해석을 통해 얻어지는 토크로써 임펠러의 기하학적 형상, 교반 대상인 액상의 특성 및 회전 속도등의 교반 조건 등에 의해 결정된다.

• 팁스피드(Tip speed, m/s)

팁스피드는 임펠러 가장 끝단의 한 점이 일정시간 동안 이동하는 거리이다.

$$pspeed = ND\pi$$

팁스피드는 소규모 파일럿 용기 에서 파일럿 및 벌크 생산 용기로의 확장시 임펠러의 크기와 회전 속도를 결정하는 스케일업(Scale-Up) 공식에 주로 사용되며, 동일한 형상의 임펠러의 크기를 확장 시킬 경우 동일 팁스피드를 활용하여야 효율적인 스케일업에 성공할 수 있다.

• 전단응력(Shear Stress, Pa)

전단응력은 재료가 전단력을 받을 때 이에 저항하여 생기는 응력이다. 고체의 경계를 따라 움직이는 유체는 전단에서 응력을 발생시킨다. 응력이란 물질 자체의 고유 내력과 외부에서 발생하는 외력을 포함한 개념이며, 외력에 맞서 변형하지 않으려는 힘은 허용응력이라고 부른다. 전단응력 수치가 중요한 바이오 공정에서 배양 세포 및 단백질이 가지는 고유의 허용응력(=내력)보다 임펠러로부터 발생하는 외력의 수치가 클 경우 배양 세포나 단백질의 세포막이 파괴되거나 변형하게 된다.

또한, 같은 조건이더라도 점도가 낮은 액상의 교반에서는 유체(=액상)와 고체

(=임펠러)가 유사한 속도로 흘러가기 때문에 전단력이 낮아지지만, 점도가 높은 액상의 교반에서는 유체와 고체가 상이한 속도로 흘러가기 때문에 전단응력이 높아진다.

이러한 조건을 모두 측정하여, 액상내 물질의 허용 응력을 알 수 있을 경우 안전계수를 초과하지 않도록 임펠러의 형상과 교반 조건을 조정하여 전단응력을 줄일 수 있다.

- **임펠러 펌핑 용량(Pumping Capacity, l/min)**

임펠러의 회전으로부터 발생하는 액상의 유동을 계량한 수치를 의미한다. 난류 운동이 지속되고 있는 교반용기 내부에서의 실제 유동량을 측정하기란 불가능에 가깝지만, 이론적인 해석과 더불어 CFD 시뮬레이션을 통해 해석 하는 방법이 있다. 임펠러의 펌핑 용량은 용기내의 턴오버 수치를 계산하는데 주로 사용된다.

- **턴오버 비율(Turnover rate, in minute)**

턴오버란 본래 교반 용기의 용량에 펌프 토출 용량이 더해지게 될 경우 용기를 가득 채우고 초과하게 되는지에 대한 정량적 비율을 의미한다.

임펠러의 턴오버 비율은 펌프의 펌핑 용량을 임펠러의 펌핑 용량으로 대치하여 적용한 개념으로 임펠러가 회전하며 발생시킨 유동이 교반용기 전체의 액상을 교반하는 비율을 나타낸다.

임펠러 턴오버의 경우 교반 용기의 형상 및 임펠러의 설치 위치 등에 따라 동일한 수치일지라도 서로 다른 효율을 보이는 한계가 있다. 즉, 동일한 용량임에도 불구하고 교반 용기 내경과 실린더 높이의 비율이 다를 경우 상이한 교반 성능을 나타낼 수 있다.

- **최소 교반(Minimum mixing volume)**

최소교반이란 교반 용기 내에서 교반 가능한 최소 용량을 의미한다. 최소 용량은 작으면 작을수록 생산 로스 분이 축소되게 되므로, 교반기 제조업체들은 더 작은 용량에서도 가능하도록 교반기를 제작한다. 그러나 완전 배수 상태에서는 유효 역할을 하는 액상이 없어지므로, 베어링의 파손 문제가 발생하게 된다. 따라서 최소 교반은 통상 마그네틱 교반기의 임펠러 베어링이 침수되어있는 상태까지의 액상 수위를 의미한다.

- **와류(Vortex)**

와류란 교반기 임펠러의 회전으로 인해 액상이 소용 돌이 치는 것을 의미한다. 일반적으로 교반에 있어 임펠러가 소용돌이를 치게 만들어내는 것이 우수한 교반력의 표시로서 활용되어왔으나, 이는 부유물의 하부로의 유동을 통한 혼합 교반 과 임펠러를 통해 고형물질을 파쇄 해야 하는 경우의 혼합 교반을 제외하고는 우수한 교반력을 상징하지 않는다.

오히려, 바이오 물질이나 제약 용액의 경우 와류의 형성은 압력의 불균형한 분포, 전단응력의 증가 등으로 액상에 피해를 입히게 되므로 발생을 제한하는 것이 필요하다. 또한 볼텍스의 형성이 액상으로 공기를 과다하게 공급하게 되므로 거품이 심하게 발생하게 되는 문제점등이 있다.

따라서, 와류를 교반의 성공 요소로 판단하기 보다는 유체 유동 패턴이나, 유동량, 압력 등 목적에 적합한 요소를 우선순위로 삼는 것이 더욱 중요하다.

□ 마그네틱 교반기의 특징

마그네틱 교반기는 교반 용기 외부에서 구동력을 자기력을 이용하여 전달하여 교반 용기 내부에 설치된 임펠러가 회전하는 장치로서 내, 외부가 차단된 상태에서 교반이 가능하므로 외부 오염물질의 혼입이 발생하지 않아야 하는 고 위생 액상의 교반, 내부 물질이 외부로 유출되지 말아야 하는 고위험 액상의 교반등에 주로 사용 된다. 세드나는 마그네틱 교반기에 대한 심도 깊은 이해를 통해 다양한 환경에 적용 가능한 마그네틱 교반기술을 보유하고 있다.

• 교반의 종류

교반(Agitation)의 사전적 정의는 액체에 운동을 제공하는 활동을 의미한다. 교반의 하위개념으로 크게 혼합(Mixing)과 분산(Dispersion)이 있으며 혼합은 두 개의 대상을 하나로 섞는 활동을 의미하고, 분산은 섞이지 않는 두 개의 대상을 각기 개별 반응 시키도록 분리 및 산포시키는 활동을 의미한다. 교반의 목적에 따라 다양한 사용 방식과 이를 위한 다양한 형상의 교반기 및 임펠러들이 존재 한다.

• 교반의 목적에 따른 분류

일반적인 산업 현장에서 적용 되는 교반의 종류에는 혼합, 용해, 분산, 반응 발효, 배양, 유화, 침전방지, 균질화, 파쇄 등이 있으며 이는 제약, 바이오, 식음료, 유업, 이차전지, 반도체, 화학, 석유 산업 등 다양한 산업 군에서 적용되고 있다.

- **혼합 교반(Mixing)**은 광범위한 산업군에서 사용되고 있으며 액상 - 액상 교반, 액상 - 고체 교반, 액상 - 기체 교반이 주를 이룬다.
- **용해 교반(Dissolving)**은 수용성 고형분을 액상에 골고루 교반되게 하는 것이며, 용해 시간의 단축과 용해 되지 않은 입자의 발생을 방지하기 위하여 교반이 적용된다.
- **분산 교반(Dispensing)**은 용기 내 액상에 산소 등의 기체를 골고루 분산하게 하여 용존 산소 및 기체 포화도를 높이는데 사용된다.
- **반응 발효 교반(Reacting)**은 세포, 미생물 및 배양균등의 반응과 발효의 생장을 원활하게 하기 위한 교반이며, 다양한 바이오 물질의 신진대사에 맞춰 최적의 생장이 이루어 질 수 있도록 하며, 세포막을 파괴하지 않도록 전단응력을 줄이고, 용액내 물질의 원활한 순환 환경을 유지할 수 있으며, 멸균 상태

가 유지 되도록 하는 교반이 구성된다.

- **배양 교반(Fermenting)**의 경우 산삼 배양근과 같은 식물성 교반 대상들을 배지 용액 속에서 성장시키는 것으로 통상 산소로 인한 오염 문제가 발생하기 때문에 외기 유입이 차단된 환경을 조성한 후 교반하게 된다.
- **유화(Emulsification)**는 용합되지 않는 두 가지 액상을 혼합시키는 것으로, 일반적으로 물과 기름의 층 분리를 파괴하는 것이 주 목적이다. 유화에 적용되는 교반기는 회전자와 고정자가 미세한 간격(Gap)을 두고 배열되어 있으며, 고속으로 회전하는 회전자가 유화대상 물질을 빨아들이고 미세공극 사이로 분출하는 과정에서 파괴시키는 역할을 주로 하게 된다.
- **균질화(Homogenizing)**는 유화와 유사한 교반기가 적용되나 액체-고체의 교반에서 주로 사용되며 비수용성 고체가 미세한 크기로 액상에 균질하게 분포되어야 하는 경우에 사용된다.
- **파쇄(Pulverization)**는 가장 강력한 교반 중 하나로서 강한 내구성을 지닌 임펠러를 활용하여 뭉쳐있는 고체를 잘게 부수어 액상과의 반응을 용이하게 할 때 사용된다.

• 임펠러의 형상

위와 같이 다양한 교반 목적을 해결하기 위하여 지난 수십여 년 간 액상관리 공정 엔지니어들은 수역학적 이해를 기반으로 다양한 형상의 임펠러들이 개발해왔다. 최초의 임펠러는 봉 형상의 샤프트에 판재를 결합한 단순한 형상으로 시작되었다.

동력기술의 발전과 선박 산업 분야의 발전이 이루어지며 적은 동력으로 선박을 이동시키기 위한 고효율 프로펠러의 개발이 진행되었으며, 이를 액상 교반분야로 적용 시켜 액상의 저항을 계산하며 유체 흐름 분포를 최적화한 프로펠러형상의 고효율 임펠러가 교반에 적용되기 시작하였다. 이후 생물, 의약학, 화학 기술등 교반이 필요한 다양한 분야가 발전하게 되면서 각 분야의 특성에 맞는 특수한 형상의 임펠러가 개발되기 시작했다.

○ 마그네틱 교반기의 구성

마그네틱 교반기는 드라이브 유닛, 하우징, 샤프트, 로터, 웰딩플레이트, 베어링, 임펠러의 구성으로 이루어지게 된다.

- **드라이브 유닛(Drive Unit)**은 일반적으로 모터와 감속기로 구성되어있으며, 전력의 인가를 통한 회전 구동을 가능케 한다.
- **하우징(Housing)**은 샤프트와 로터를 보호하는 역할을 하며, 교반 용기의 구조에 따라 길이가 다양하게 구성된다.
- **샤프트(Shaft)**는 감속기 혹은 모터와 연결되며 구동력을 전달받아 로터를 회전시키는 역할을 하며, 교반 용기의 구조에 따라 다양한 길이로 구성된다.
- **로터(Magnetic Rotor)**는 영구자석이 배열되어있으며, 샤프트와 결합되어 회전하는 구조로서 영구자석의 배열과 크기에 따라 임펠러를 잡아당기는 자기 인력이 발생하게 되고, 자기인력으로 임펠러가 회전 될 수 있도록 한다.
- **웰딩플레이트(Weldingplate)**는 교반용기에 용접 결합되며, 교반용기의 내외부가 단절된 상태를 유지하는 역할을 한다.
- **베어링(Bearing)**은 수부싱 베어링과 암부싱 베어링으로 구성되며 수부싱 베어링이 우선 교반 용기 내부에서 웰딩 플레이트의 상단에 볼트 체결된다.
- **임펠러(Impeller)**는 몸통 중간에 중공이 있으며, 이 곳에는 암부싱 베어링이 고정 결합되어 있고, 웰딩플레이트에 고정되어있는 수부싱 베어링에 결합된다. 결합된 임펠러는 교반 용기 외측의 마그네틱 로터와 자기력으로 결합하여 내외부가 분리단절된 상태에서 구동력을 전달받아 회전하게 된다.



SDM의 어셈블리 구조

○ 저전단 교반용 임펠러

저전단 교반은 마그네틱 교반기가 가장 다양하게 사용되는 교반이며, 저속 회전하며 혼합, 침전방지, 반응발효, 배양 등 광범위하게 사용 된다.

• SDM(Mixing)

- 제약, 식품, 화학 전 산업 분야에 활용되며 혼합 교반 목적으로 사용된다. 하부에서 빠른 흐름을 이용하여 와류를 형성 한다.
- 사용 용량 : 20~50,000Liter / RPM : 50~480



SDM

• SDB(Bio)

- 제약, 바이오, 식품 분야에 활용되며 저속 RPM으로 교반되며 낮은 전단응력으로 단백질 및 세포 배양등에 사용된다.
- 사용 용량 : 20~15,000Liter / RPM : 50~220



SDB

• SRF(Reacting, Fermenting)

- 세포배양, 발효와 같은 바이오 관련 제품의 교반에 사용되며, 긴 축을 활용하여 교반 액상을 보다 균질하게 교반하고, 교반 대상에 맞는 다종의 임펠러를 결합 할 수 있다.
- 사용 용량 : 설계 / RPM : 설계



SRF

• SRFT(Top mounted)

- 상부 설치형 마그네틱 교반기로서 교반 용기 상부에 설치가 가능하며, 교반 용기내의 밀폐 및 밀봉이 가능한 상태로 교반 한다.
- 사용 용량 : 설계 / RPM : 설계



SRFT

○ 중전단 교반용 임펠러

중전단 교반용 임펠러는 950~1,800RPM 가량의 높은 RPM으로 회전하며, 쉽게 혼합되지 않는 파우더등을 파쇄하여 혼합하거나, 1.2 이상의 비중을 지닌 고밀도 액상, 500cP 이상의 점도를 지닌 액상을 교반하는데 사용된다.

• SDP(Pulverizing)

- 빠른 RPM으로 주로 시럽 교반용기, 점안제, 현탁액 등의 교반에 사용되며, 뭉쳐있는 고체를 파쇄하여 용해, 혼합하는데 사용된다.
- 사용 용량 : 20~3,000Liter / RPM : 950~1,500



SDP

• SRD(Dispersing)

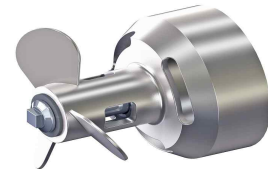
- 빠른 RPM으로 교반하며, 블레이드 날을 활용하여 고체를 파쇄하고 고점도의 액상을 교반하는데 사용된다.
- 사용 용량 : 20~3,000Liter / RPM : 950~1,500



SRD

• SHM(Horizontal mounted)

- 수평 설치형 교반기로써, 전방으로 액상을 분출하는 방식으로 대용량, 사일로 형상의 교반용기등에 적용된다.
- 사용 용량 : 1,000~150,000Liter / RPM : 950~1,500



SHM

○ 고전단 교반용 임펠러

고전단 교반용 임펠러는 3,000~3,600RPM의 고속 RPM으로 회전하며 고정자와 회전자로 구성되어 있다. 기름의 유화, 미세 파우더의 균질화 등의 목적으로 사용된다.

• SSN(homogenizing, emulsifying)

- 유화, 분말 분쇄, 균질화 등에 사용되며, 고정자와 임펠러 사이의 미세한 틈새(Gap)에서 발생하는 고압을 통해 고체 및 유체를 분쇄하는데 사용된다.
- 사용 용량 : 20~1,500Liter / RPM : 3,000~3,600



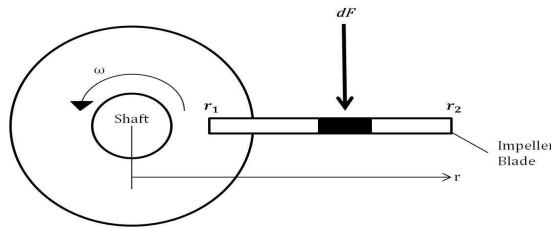
SSN

○ 마그네틱 교반기 선정 간 유의사항

마그네틱 교반기는 크게 교반 종류에 따라 저,중,고 전단용 교반기가 선정되고 선정된 임펠러의 종류는 액상의 특징, 용량등에 의해 계산되는 임펠러 토크를 기반으로 선정되게 된다.

교반액의 점도, 밀도와 임펠러 블레이드의 형상이 교반기 구동시 토크를 부과하는 가장 주요한 요인이며, 배플 주변의 난류, 유체의 전단 응력, 복수개의 임펠러 설치로 인한 상호부하 등의 요소는 가변적이며 부수적인 요소이다.

임펠러 블레이드의 주변 유동조건은 통상 난류이며, 따라서 이차 항력 방정식이 적용된다.



그림의 기호는 다음을 나타낸다

r	임펠러의 내,외경(radial position of in/out side of impeller)
	교반 액상의 밀도(mass density of agitation liquid)
	항력계수 (drag coefficient(≈ 1.05 from[2]))
t	블레이드 높이(blade height)
ω	임펠러의 회전 각속도(rotational speed of the impeller)

2차 항력 방정식으로부터 계산되어, 블레이드의 무한소 영역에 적용되는 항력의 계산은 아래 공식과 같다.

$$dF = \frac{1}{2} p C_d \{V(r)\}^2 dA = \frac{1}{2} p C_d \{\omega r\}^2 t dr$$

마찬가지로 동일한 무한소 영역에 드래그 토크의 계산은 아래 공식과 같다.

$$dT = r dF = \frac{1}{2} p C_d \{\omega r\}^2 t r dr$$

따라서 임펠러 블레이드에 작용하는 드래그 토크의 계산은 아래 공식과 같다.

$$T = \int_{r_1}^{r_2} 0.5 p C_d (\omega r)^2 t r dr = \frac{p C_d \omega^2 t}{8} (r_2^4 - r_1^4)$$

N개의 블레이드를 가진 임펠러의 경우, 교반 토크의 값은 다음과 같이 구해진다.

$$T_{impeller} = NT$$

교반기가 n개의 임펠러로 구성되는 경우, 각 임펠러는 N개의 블레이드를 가지게 되며 이러한 경우 총 교반 토크는 아래와 같이 계산 된다

$$T_{total} = n T_{impeller} = nNT = \frac{nNpC_d\omega^2t}{8} (r_2^4 - r_1^4)$$

이에 따라 교반기 임펠러의 토크 값을 계산 할 수 있다. 그러나, 상기 계산식은 임펠러의 기하학적 복잡성을 모두 포함 시킬 수 없다는 한계점이 있으며, 블레이드의 굴곡, 중공, 꺾임 각도 등을 반영하여 계산하기 위해서는 3차원 설계 툴을 이용한 모델링과 이를 기반으로 한 전산유체역학해석을 진행하여야 한다.

□ 재질 특성

○ 마그네틱 교반기 접액부 재질

• 스테인리스 강 계열

BPE¹⁾산업에 주로 사용되는 강은 스테인리스강이며 이는 1900년대 초기에 처음 개발된 이래 현재 180개 이상의 강종을 포함하고 있으며, 매년 새로운 강종과 기존 합금의 특성을 개선한 개량 강종들이 꾸준히 개발되고 있다. 통상적으로 스테인리스강은 약 11% 이상의 크로뮴(Cr)을 함유한 철계 합금으로 정의되나, 일부 강종의 경우 30% 이상의 크로뮴 함량을 갖는 경우도 있다.

BPE산업에서 가장 많이 사용되는 재질은 오스테나이트 스테인리스강이며, 300계로 대표되는 스테인리스강은 국내 생산량의 70%이상을 차지한다. 오스테나이트 스테인리스강은 통상적으로 Cr(18~25) - Ni(8~25) - Mo(0~6) - N(0~0.2)의 조성범위를 가진다. Ni, N, Mo 등은 내식성을, C, Mo, N, Ti, Al, Cu 등은 강도를, S, Se 등은 기계 가공성을 향상시킬 목적으로 스테인리스강에 첨가된다. 대부분 BPE 설비에 적용되는 스테인리스강은 18(Cr)~8(Ni) 조성을 기본으로 사용되며 주로 사용되는 재질로는 304L과 316L이 있다.

슈퍼 오스테나이트 강으로서 904L은 316L과 비교해 Cr 및 Ni 함량이 많으며 염화물에 의한 국소 공격(피팅 및 틈새 부식)에 대한 내성 및 고온에서의 내부 식성이 더욱 강하며, 탄소 함량이 낮아 용접성이 우수하여 해수 플랜트, 고염화액상 제조 설비 등에 주로 사용된다.

스테인리스강의 재질별 특성						
명칭		304	304L	316	316L	904L
기계 특성	인장강도	579	558	579	517	490
	항복강도	290	269	290	220	220
	연신율	55	55	50	50	36
	경도	76	79	79	79	70
조성	Cr	18-20	18-20	16-18	16-18	19-23
	Ni	8-12	8-12	10-14	10-14	23-28
	C	0.08	0.03	0.08	0.03	0.02
	Mn	2	2	2	2	2
	Si	1	1	1	1	1
	P	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
	S	0.03	0.03	0.03	0.03	0.035

1) Bio Process Engineering

- **티타늄 계열(Titanium)**

티타늄은 1950년대 공업화 이후 상용화되기 시작하였으며, 초기에는 항공 우주 재료로 시작되어 현재에는 인공관절이나 뼈 등의 생체 금속으로도 사용되고 있으며 악세사리, 운동용품 등으로도 활용되고 있는 소재이다. 티타늄의 강점은 강한 내식성이 있는데, 이는 티타늄 표면에 형성되는 산화티타늄 피막이 견고하여 외부용액의 내부침투를 방지하고 피막이 파손되더라도 즉시 재생되기 때문이다. 또한 염소이온에 대한 내식성이 뛰어나 화학장치산업 및 해양 구조물등의 소재로도 사용되고 있다. 티타늄은 비중이 알루미늄의 1.6배가량이며 철의 60% 수준밖에 되지 않아 일반 스테인리스강보다도 가벼운 것이 특징이며, 강도가 매우 강하여 고온 고부식의 환경에 사용이 적합하다. 또한, 생체금속으로 사용될 만큼 생체 적합성이 우수한 특징을 지니고 있다. 그러나 가공성이 떨어지고 소재의 단가가 상대적으로 고가인 특징으로 인하여 제한적인 사용²⁾이 이루어지고 있는 실정이다.

- **하스텔로이 C(Hastelloy C) 계열**

HASTELLOY C-276/C-22 합금(UNS N10276)은 용접에 대한 우려를 최소화 한 최초의 단조 니켈-크롬 몰리브덴 재료이다. 탄소 및 실리콘 함량이 매우 낮아 부식성 화학물질에서 성능이 입증되어 있으며, 다양한 화학 공정 관련 산업에서 사용되고 있다. 다른 니켈 합금과 마찬가지로 연성이며, 성형 및 용접이 용이하며 오스테나이트계 스테인리스강이 부식되기 쉬운 염화물 함유 용액에 대한 탁월한 내성을 가지고 있다. 또한, 크롬 및 몰리브덴 함량이 높기 때문에 산화 및 비산화산을 모두 견딜 수 있으며, 염화물 및 기타 할로겐화물이 존재하는 경우 균열이나 공동화 등에 탁월한 내성을 지니고 있다.

2) 특수한 경우를 제외하고, SDM300 이상의 대형 교반기 등에는 적용이 어렵다.

○ 마그네틱 교반기 베어링

마그네틱 교반기 적용 가능한 베어링 재질은 ASME BPE, PM-2.1.3에 규정되어 있다. 탄화 텅스텐, 산화 알루미늄, 질화 규소, 산화 지르코늄 등 다양한 재질이 있으나, 교반기의 회전 특성과 응력 발생구조에 대한 수년간의 테스트와 연구를 토대로 적합한 재질을 선정하게 된다.

베어링의 재질은 내구성, 내화학성 그리고 무엇보다 내마모성에 대하여 초점을 맞추며, USP 87³⁾에 명시된 생체 적합성 기준을 충족시키고, USP 788⁴⁾에 명시된 주사제 제조시 파티클 발생문제에 대한 내구성을 지니고 있어야 한다.

대표적으로 사용되는 재질로는 탄화규소(Silicon Carbide)와 탄화 텅스텐(Tungsten Carbide)등 이 있다.

• 탄화 규소(Silicon Carbide)

탄화 규소는 규소와 탄소의 경질 세라믹 화합물으로써, 반응 소결 및 상압 소결 등을 통해 제작된다. 상압 소결 방식으로 제작된 고순도의 탄화규소가 사용되며, 대부분의 화학물질에 반응을 하지 않기 때문에, 강력한 내화학성을 보여준다. 탄화 규소 자체는 강력한 물질이나, 결합 상태에서의 경도는 낮기때문에 굽힘 등의 내마모성에서는 우수한 성질을 보여주지만, 드라이러닝이나 고하중 임펠러의 회전, 충격 등에 의한 파손문제가 발생한다.

• 탄화 텅스텐(Tungsten Carbide)

탄화 텅스텐(Tungsten Carbide, WC)은 금속 재질의 일종으로, 생체 적합성이 우수한 성질로 인하여 위생 산업군에서 일반적으로 적용되는 재질이다. 우수한 내식성과 강도를 가지고 있으나, 사용되는 결합재의 종류와 함량에 따라 화학적 호환성이 달라진다.

코발트 결합재를 사용한 탄화 텅스텐은 낮은 pH의 액상에서도 코발트가 침출되어 부식되므로 생물, 식용, 의약품 용도로 권장되지 않으나, 니켈을 결합재로 사용한 탄화 텅스텐의 경우 강산 및 강 알칼리를 제외한 대부분의 액상에서 부식이 발생하지 않는다.

탄화 텅스텐의 가장 큰 단점은 표면의 내마모 특성이 탄화 규소에 비하여 떨어진다는 점이나, 설치의 용이성, 연속적이고 장기적인 구동에서의 안정성, 고하중의 무게에도 버틸 수 있는 내구성 등이 우수한 장점으로 폭넓게 사용된다.

3) USP 87 Biological Reactivity

4) USP 788

- **베어링의 열박음 구조(Shrink fit)**

마그네틱 교반기의 임펠러에 결합되는 베어링은 강력하게 고정되어야 하며, 고속으로 회전하는 임펠러의 특성상 단순한 끼워 맞춤 등으로는 미세한 공차에도 베어링의 파손이 발생 할 수 있다. 따라서, 일반적으로 마그네틱 교반기의 베어링은 열박음 공정을 통해 임펠러에 결합되게 된다. 열박음 공정은 수축 끼워맞춤이라고도 하며, 임펠러를 가열 하여 열팽창 시킨 뒤 팽창된 결합공간에 임펠러를 끼워맞추고 냉각시키며 고정 시키는 것이다.

결합된 베어링은 침투-현상 테스트를 통해 베어링의 결합 부 내로 외부 오염 물질의 유입이 발생하지 않음을 확인 할 수 있다.

- **마그네틱 교반기 탄성체(Elastomer)**

- **EPDM(ethylene propylene diene monomer)**

EPDM은 광범위한 응용 분야에서 사용 될 수 있는 합성 고무의 한 유형으로 같은 포화 중합체 골격을 갖는 천연 고무, 네오프렌 같은 불포화 고무에 비해 열, 빛 및 오존에 대한 내성이 뛰어나다. 일반적인 EPDM은 150°C의 온도에 내성을 갖도록 제재화 될 수 있고, 적절한 사용 환경에서는 분해 없이 수년 또는 수십년의 내구성을 가지고 있다. 또한 -40°C의 낮은 온도에서 우수한 탄성 특성을 지니고 있다.

- **바이톤(Viton)**

통상 바이톤이라고 불리는 고무 재질은 Chemours社(前Dupont 社)의 등록 상표 명으로서, 플루오르성 고무의 일종이다. 약 66~70%의 불소 함량을 가지고 있으며, 일반적으로 높은 내화학성을 지니고 있어 광범위한 용도의 가스켓 산업에 사용된다. 바이톤은 열, 기름 등을 포함해 할로겐화 탄화수소, 농축 산, 알칼리 및 동물성 및 식물성 기름에 높은 저항성을 지니고 있다.

- **테프론(PTFE, Polytetrafluoroethylene)**

PTFE는 탄소와 불소로 구성된 고 분자량 화합물로서, 높은 소수성을 지니고 있어 일반적으로 주방 용품이나 호스, 방수 코팅 등에서 많이 볼 수 있다. 높은 소수성을 기반으로 도마뱀이 미끄러질 정도로 접착이 어렵기 때문에, 오염 액상이 잔류 하지 않는다는 특징이 있다. PTFE는 특히 초저온 상태에서 높은 강도, 인성 및 자체 윤활성을 유지하는 특징을 지니고 있으며, 극도의 비 반응성 및 내열성으로 인해 팽창이 거의 발생하지 않는다. 특히 산, 알칼리 또는 기타 화

학물질을 사용하는 응용 분야에 적합한 성질을 지니고 있다.

- **실리콘(Silicon Rubber)**

실리콘 고무는 실리콘, 탄소, 수소 및 산소등으로 조성되며, 일반적으로 비반응성 및 안정성 그리고 $-60^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 의 우수한 내열성으로 설비 내 고온 환경에 적용된다. 또한 실리콘 고무는 불활성으로 대부분의 화학물질과 반응하지 않고 저자극성의 재질로 생체에 삽입되는 임플란트등의 분야에서 사용된다.

- **테프론 캡슐 오링(Teflon Encapsulated O-ring)**

테프론 캡슐 오링(Teflon Encapsulated O-Ring)은 탄성 고무로 된 내부 코어를 얇은 테프론계의 재질 튜브로 캡슐화 한 오링으로서, 우주항공, 반도체, 석유 화학산업뿐만 아니라 일반 산업의 넓은 분야에 응용이 가능하다. 내부 탄성체인 Silicone, Viton, EPDM을 튜브 내에 압출 하고 열 성형 공정으로 캡슐화 함으로써 완전 밀봉 처리되며, 탄성체의 탄성과 테프론 계열의 뛰어난 내화학성 특징을 모두 갖추고 있다. 대부분의 화학약품과 $-60^{\circ}\text{C} \sim +250^{\circ}\text{C}$ 의 폭 넓은 범위에서 사용 가능하나, 복원력이 약한 단점이 있다.

□ 교반 조건 특성

○ 교반 액상의 특징

교반의 기본은 액상의 성질에 대해 아는 것이며, 액상의 특징에 따라 동일한 교반기와 교반용기에서 다양한 유체의 흐름이 관측된다. 액상의 조건과 특성(밀도, 점도)에 대해 잘 알고 있을 경우에는 교반기 선정에 문제가 없으나, 교반과 연관된 특성을 파악하지 못한 경우에는 교반기 선정에 어려움을 겪게 되며 원하는 성능에 도달하지 못하는 경우가 발생하거나, 과잉 설비가 공급되어 경제적 손실이 발생 할 수 있다. 따라서 다양한 특성 중 교반과 관련된 특성에 대해서는 정확하게 파악하는 것이 필요하며, 아래는 교반기 선정을 위해 필요한 대표적인 액상의 특성이다.

• 밀도(Density)

밀도란 단위부피 당 질량을 나타내는 값이다. 부피가 일정할 때, 한 물체의 밀도가 클수록 그 물체의 질량은 크다. 즉 물체의 평균 밀도는 그 전체 질량을 전체 부피로 나눈 것과 같다. 보통 밀도는 압력이나 온도가 바뀔에 따라 변화한다. 압력이 증가하면 무조건 물질의 밀도가 증가한다. 온도가 증가하면 보통 밀도가 낮아지지만, 어느 정도 예외가 존재한다.⁵⁾

온도(°C)	0	4	15	20	25	37	50	100
밀도(kg/m ³)	999.84	999.97	999.10	998.20	997.04	993.33	988.04	958.36

• 비중(Specific Gravity)

비중이란 표준 밀도(조건이 제시되지 않았다면 일반적으로 4°C 1atm의 물 기준)대비 특정 물질의 밀도 비이다. 에탄올의 비중은 0.785 이고, 염수(Seawater)의 비중은 1.03이며, 무차원량이기 때문에 별도의 단위는 없다.

물과 추가액상을 혼합교반 할 경우, 추가액상의 비중이 1.2이면, 교반용기 하부로 가라앉는 액상이며, 0.8일 경우에 교반 용기 상부에 부유하는 특성을 지니므로 교반기 선정에 유의하여야 한다.

• 점도(Viscosity)

점성(粘性, viscosity)은 형태가 변화할 때 나타나는 유체의 저항 또는 서로 붙어있는 부분이 떨어지지 않으려는 성질을 말한다.

5) 원자 화학 I, 김봉래 외 2.

점성을 엄밀히 측정하기는 상당히 어려운 일이지만, 굽기가 같은 가는 관을 같은 양의 액체가 타고 내리는 시간을 비교하면 점성이 큰 액체 쪽이 시간이 더 걸린다. 이때, 한쪽 액체를 표준으로 하여 시간을 재면 점성을 비교할 수가 있다. 점성은 온도가 올라가면 감소하는 것이 보통이다.

온도(°C)	0	4	15	20	25	37	50	100
점도(mPa·s=cP)	999.8	999.9	999.1	998.2	997.0	993.3	988.0	958.3

• 뉴턴 유체와 비뉴턴 유체

유체 동역학에서 뉴턴 유체(Newtonian fluid)란 아이작 뉴턴의 이름을 딴 용어로서, "전단응력과 전단변형률의 관계가 선형적인 관계이며, 그 관계 곡선이 원점을 지나는 유체"를 말한다. 뉴턴 유체는 우리가 흔히 액상이라고 부르는 물질이며, 물은 뉴턴 유체의 한 예이다.

비뉴턴 유체(non-Newtonian fluid)는 뉴턴의 점성법칙, 응력과 무관한 즉 일정한 점도를 따르지 않는 유체이다. 비 뉴턴 유체에서 점도는 힘이 가해지는 정도에 의해 더 액체 또는 더 고체로 변할 수 있다. 예를 들어, 토마토 케첩은 흔들릴 때 더 잘 움직이며 비 뉴턴 유체이다. 많은 소금 용액과 용융된 폴리머 그리고 녹아내린 초콜릿 등은 꿀, 치약, 전분 현탁액, 페인트, 혈액 및 샴푸와 같이 흔히 발견되는 물질과 마찬가지로 비뉴턴성 액체이다.

○ 교반용기의 특성

교반용기(Vessel)는 BPE 산업 뿐 아니라 액상을 수용하는 모든 구조에서 사용되며, 압력 용기 구조의 핵심 부분 중 하나이다. 통상적으로 교반용기 하부는 평판(Flat bottom), 경판(Dished bottom), 원추판(Conical bottom) 등의 하부 부위와 몸통 역할을 하는 실린더(Cylinder pipe) 부분으로 나뉘어진다. 여기에 하부 부위의 설계 구조, 자켓의 설치 유무, 배플의 설치 등을 통해 다양한 사용에 적합한 상이한 형상을 가지게 된다.

BPE 산업에서 교반용기는 최적 압력 분포와 내하중 해석 데이터를 기반으로 미국기계기술자학회(ASME)에서 표준화한 규격을 보편적으로 사용하고 있으며, 미국국가규격(ANSI)로 채택되어 국제 표준으로 차용하고 있다. 이 외에도 최근에는 튜립형, 스파저(Sparger)일체형 등 다양한 종류의 교반용기가 제작 되고 있다.

명칭	이미지	명칭	이미지
Flat Bottom 평판형		ASME F&D F&D타입 경판	
Conical 콘형		ASME Standard F&D타입(r=6%)	
2:1 Elliptical 2:1 타원형		Crown 왕관형	
80/10 Dished 80/10 경판형		Hemispherical 반구형	
Flare Dished 볼록 경판형		10% Dished 10% 경판	

- **평판형 (Flat Bottom)**

평판형 하부는 자체 배수 시스템을 제공하기 어렵기 때문에 BPE산업에서는 흔하게 사용되지 않으나, 식음료 산업이나 화학 산업에서 교반용기에 다리를 설치할 수 없는 100m³ 이상의 대형 설비들에서 주로 사용된다. 그러나 작은 규모의 평판형 하부를 지닌 교반 용기가 사용되는 경우에는 마그네틱 교반기를 설치하기 용이하며, 베어링에 발생하는 부하가 적다는 점에서 더 오랜 내구성으로 사용할 수 있는 장점이 있다.

- **반구형(Hemispherical)**

반구형 하부는 마그네틱 교반기들에 많이 사용되는 종류이나, 일반적이지는 않고 경판형 하부보다 더 낮은 최소 교반량이 가능하다는 장점 때문에 사용된다.

- **경판형(Dished end)**

BPE 설비에 가장 일반적으로 사용되는 모양으로서 10%, 20% 2:1 80/10 등 다양한 종류의 경판형상이 있으며, 마그네틱 교반기의 흐름을 가장 잘 교반 용기의 상단까지 분포 시킬 수 있고 데드존의 발생이 거의 없는 형상이다.

- **콘 타입(Conical Type)**

일반적인 각도는 30도 이하를 사용하게 된다. 30도 이상으로 각도가 커지게 될 경우, 임펠러의 베어링 부분에 부하가 발생하게 된다. 특히 콘 하부에서 발생하는 불균형한 난류는 임펠러 블레이드에 불균형한 부하를 발생시키는 역할을 하게 된다. 따라서 마그네틱 교반기를 설치하고자 하는 교반용기의 경우 일반적인 각도는 최대 30도를 넘지 않게 설계되어야 하며, 이를 초과하는 각도의 경우에는 베어링의 내하중을 강화시키기 위한 구조가 사용되어야 한다.

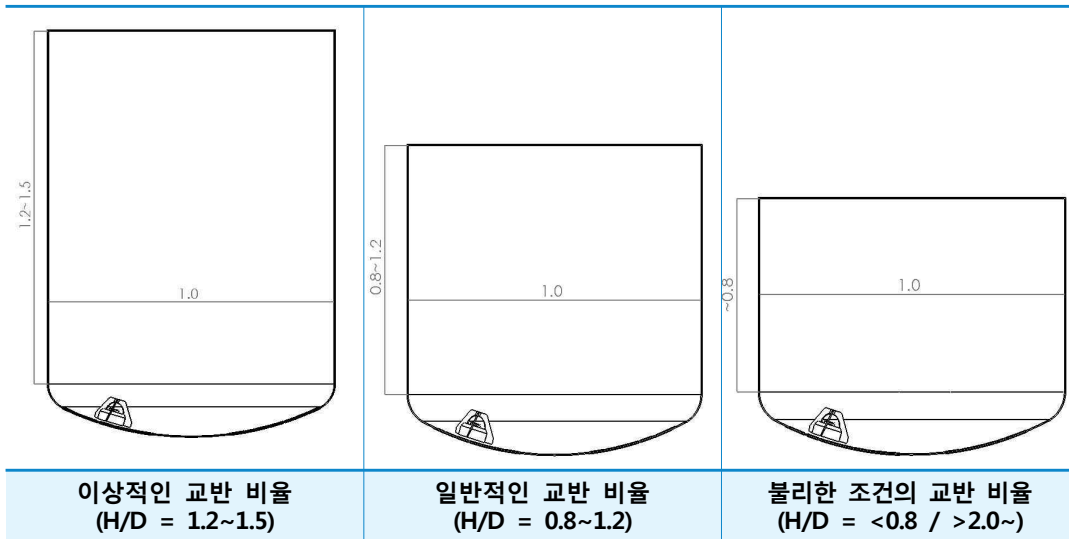
- **튤립형(Tulip type vessel)**

고가의 액상을 완전 배수가 가능해야 하는 것을 목적으로 사용된다. 일반적인 하부 교반기를 사용할 경우 튤립 하부의 작은 직경부위에서 발생하는 교반력이 상부의 큰 직경 부위까지 전달되는지 확인해야 한다. 특히 작은 직경과 큰 직경의 크기 차이가 2배에 달하는 경우 또는, 작은 직경부위의 깊이가 큰 직경부위의 내경과 1:1에 가깝다면 두 개의 임펠러를 설치하는 것이 추천된다.

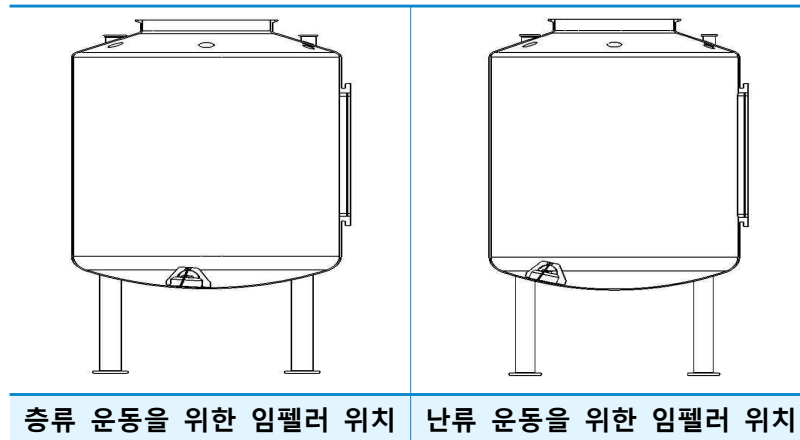
○ 교반 용기 내 교반기 설치 위치

• 하부 교반기의 설치 위치선정

일반적인 교반기와 동일하게 사용할 수 있는 상부 설치형 교반기를 제외하고, 하부 교반기의 선정은 별도의 기준이 적용된다. 대부분의 적용에서 하부 교반기는 교반 대상 액체가 수용되어있는 교반 용기의 직경(D) 대비 액체 높이(H)의 비율이 1:1.2~1.5 가량을 이상적인 교반 효과가 완성되는 기준으로 삼는다. 일반적인 교반효과가 가능하게 되려면 D/H=1:0.8~1:2 가량의 비율이 사용되며, 이 범위를 벗어나는 경우에는 와류(Vortex)의 발생이 저하되어 교반 용기내 상·하단의 유동이 발생하지 않거나, 설치 위치의 반대측에는 데드존이 발생하는 등의 문제가 발생한다.



교반용기 직경 대비 높이 비율외 교반에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나는 임펠러의 설치 위치이다. 일반적인 Dished 플레이트의 하부 형상을 지닌 교반용기에서 혼합 교반을 위한 교반기의 경우 교반 용기의 중간에 설치될수록 층류 유동(Laminar flow)을 형성하게 되며, 중심으로부터 이격되어 설치될수록 난류 유동(Turbulent Flow)을 형성하게 되어 교반 효과를 높일 수 있다. 그러나 지나치게 교반 용기의 내벽 측으로 접촉되게 될 경우 임펠러의 정상적인 유동 흐름을 방해하는 외란이 임펠러로 발생하게 되어 유동이 파괴되고 교반 효과가 떨어지는 문제점이 발생 할 수 있다.



○ 웰딩플레이트 용접

마그네틱 교반기에서 용접은 교반용기 내,외부를 단절하는 웰딩플레이트에 적용된다. 다음은 교반기의 설치 위치를 결정하고, 교반용기와 함께 용기 제조사에서 설치하게 되는 웰딩플레이트에 대한 설명이다.

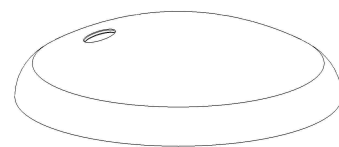
• 웰딩플레이트(Welding Plate, 용접 플레이트)의 특징

웰딩플레이트는 교반기를 교반용기에 설치하기 위하여 사전에 준비되어야 하는 구성품이다. 볼록한 부분에는 마그네틱 교반기의 임펠러가 설치되게 되며, 오목한 부분에는 영구자석이 포함된 로터가 포함되게 된다. 따라서 웰딩플레이트의 설치 위치에 따라 임펠러의 위치가 결정되게 되며, 적합한 용접 방식과 숙련된 기술이 병행되지 않게 되면 임펠러의 내구성에 영향을 미칠 수 있는 주요 부품 중 하나이다.

웰딩 플레이트의 재질은 교반 용기의 재질과 동일해야 하며, 일반적인 두께에서의 허용 압력은 -1~10Bar까지의 내압특성을 보이며, 특수 제작에 따라 20Bar 이상의 내압 용기에 적용 가능한 웰딩플레이트의 설계가 가능하다.

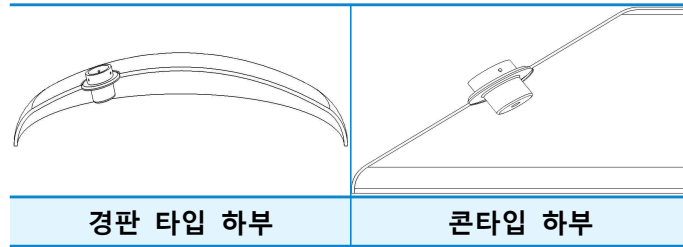
• 교반 용기 하부의 홀 가공

웰딩 플레이트의 설치를 위해서는 교반 용기의 하부가 실린더에 접합되기 전 웰딩플레이트의 접합부 구경에 맞는 홀을 가공 하는 것이 필요하다. 홀은 웰딩플레이트의 용접부 구경보다 $\varnothing 1.0 \sim \varnothing 1.5$ 가량 크게 가공되어 용접 편의성을 높이게 되며, 홀의 외곽은 45도 각도로 (1~2mm)가량의 직선 여유분을 잔존 하고



교반 용기 하부 홀 가공

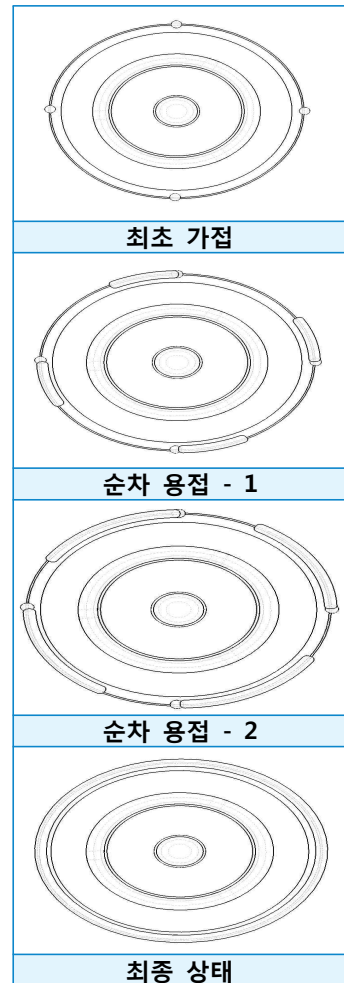
모따기 가공하여 용접을 용이하게 만든다.



일반적인 경판에 웰딩플레이트를 용접 하는 것은 상대적으로 쉬우나, 콘타입 하부의 경우 홀 가공을 통한 용접이 난이하다. 각도에 따라 용접이 불리한 경우에는 웰딩플레이트 접합부의 두께를 두껍게 하거나, 용기의 하부에 보강대를 용접하여 용접이 가능하게 개선 할 수 있다.

• **웰딩플레이트의 결합 및 가접**

홀 가공이 완료 된 상태에서 웰딩플레이트를 홀에 결합 시킨 후 결합 하며, 볼트가 체결 되는 구조의 웰딩플레이트일 경우 추후 하우징의 결합을 계산하여 교반용기 하부의 밸브나 다리에 걸리지 않는 위치에 결합한다. 결합 후에는 가접이 진행되며, 가접시 용가재는 웰딩플레이트 및 교반 용기의 소재와 동일한 소재를 사용한다. 가접은 약 4곳의 포인트(90° 단위)를 실시하게 된다.



• **웰딩플레이트 최종 용접**

웰딩플레이트의 가접 후 위빙 용접을 실시한다. 한 번에 모든 용접을 종료하려 할 경우 열팽창으로 인한 변형이 발생하여 웰딩플레이트가 균형있게 설치되지 않는 문제점이 있다. 따라서 4곳의 가접 포인트로부터 순차적으로 웰딩플레이트의 원주 방향으로 30도 이내씩 용접을 실시하며, 충분한 냉각시간을 유지하며 용접 하는 것이 중요하다.(12시, 3시, 6시, 9시 방향 가접 → 12시~1시, 3시~4시, 6시~7시, 8시~9시 방향으로 용접 진행)

교반용기의 내측 부위를 용접 할 경우에는 용접 품질에 상당한 주의가 필요하다. 용접은 자동 궤도 용접기를 사용하거나 TIG(Tungsten Inert Gas) 방식을 사용하여 수동으로 수행할 수 있지만, 모든 경우에서 용접시 산화로 인한 다공성 용접이

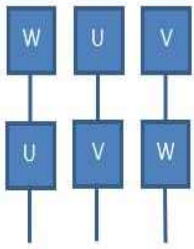

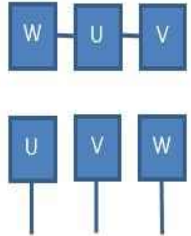

되지않게 하기 위하여 아르곤(Argon)과 같은 비활성 가스를 충전하여 용접 표면이 산화되는 것을 방지하여야 한다. 또한 용접면의 변색(Discoloration) 등이 발생하지 않게 하여야 하며, 가능한 용접절차서(WPS)에 따라 용접 할 수 있도록 한다.

• **용접 완료 후 처리**

마그네틱 교반기 임펠러가 올바르게 결합되려면 용접 절차 중에 웰딩 플레이트가 변형되지 않았는지 확인하는 것이 중요하다. 특히 편향되게 설치되거나, 웰딩플레이트 원통의 균형이 허용 범위를 넘어서는 경우 임펠러와 베어링의 수명에 악영향을 미칠 수 있다. 또한 용접 후에는 반드시 교반 시스템 사용 조건에 따라 용접부가 교반 용기 내부의 표면과 동일하도록 기계 연마, 전해연마 및 패시베이션등의 공정을 진행하여야 한다.

○ **전기**

마그네틱 교반기는 일반적으로 3상 AC 모터를 사용하게 되며, 구동을 위해선 다음과 같은 방식으로 결선하게 된다. DC 모터나 Servo모터 등의 특수 모터를 적용하게 될 경우에는 제조사의 매뉴얼에 따라 설치해야 한다.

모터 결선 방법 (220V Δ결선 기준)		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 모터 단자대의 브릿지를 다음과 같이 결함 한다 (브릿지 : W2-U1 , U2-V1 , V2-W1) 2. 모터 케이블을 다음과 같이 결함한다 (모터케이블 연결 : U1, V1, W1 or W2, U2, V2) 3. 모터의 회전방향을 확인 한 후 역방향일 경우, 모터 케이블의 V1 - W1 혹은 U2- V2을 교체해서 결함한다 	
모터 결선 방법 (380V Y결선 기준)		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 모터 단자대의 브릿지를 다음과 같이 결함 한다 (브릿지 : W2 - U2 - V2) 2. 모터 케이블을 다음과 같이 결함 한다 (모터케이블 연결 : U1, V1, W1) 3. 모터의 회전방향을 확인 한 후 역방향일 경우, 모터 케이블의 V1 - W1을 교체해서 결함 한다 	

□ 임펠러 선정 원리

하부설치형 마그네틱 교반기 임펠러는 일반적으로 교반 용량, 액상 특성에 따라 기하학적으로 동일한 형상의 치수만 다른 모델을 선택하는 방식으로 선정된다. 그러나 SRF나 SRFT와 같이 교반 대상의 물질에 따라 다양한 임펠러의 형상이 필요한 교반기의 경우, 임펠러의 구조와 형상을 선정해주어야 한다. 마그네틱 교반기의 선정 원리는 본 자료에서는 특수 형상의 교반기를 선정하는 방식에 대해 소개한다.

• 교반 종류에 따른 임펠러 형상 선정

SRF, SRFT 등의 교반기에 적용되는 임펠러 형상으로는 마린 임펠러, 저저항 마린 임펠러, 러쉬톤 디스크 터빈 임펠러, 벤딩 마린 임펠러 등이 있다. 이외에도 하이드로 포일, 컵(Cup) 타입, 바(Bar) 타입, 앵커(Anchor) 타입, 헬릭스(Helix) 타입 등 수 많은 형상의 임펠러가 존재하나, 가장 대표적으로 사용되는 형상은 다음과 같다.



마린



저저항 마린

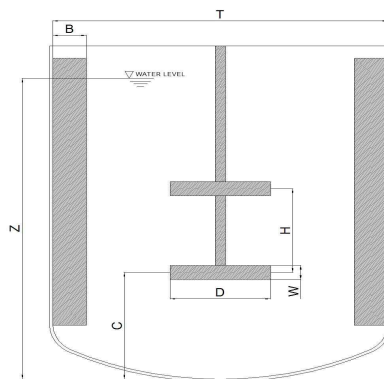


디스크터빈



벤딩 마린

• 임펠러 선정 기준



T	교반용기의 내부 직경	B	배플의 폭
Z	교반 액상 수위	C	용기 하부로부터 임펠러까지의 간격
H	다단 임펠러간의 간격	D	임펠러의 직경
W	임펠러의 너비		

• 교반 용기의 크기에 따른 임펠러 크기 선정

임펠러의 직경(D)은 교반 용기의 내경(T) 과의 비율에 따라 결정되게 된다. 일반적인 비율은 $D/T = 0.3 \sim 0.4 / \text{Max.} > 0.7$ 이다.

물과 유사한 특성의 액상을 교반 할 경우 임펠러의 직경이 $0.2 \leq D/T \leq 0.5$ 일 경우에는, 액상 유동은 난류(Turbulent Flow)를 형성하며, 임펠러 직경의 비가 $D/T \geq 0.5$ 일 경우에는 층류(Laminar Flow)가 형성된다. 임펠러의 직경의 D/T비율이 0.7 이상일 경우 임펠러 부하는 높아지나, 교반 효과는 현저하게 떨어지게 된다. 따라서 일반적인 혼합 교반에서는 난류를 형성하는 범위 내에서 액상 특성에 따라 임펠러의 직경($D/T=1/3$ 가량)이 결정된다.

임펠러의 너비는 임펠러 직경의 $0.2(D/W > 0.2)$ 이상으로 결정된다. 임펠러 너비는 임펠러 날개의 형상, 설치 각도 등에 따라 가변적이며, 특히 교반 대상 물질의 종류에 따라 차이가 발생한다. 단순 혼합교반의 경우는 0.2~0.3 수준의 너비를 통해 고속 회전이 가능하게 제작한다. 반면 바이오 리액터, 퍼멘터 등의 세포 관련 교반에서는 전단응력을 낮추기 위해 0.4 이상 너비의 임펠러로 저속 회전을 통해 교반한다.

• 임펠러의 위치 결정

맨 하부단의 임펠러의 위치(C)는 임펠러 직경(D)의 0.5 이상으로 한다. 0.5이하 일 경우 교반 용기 하부의 흐름으로 인한 방해가 발생하게 되며, 교반 용기 전체에의 흐름을 만들어내기 부족하다.

특히 상향 흐름(Upflow)을 형성해야하는 교반용기의 경우 0.5이하일 경우 충분한 양의 배후공간이 없게 되어 흐름이 원주방향으로 방사되는 흐름이 형성된다.

따라서, 교반 용기와 배플, 임펠러 블레이드의 각도 등을 고려하여 0.5에서 1.0사이의 위치에 임펠러가 위치하도록 한다.

• 다단 임펠러의 결정

교반 용기의 비율, 교반 용량의 대형화 등의 이유로 임펠러 단(Stage)이 복수 개 설치 될 경우 임펠러의 단과 단 사이 간격으로 인하여 교반 용기내 유체 흐름은 크게 영향을 받게 된다.

임펠러 단 사이의 간격이 가까운 경우 ($H/D \sim 0.75$) 직렬로 연결된 흐름을 발생시켜, 교반용기 내 순환루프를 한 개만 만들어낸다. 이 경우 유량의 변동은 2 배에 못미치게 된다. 그러나 임펠러 단 사이의 간격이 먼 경우($H/D = 1.25 \sim$)일

경우 액상의 흐름은 2개의 순환구역이 발생하게 된다. 이 경우에 임펠러가 발생시키는 체적 유량은 단단(Single Stage) 설치 대비 2배로 볼 수 있다. 그러나 순환 루프의 형성이 용액 간 충돌을 일으키게 되면 난류가 발생하게 되고 상단 임펠러의 유량은 독립된 설치시보다 더 낮은 체적 유량을 나타내며, 순환 난류의 중간지점에서 압력의 증가로 일부 액상의 경우에는 데미지를 입게 될 수 있다.

그러므로, 다단 임펠러로 구성되는 교반기를 선정 할 경우에는 교반 대상이 필요한 교반 효과와 성능등에 대하여 명확한 이해가 필요하다.

• 배플(Baffle)의 설치

교반용기 내 층류의 형성으로 인한 문제를 방지하고자 교반용기의 내벽에는 배플(B)을 설치하게 된다. 배플의 너비는 **T/12**에서 **T/10** 가량으로 선정하며, 보다 긴 수명을 위하여 두께가 결정되어야 하며, 배플에 영향을 줄 수 있는 요인 들로는 교반용기 내 유체 흐름속도, 액상의 밀도, 교반용기의 두께 등이 있다.

• 회전 방향의 결정

임펠러의 회전 방향은 기본적으로 **시계 방향(ClockWise)**이며 이는 임펠러 날개의 설치각도에 따라 발생하는 축추력을 활용, 안정적인 교반을 위해 설계된 방향이다. 역회전시 축추력의 방향 전환으로 인하여 임펠러가 웰딩플레이트에서 분리될 가능성이 높으며 또한 높은 저항으로 인한 부하 발생량이 증가하여 구동부에 손상을 입힐 수 있다.

• 회전 속도의 결정

회전 속도는 임펠러 형상에 따른 특성을 고려해야한다. 마그네틱 임펠러의 경우 임펠러의 부하뿐 아니라, 커플링의 최대 자력을 계산하여야 하며, 교반 용기와 임펠러의 대략적인 형상이 결정되면 SEDNA에서 자력의 부하를 계산하여 임펠러의 모델을 선정한다.

○ 스케일 업(Scale Up)시 교반기 선정 원리

스케일업은 기하학적으로 유사한 임펠러로 수행되어야 하며, 파일럿 용기에서 성공적인 교반이 되었더라도, 벌크 용기에 적용되는 임펠러의 날개의 개수나, 단의 개수, 교반 용기의 비율, 임펠러의 형상 등이 변동 될 경우에는 파일럿부터 다시 조건을 정립해야 한다. 일반적인 스케일업 상황에서 기하학적으로 동일성을 고려해야 하는 사항은 블레이드의 수, 각도, 높이, 교반용기 직경비율, 임펠러 직경 대비 교반용기의 직경비율이다. 상기 사항이 충족될 경우 임펠러의 크기는 다음과 같은 공식으로 결정 된다.

$$\begin{aligned} \text{하부간격} / \text{용기 직경} &= C1/T1 = C2/T2 \\ \text{용기 높이} / \text{용기 직경} &= Z1/T1 = Z2/T2 \\ \text{임펠러 직경} / \text{용기 직경} &= D1/T1 = D2/T2 \\ \text{배플 직경} / \text{용기 직경} &= B1/T1 = B2/T2 \\ \text{임펠러 너비} / \text{임펠러 직경} &= W1/D1 = W2/D2 \\ \text{팁스피드} &= N1 = N2 \end{aligned}$$

본 공식에 따라 임펠러의 직경 및 교반 용기 사이즈가 변동되게 되었을 경우, 임펠러의 회전 속도를 결정하는 가장 중요한 것은 팁스피드 이다. 스케일업 과정에서는 동일한 RPM을 사용하여서는 안 되며, 임펠러의 팁스피드가 유지되는 방향으로 스케일 업이 진행되어야 한다.

예를 들어, 내경이 Ø300인 파일럿 용기에 설치된 Ø100 임펠러가 360RPM으로 회전할 때 1.9m/s의 Tip Speed를 가지게 된다면, 내경이 Ø1500인 생산 용기에 동일한 조건으로 임펠러가 설치될 경우에는 360RPM이 아닌 72RPM으로 회전하여야 동일한 팁 스피드를 가지게 되므로 효율적인 스케일업이 완성되었다고 볼 수 있다.

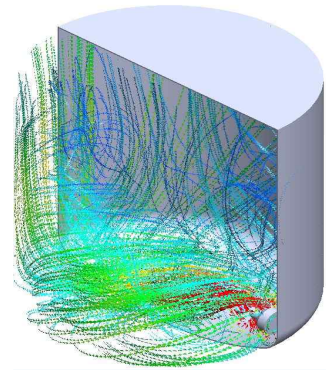
Tank Inside Dia.	Ø300	Ø1500
Tank Volume	24 Liter	3,000 Liter
Impeller Dia.	Ø100	Ø500
Rototaion Speed	360 RPM	72 RPM
Tip speed	1.9 m/s	1.9 m/s

□ 전산 유체 역학(CFD) 시뮬레이션

○ CFD (Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학)

• CFD의 개념

전산유체역학은 공학적 지배방정식에 근거하여 유체 운동을 컴퓨터를 활용하여 수치적으로 구현하는 것이다. 마그네틱 교반기에 대한 전산 해석은 유체와의 상호 작용을 시뮬레이션 하여 교반 대상인 액상에 임펠러의 회전으로 인한 힘이 가해질 경우 어떻게 운동하는지에 대해 예측 가능하게 한다.



SHM 유동 궤적 해석

CFD의 가장 큰 강점은 시뮬레이션 과정을 통해 파일럿 또는 실제 규모의 시험에 소모되는 비용을 줄일 수 있다는 것이다. 기존의 수역학적 해석식으로는 기하학적 형상구조를 지닌 임펠러와 교반용기 내의 교반 흐름을 예측 하는 것이 불가능하였다. 그러나 CFD 해석을 통해서 교반용기 내 용액 교반에 대한 최적의 조건 데이터와 임펠러 선정의 기술적 근거를 제공 할 수 있다. 이를 통해 불필요한 초과 설계가 없고, 또한 기계적 구조의 무결성이 계산을 통해 제공 될 수 있게 된다.

• CFD 해석 절차

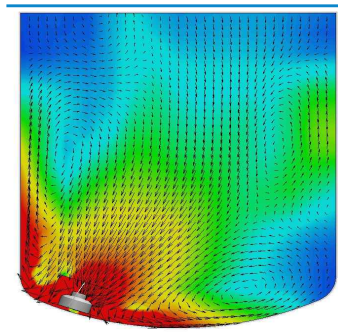
마그네틱 교반기 적용 설비의 CFD 해석을 위해서는 교반 용기의 기하학적 특징과 교반기의 기하학적 특징 그리고 온도, 액상 특성 등의 교반 조건이 우선 확보되어야 한다. 현장진단을 통해 확보된 데이터를 기반으로 3D 모델링이 진행되며 진행이 완료된 모델이 실제 사용 현장과 거의 동일한 조건으로 구성되면 격자 해석 단계가 진행된다. 격자 해석은 분석 대상의 기하학적 구조를 격자화 시키는 과정이며 통상 수 만에서 수십만여 개의 격자가 해석 범위 내에 형성된다. 격자화 과정이 완료 된 후에는 해석 조건에 따른 격자 간 상호작용이 해석된다.

온도, 회전 속도, 액상 특징 등의 조건이 결정, 해석이 진행된다면 그 결과로써 다양한 수치들을 확보 할 수 있다.

• CFD 해석 결과

교반 공정에 대한 CFD 해석을 통해서 얻을 수 있는 대표적 수치로는 교반 용

기내 평균 유속, 최대 유속, 유동흐름 분포, 압력 분포, 온도 분포 등이 있으며 이를 통해 데드존 식별, 와류 형성도 예측, 교반 강도 예측이 가능하다. 또한 교반기 임펠러는 임펠러 표면의 전단응력, 표면 부하, 발생 체적 유량 등을 해석할 수 있으며, 이를 기반으로 세포막 피해 최소화 설계, 모터 동력의 최적 선정 등이 가능하며, 최적의 솔루션을 제공 할 수 있다.



SDM 유동 패턴 해석

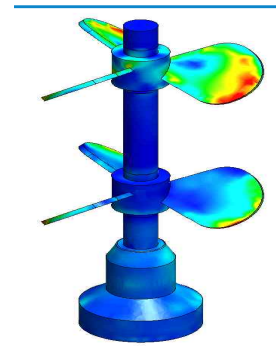


SDM 유동 벡터 해석

○ FEM(Finite Element analysis, 유한요소 해석)

유한요소 해석은 마그네틱 교반기의 부하 및 특정 하중의 부가시 발생하는 응력의 계산 등이 진행되며, 압력 용기의 내압성, 웰딩플레이트의 내구성 등을 분석 한다.

이를 통해 시도와 실패(Trial and Error)를 획기적으로 줄여 낭비되는 자원과 비용을 줄일 수 있다.



SRF 전단 응력 해석

□ CIP의 개념

CIP(Cleaning-in-Place)란 “장비를 분해하거나 개봉하지 않고 플랜트 또는 파이프라인의 전체 품목을 청소 할 수 있으며, 운영자(작업자)가 수동으로 조작하는 공정이 거의 또는 전혀 필요하지 않는 공정이며, 이 공정은 난류의 발생 및 유속 증가 조건 하에서 세정용액을 설비 표면에 분사하거나 순환시키는 것을 포함”하는 공정을 의미한다. CIP는 제약, 반응발효, 유제품, 식음료 및 양조장 등의 공정 설비 시스템의 교반 용기, 배관, 교반기 및 기타 설비들의 수동 청소 및 재구성을 대체하는 일반적인 방법이다. 적합한 수준의 CIP는 통해 고품질 식품 및 의약품등의 생산, 특히 유통 기한이 긴 제품의 생산에 필수적이며, 소비자의 건강과 안전을 보장하기위한 가장 중요한 측면 중 하나이다.

CIP 시스템의 주요 경제적 이점은 수동으로 세척 및 세정할 때 보다, 공장이 생산 중단되는 시간을 상당히 줄일 수 있으며, 작업자가 수동으로 세척하는 환경에서보다 더욱 강력한 세정 효과를 내는 화학 약품을 사용(신체에 위험한 약품 등)하여 설비를 세척 및 세정 할 수 있다는 것이다. 이를 위한 CIP 공정의 설계는 단순히 CIP 벌크 유닛을 제공하는 것이 아니라 전체 프로세스가 위생적인 디자인을 구성하는 것을 의미한다.

마그네틱 교반기는 CIP공정에 적용 가능하도록 설계되어있으며, CIP용액에 대한 내화학적성, 자체 배수와 데드존의 제거 등 다양한 기술요소가 통합적으로 적용되어있다.

• CIP 전 사전 확인 정보

설비 내 CIP 시스템을 설계 할 때는 “오염물의 종류”, “오염물의 양”, “오염물 상태” 등의 정보가 사전적으로 확보되어있어야 하며, 일반적인 상황에서 주요 오염물의 유형은 아래의 표와 같다. 오염물들을 제거하기 위해서는 기본적으로 오염물이 세척 용액에 용해되어야 하며, 복잡한 공정 환경에선 오염물이 다양한 물질의 혼합물일 경우가 많다.

구 분	수용성 오염물	알칼리 용해성 오염물	산 용해성 오염물
오염물	설탕 일부 소금	지방 단백질	칼슘염 유기 용제 용해성 침전물 무기물, 미네랄 오일

따라서 교반기의 CIP를 위해선 정확한 오염물의 특성에 대한 파악이 필수적이며, 다양한 환경 조건에 대한 정보를 포괄적으로 파악하고 있어야 한다.

예를 들어 UHT 우유(초고온살균우유 135~145°C에서 2초간 살균)와 같은 오염 물질이 많이 발생하는 경우에는 생산 제품과 세척 용액 사이의 온도차가 최소로 유지되어야 한다(이상적으로 $\pm 1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 이하). 또한 UHT우유 설비에서는 단백질이 115°C의 온도에서 오염물로 변화하고 온도가 상승할수록 무기 잔류물이 다량 발생하기 때문에 단순한 단백질 용해를 넘어 설 수 있는 CIP 시스템이 필요하다.

따라서, 최종적인 CIP 조건의 결정을 위해서는 오직 실험적인 경험을 통해서만 CIP 설비의 가동 시간과 세척 공정에 대한 조건을 결정 할 수 있다.

• CIP 용액 선정 및 제거 방법

CIP용액의 선택은 오염물질의 종류와 오염물질이 축적되는 설비의 재질에 의해 결정된다. 마그네틱 교반기에 가장 일반적으로 사용되는 재질은 오스테나이트계 스테인리스 강(304L, 316L 등)이며, 대부분의 세척액(강 염기성 용액 제외)에 강한 내성을 지니고 있다. 그러나 베어링, 오링 등에 대한 고려가 제외 되지 않도록 주의하여 세정 용액을 선정해야 한다.

마그네틱 교반기의 CIP 과정에서는 장비가 적절히 청소되는 것이 필수적일 뿐만 아니라 내부에 잔류 할 수 있는 CIP 용액으로부터의 오염 가능성도 제거해야 한다. 따라서 오염물질을 녹이는 것과 표면을 닦아서 제거하는 절차의 조합으로 CIP가 구성되며, CIP 완료 후에도 장비는 반드시 살균되어야 한다.

• CIP 공정의 구동 조건

마그네틱 교반기의 CIP는 오염 정도와 임펠러 형상에 따라 다른 방식을 사용해야 한다. 일반적으로 교반용기 하단에 설치된 교반기는 20분 이상 염기성 용액에의 침수 방식(Dipping)으로 CIP가 이루어져야 하며, 상부 설치된 마그네틱 교반기의 경우 CIP 용액이 분사장치(Spray ball)를 통해 임펠러 바디와 블레이드가 세척 될 수 있도록 해야 한다. 베어링 재질은 대부분 염기성에 강하나, 탄화텅스텐 재질의 경우 산성 용액에 취약하다는 점도 고려해야 할 대상이다. 일반적인 CIP 공정은 다음 단계의 조합으로 구성된다.

- ① 오염물질을 제거하기 위하여 물을 사용한 최초 세척(Initial rinse)
- ② 부착된 잔류 오염물 등을 제거하기 위해 가성 세척(Caustic wash)
- ③ 설비 내에서 가성용액을 제거하기 위해 중간 세척(Intermediate rinse)
- ④ 무기 침전물을 제거하기 위한 산 세척(acid wash)
- ⑤ 최종 행금으로 남아있는 화학 물질을 설비 내에서 제거(Final Rinse)
- ⑥ 잔류 미생물 등을 제거하기 위해 열 또는 살균 소독제를 사용하여 멸균(sanitation)

- ⑦ 배관 내벽에 부착된 지방을 제거하기 위해 최초 세척 전에 사전 열 세척(Hot rinse)
- ⑧ 오염물질이 많이 부착된 장비의 경우 두 단계의 가성 세척 추가 진행

• CIP 온도

일반적으로 고온의 용액일수록 세척이 잘 될 것이라는 믿음과 반대로, 50°C를 넘는 온도가 될수록 최적의 오염물 제거가 어렵다. 실제로, CIP 공정 시스템에서 가성 소다를 85°C로 가열하여 사용하는 이유는 오염물의 제거효과보다는 소독효과를 높이기 위한 이유로 사용되게 된다.

• 세척 용액의 흐름 속도

교반용기와 교반기는 항상 난류 조건에서 청소되어야 하며, 1.4m/s 이하의 층류 조건에서는 세정 효율이 충분하지 않다. 따라서 일반적으로 배관의 CIP 공정에서는 1.5 ~ 2.1m/s 영역의 유속이 적용되며, 교반기 CIP 용액에 침수 된 상태에서 정상 교반 속도보다 낮은 속도로 회전 할 때 최적의 세척 효율을 확보할 수 있다.

• 단백질의 제거 방법

배양, 반응 발효, 유업생산 공정에서 가장 일반적인 형태의 오염은 단백질의 침착이며 이러한 단백질은 고온의 알칼리(가성 소다, NaOH, caustic soda) 용액에 의해 대부분이 제거 가능하다. 일반적으로 2%의 가성소다가 최대 85°C 온도로 적용되며, 고도로 오염 된 표면에서는 4% 수용액까지 적용 된다. 다만 단백질을 제거하기 전에는 산성 세척액을 사용해서는 안되며, 이는 단백질의 침전을 유발하여 결과적으로는 CIP를 난이하게 만드는 요인이 된다.

• 칼슘 및 무기물의 제거 방법

유석과 칼슘 침전물은 묽은 무기산을 사용하여 제거가 가능하며, 이를 위해 인산(Phosphoric acid) 혹은 질산(Nitric acid)이 일반적인 세척액으로 사용된다. 많은 설비에서 50°C의 0.5% 질산 용액이 사용되며, 이 온도보다 높으면 가스켓과 오링등에 악영향을 미칠 수 있다.

• 미생물 멸균 방법

미생물의 멸균은 열수, 차아염소산염 또는 OxoniaP4와 같은 과산화물 기반 멸균제 등을 사용하여 이루어진다. 차아염소산염(나트륨)이 멸균에 사용되는 경

우 강도는 150ppm을 초과해서는 안 되며, 온도는 40°C 이하로 유지하고 순환 시간은 20분미만으로 유지한다. 일반적으로 CIP가 완료된 표면에는 25°C에서 2분 동안 100ppm 가량이 적합하게 사용된다.

○ CIP 후 잔존 오염물 평가

마그네틱 교반기가 포함된 설비의 CIP 후 설비 내부 표면에는 오염물질이나 세정 용액 등이 없어야 이후에 생산 되는 제품을 오염시키지 않는다. 따라서 잔존 오염물의 평가가 반드시 필요하다. 일반적으로 적용되는 잔존 오염물 평가는 최종 배수구에서 미생물의 존재를 결정하는 것이지만, 미생물은 일반적으로 물이 공급되는 투입구 측에도 존재한다는 것을 인식하는 것이 중요하며, 다음과 같은 단순 확인법으로 CIP의 세척 정도를 측정할 수 있다.

• ATP 센서를 통한 잔류 오염물 결정 시험

CFU(=번식가능한 세균 수)의 측정보다 최근의 기술은 ATP(adenosine triphosphate) 센서를 이용한 RLU 측정 검사이며, ATP는 천연 성분으로써 박테리아와 같은 모든 살아있는 세포에 에너지가 저장되는 화학 물질을 의미한다. 따라서 단백질 세포 등의 경우 세포내에 ATP가 존재한다. 침전물에는 루시페라제가 존재하며, 기질인 루시페린, 산소 및 마그네슘 이온인 ATP는 빛의 방출로 ADP (아데노신 디 인산)에 촉매 작용을 하게 되고 이로부터 방출되는 빛의 양이 ATP 측정의 원리이다.

• Swab 테스트

Swab 테스트는 미리 정의 된 표면적을 멸균된 면봉으로 닦은 다음 미생물을 검출하기 위해 배양(swab) 테스트를 사용하여 공정 장비의 개별 항목 표면의 청결도를 평가한다.

□ 마그네틱 교반기의 Dry Running

• 드라이러닝의 개념

드라이러닝이란 교반기 내 액상이 완전 배수 된 상태에서 임펠러를 회전시키며, 오직 베어링의 마찰계수만으로 한계치까지 윤활 역할을 하는 것이다.

TC재질의 베어링을 드라이러닝 시 마찰열로 인한 열팽창과 이로 인한 교반기의 정지, 구동부의 파손등이 발생할 수 있으며, SiC 재질 베어링의 드라이러닝 시 허용 항복응력을 초과하는 지점에서 베어링의 취성 파괴가 발생한다.

• 드라이러닝과 베어링 파괴의 상관관계

SEDNA 마그네틱 교반기의 베어링은 정상적인 윤활 상태의 운영 시 자체 파손이 발생하지 않도록 안전율이 고려되어 설계되었으나, 드라이러닝시 마찰 계수 및 표면 전단응력이 증가되며, 이로 인한 파괴가능성은 유한요소 해석을 통해 확인 할 수 있다.

탄성계수 Modulus of Rupture(kgf/cm ²)	4,792,670	인장 강도 Tensile Strength(kgf/cm ²)	1,397.01
포아송비 Poisson's Ratio	0.19	압축 강도 Comperressive Strength(kgf/cm ²)	14,225.04
경도 Hardness, Knoop	2,960	파괴 계수 Modulus of Rupture(kgf/cm ²)	1,325.63

<<Mechanical Properties of Silicon Carbide^{6),7)}>>

• 건식 - 습식 상태 탄소 계열 소재 표면 마찰력의 차이 비교

드라이러닝 시 SiC 베어링의 표면에 발생하는 마찰력과 전단력의 비교를 위하여 동일 탄소계 무기물로서 유사 표면 경도 및 거칠기를 가지는 다이아몬드 필름의 표면 마찰력 분석⁸⁾을 참고하였다. Friction Coefficient는 마찰 계수로서 마찰력과 하중의 비에 대한 상수이며, 건조 표면(Dry(0.075))이 습식(Water(0.025)) 상태 대비 약 3배 가량의 마찰 계수를 지니고 있다.

Shear Strength는 표면 간(⊗)수베어링과 암베어링의 접촉으로 인하여 발생하는 힘으로서 건조 표면(Dry(78.5N/mm²))일 경우 습식(Water(3.73N/mm²)) 대비 최대 21배 가량의 전단 강도가 발생하게 되며, 또한 접촉 면적이 넓어질수록 마찰전단력의 수치는 증가하게 된다.(Fig.2 참조)

6) 「The CRC Materials Science and Engineering Handbook」, 2000, James F Shackelford.

7) FEM 해석시 상기 데이터를 SiC 소재 특성으로 반영하였다.

8) Boundary Lubrication Proterties of Diamond and Surface Modified Diamond films with various water Solutions, 2000, Shojiro Miyake

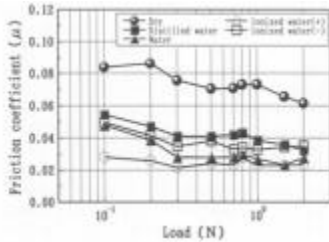


Fig.1 윤활액 별 탄소계 표면 마찰 계수

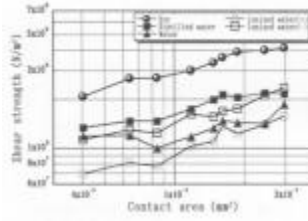


Fig.2 윤활액 별 다이아몬드 필름의 표면 전단 응력

Lubrication conditions of various water	Shear strength depends on contact area	Inclination α
Dry	$S = 7.36 \times 10^2 A^{1.2}$	0.35
Distilled water	$S = 2.38 \times 10^2 A^{0.25}$	0.29
Supplied water	$S = 6.90 \times 10^2 A^{0.22}$	0.21
Ionized water (+)	$S = 5.67 \times 10^2 A^{0.44}$	0.43
Ionized water (-)	$S = 4.01 \times 10^2 A^{0.34}$	0.36

• FEM해석을 통해 분석한 드라이러닝에 따른 베어링 피로도 분석

SiC 베어링 재료의 물리적 특성을 3차원 모델링에 반영 뒤 유한요소해석을 통해 건식 운행에 따른 마찰력 증가가 베어링의 피로 파괴가능성에 대한 평가 진행하였다. 축하중의 경우 교반기 임펠러의 자중 무게 및 자기 인력으로 인한 하중 80kgf/cm²를 반영 및 하단 베어링 고정부는 고정하였으며, 임펠러 형상의 3차원 구조 대한 CFD해석 결과 무마찰 회전 상태에서 임펠러는 약 102.49N*m의 하중을 받으며 이는 수베어링을 통해 지지된다.(항복 응력 대비 6.8% 수준)

원주하중의 경우 #1 CFD 해석 결과를 반영 마찰 계수가 고려되지 않은 완전 무마찰 회전운동(기본)과 #2 Fig.1에서 확인된 마찰계수 간격(3배) 그리고 #3 Fig.2에서 확인된 최대 전단강도 간격(21배)를 중복하지 않고 개별 반영 한다.

※ SiC의 항복 응력⁹⁾ : 1,325.64 (Unit : kgf/cm²)

구 분	축 부하 (kgf/cm ²)	원주 부하 (N*m)	최대 부하 (kgf/cm ²)	항복응력 대비 하중
#1 무마찰 운전	80	102.49	90.38	6.8%
#2 최소 마찰계수 건식 운전		307.47	270.69	20.4%
#3 최대 마찰 계수 건식 운전		2,152.29	1,895.03	142.9%

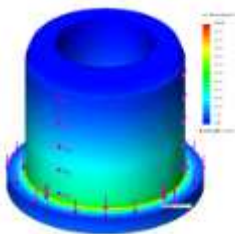


Fig.3 무마찰 운전 경우

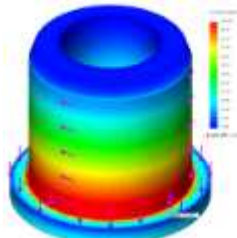


Fig.4 최소 마찰 계수 반영시

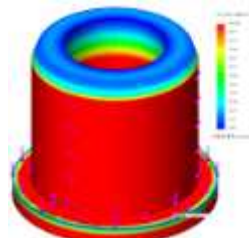


Fig.5 최대 마찰 계수 반영시

• FEM 해석 결과

9) 소재의 파괴가 발생하는 최대 부하점

본 해석은 교반용기 내부의 온도, 액상, 산성도, 표면 거칠기, 임펠러 설치 각도 등의 조건에 대한 고려사항이 모두 반영되어있지 않은 이론 해석이나, 마찰력 및 전단강도 증가에 대한 분석결과 유힬액상이 없는 상태의 교반은 취성 파괴가 발생하는 수치를 초과하며, 실제 구동 시의 조건변수들이 포함 될 시에는 더 신속한 파괴가 가능하다.

따라서 SEDNA에서 소재의 강도 및 베어링 부하 설계, 교반 시 형성되는 하중 등을 종합적으로 고려 및 설계하여 정상구동 시의 부하량을 최대 허용량의 20% 이내로 설계하더라도 드라이러닝시의 파손은 방지 할 수 없다.

• 드라이러닝 방지를 위한 방침

그러므로, 가장 근본적인 문제의 해결책은 드라이러닝이 발생하지 않도록 하는 것이며, 이러한 문제점을 방지하기 위하여 다음과 같은 방안을 적용해야만 한다.

① SIP시 교반기 작동 금지, ② 침수 방식 CIP 진행, ③ (불가피하게 Spray Ball 이용시)CIP 펌프 가동 후 충분히 임펠러가 유힬 된 후 구동 ④ 최소 교반량 이하에서 교반 되지 않도록 피드백 제어 시스템(레벨센서 등) 구축 등을 통해 교반기 임펠러가 단순히 습윤 상태가 아닌 액상으로 직접적으로 유힬 된 상태에서 임펠러가 회전하도록 시스템이 구성되도록 해야 한다.

□ 제품 치수표

SDM Series



• FEATURES

- 일반적인 교반을 목적으로 사용하며, 하부에서 빠른 흐름을 이용한 Vortex를 형성한다.
- RPM에 따라 목적을 달리 할 수 있다.

적용분야 제약, 식품, 화학 등


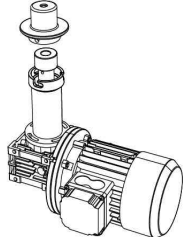
- Generally SDM uses for mixing. It makes the vortex using fast flow from the bottom.
- It can apply various areas according to RPM

Applications Pharmaceuticals, Food, Chemical etc.

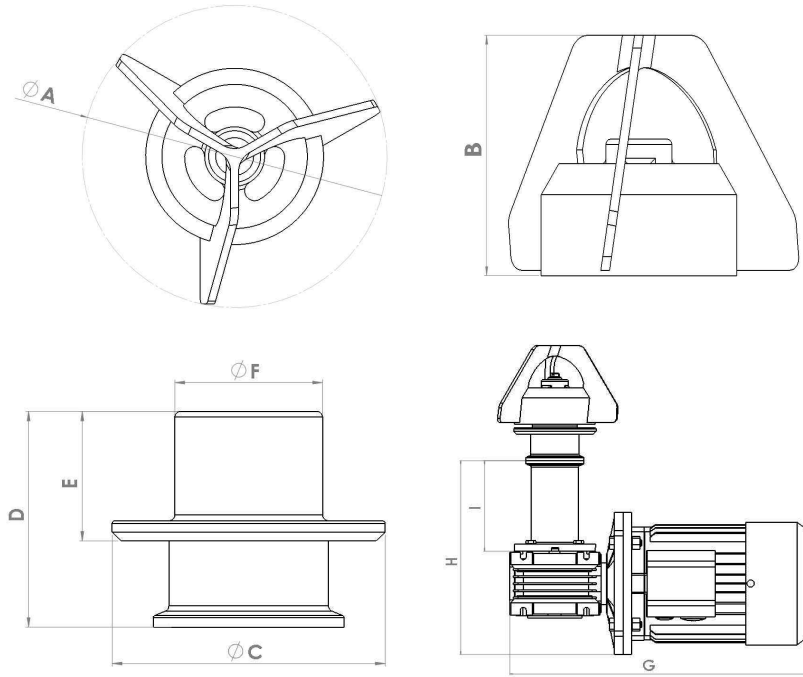


자력이탈장치

• PRODUCT INFORMATION

Model	Mixing volume Design RPM	Specification
SDM-20	20L (AC 0.18kw) 50~480rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SDM-60	50L (AC 0.18kw) 50~480rpm	
SDM-100	150L (AC 0.37kw) 50~480rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : SiC / TC • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc.
SDM-150	700L (AC 0.75kw) 50~480rpm	
SDM-200	1500L (AC 1.5kw) 50~360rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Drive Unit (Motor) <ul style="list-style-type: none"> • 220/380/480 VAC • Protection : IP55 • Gearbox ratio : 7.5:1, 10:1 • Gear type : Worm / Helical gear • 50Hz / 60Hz 
SDM-220	3000L (AC 2.2kw) 50~360rpm	
SDM-250	7000L (AC 3.7kw) 50~360rpm	
SDM-300	15000L (AC 3.7kw) 50~320rpm	
SDM-400	30000L (AC 7.5kw) 50~220rpm	
SDM-500	50000L (AC 11kw) 50~220rpm	

* 주의 : 옮기준으로 선정된 모델입니다. 세부모델 선정시 문의 바랍니다.



	A (\varnothing)	B (mm)	C (\varnothing)	D (mm)	E (mm)	F (\varnothing)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SDM 20	85	63	60	65	33.5	35	253	198	98.5
SDM 60	105	67	60	65	33.5	35	283	198	98.5
SDM 100	149	89	90	60	38	48	330	216.5	101
SDM 150	174	97.5	120	76	51	67.5	373.5	318.5	175
SDM 200	230	133	150	90	65	85	448	328	175
SDM 220	260	147	180	102	72	97	528	382	200
SDM 250	288	195.6	200	118.5	88.5	120	531.5	382	200
SDM 300	340	223	2	128	98	169	681.5	444	220
SDM 400	500	253	280	158	128	169	660	423.5	200
SDM 500	520	274	339	170	130	223	960.5	420	179

※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

SDL Series



• FEATURES

- 저속의 RPM을 사용하며, 하부의 액상 또는 물질을 띄워 전체적인 흐름을 이용하여 침전방지 및 저장 용기에서 많이 이용한다.

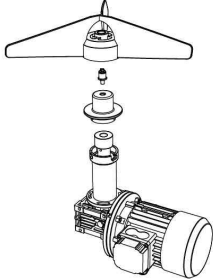
적용분야 제약바이오, 유업, 화학, 등

- Using low RPM, SDL floats the liquid or product of bottom. Usually it applies for the prevention of sediment in storage vessel

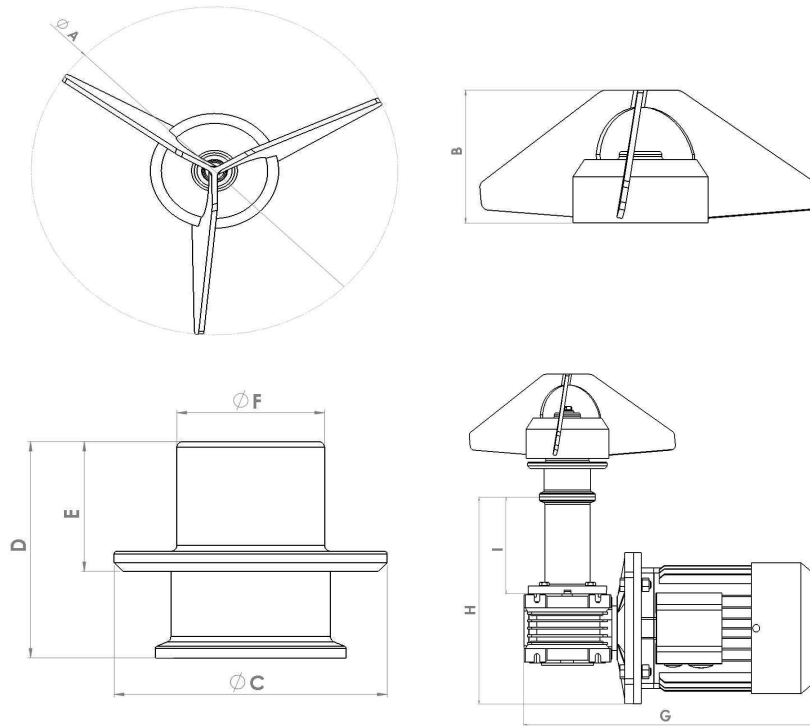
Applications Bio, Pharmaceuticals, Food, etc.

• PRODUCT INFORMATION



Model	Mixing volume Design RPM	Specification
SDL-100	50L (AC 0.18kw) 50~170rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium etc. • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium etc. • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : SiC / TC • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc.
SDL-150	700L (AC 0.18kw) 50~170rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Drive Unit (Motor) <ul style="list-style-type: none"> • 220/380/480 VAC • Protection : IP55 • Gearbox ratio : 15:1, 10:1 • Gear type : Worm gear • 50Hz / 60Hz
SDL-200	2000L (AC 0.75kw) 50~110rpm	
SDL-220	5000L (AC 1.5kw) 50~110rpm	
SDL-250	20000L (AC 1.5kw) 50~110rpm	
SDL-300	30000L (AC 2.2kw) 50~110rpm	

※ 주의 : 물기준으로 선정한 모델입니다. 세부모델 선정시 문의 바랍니다.



	A (\varnothing)	B (mm)	C (\varnothing)	D (mm)	E (mm)	F (\varnothing)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SDL 150	*	97.5	120	76	51	67.5	373.5	261	175
SDL 200	*	133	150	90	65	85	399	261	175
SDL 220	*	150	150	102	72	95	448	261	200
SDL 250	*	193	200	118.5	88.5	120	448	261	200
SDL 300	*								

※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

SDP Series



• FEATURES

- 고속 RPM과 강력한 날을 이용해 액상 또는 파우더를 용해하는데 쓰인다.

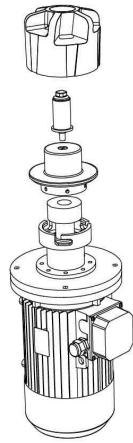
적용분야 시럽, 점안제, 현탁액 등의 교반 목적으로 사용

- SDP mixes and dissolves solid powder using high RPM and powerful blades

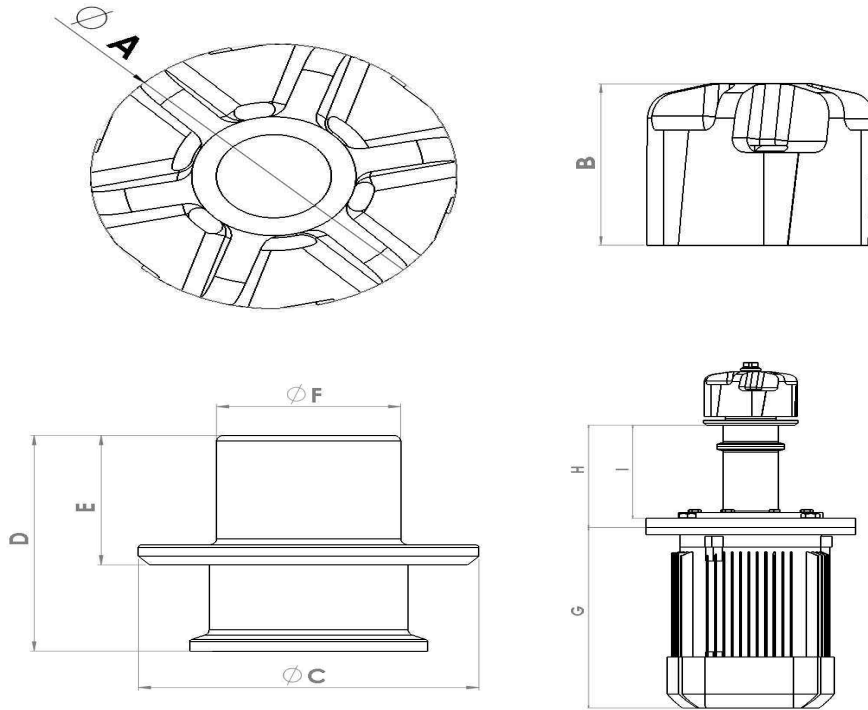
Applications Syrup, Eye drop, Suspension

• PRODUCT INFORMATION



Model	Mixing volume Design RPM	Specification
SDP-60	100L (AC 0.37kw) 1800RPM	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SDP-100	300L (AC 0.75kw) 1800RPM	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : SiC / TC • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc. ▶ Drive Unit (Motor) <ul style="list-style-type: none"> • 220/380/480 VAC • Protection : IP55 • 50Hz / 60Hz
SDP-150	800L (AC 2.2kw) 1800RPM	
SDP-200	3000L (AC 3.7kw) 1800RPM	

* 주의 : 물기준으로 선정된 모델입니다. 세부모델 선정시 문의 바랍니다.



	A (\varnothing)	B (mm)	C (\varnothing)	D (mm)	E (mm)	F (\varnothing)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SDP 60	65	49	64	64	40	35	171.5	116.5	98.5
SDP 100	89	62.5	90	75	45	48	295	125	100
SDP 150	110	68	120	94	54	67.5	281	143	130.5
SDP 200	138	81	150	90	65	85	333	117.5	105

※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

SRD Series



• FEATURES

- 고속 RPM과 강력한 날을 이용해 액상 또는 파우더를 용해하는데 쓰인다.

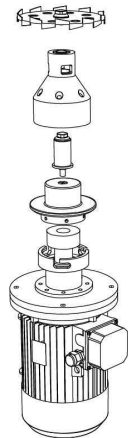
적용 분야 주로 시럽탱크나 점안제, 현탁액 등의 교반 목적으로 사용

- SRD mixes and disperse solid powder using high RPM and powerful blades

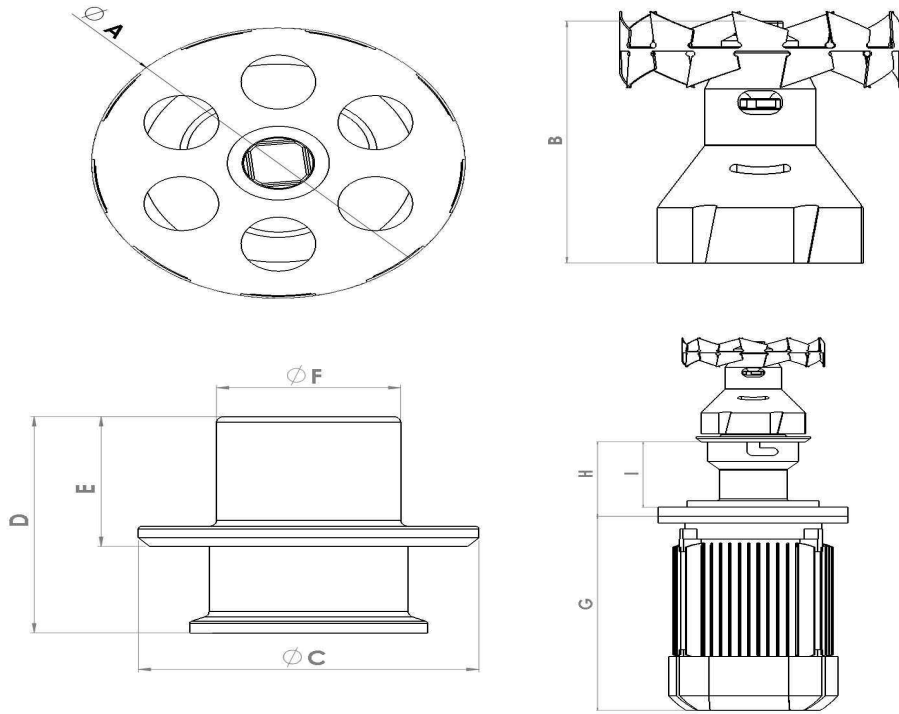
Applications Syrup, Eye drop, Suspension

• PRODUCT INFORMATION



Model	Mixing volume Design RPM	Specification
SRD-100	20L ~ 50L (AC 1.5kw) 1800rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SRD-150	100L ~ 150L (AC 2.2kw) 1800rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : SiC / TC • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc.
SRD-200	300L ~ 700L (AC 3.7kw) 1800rpm	
SRD-220	500L ~ 1500L (AC 7.5kw) 1800rpm	
SRD-250	1000L ~ 3000L (AC 11kw) 1800rpm	

※ 주의 : 물기준으로 선정된 모델입니다. 세부모델 선정시 문의 바랍니다.



	A (\varnothing)	B (mm)	C (\varnothing)	D (mm)	E (mm)	F (\varnothing)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SRD 60	100	65	64	65	33.5	35	294	120.9	98.5
SRD 100	124	120.5	90	60	45	48	312	130	154
SRD 150	150	125.5	120	76	51	67.5	333	125	100
SRD 200	210	165.5	150	90	65	85	376.5	205.5	175
SRD 220	226	234	180	102	72	97	478	205.5	175
SRD 250									

※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

SSN Series



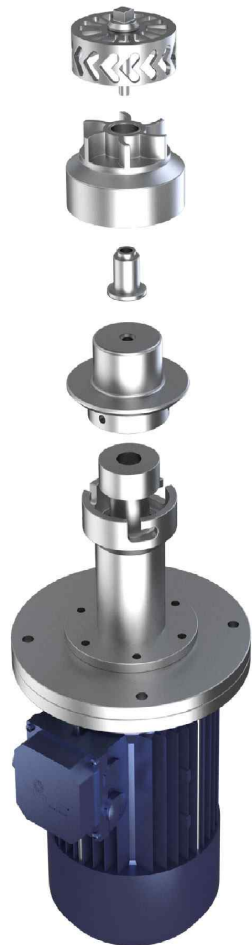
• FEATURES

- 고속 RPM을 사용하여 Stator와 Impeller 사이의 움직이는 액상 또는 물질을 분쇄하여 교반하는 특징이 있다.

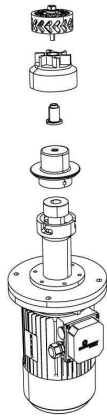
적용 분야 유화, 분말분쇄, 일정크기의 고체 분쇄 등

- Using high RPM, SSN mixes and crushes solid powder or liquid between the stator and impeller.

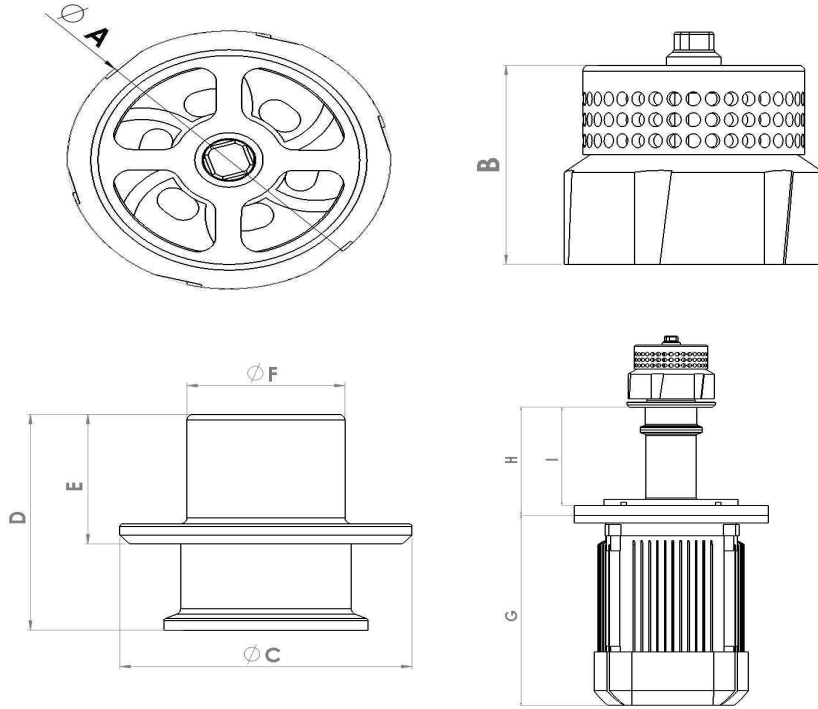
Applications Homogenizing, Emulsification etc.



• PRODUCT INFORMATION

Model	Mixing volume Design RPM	Specification
SSN-100	20L ~ 100L (AC 1.5kw) 3600rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SSN-150	100L ~ 400L (AC 3.7kw) 3600rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : SiC • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc. ▶ Drive Unit (Motor) <ul style="list-style-type: none"> • 220/380/480 VAC • Protection : IP55 • 50Hz / 60Hz
SSN-200	300L ~ 700L (AC 7.5kw) 3600rpm	
SSN-220	500L ~ 1500L (AC 11kw) 3600rpm	

* 주의 : 물기준으로 선정된 모델입니다. 세부모델 선정시 문의 바랍니다.



	A (∅)	B (mm)	C (∅)	D (mm)	E (mm)	F (∅)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SSN 60	65	58.5	64	64.5	33.5	35	223.5	134.5	98.5
SSN 100	89	74.5	90	75	45	48	281	123	100
SSN 150	110	78	120	76	51	67.5	333	162.5	150
SSN 200	138	109	150	90	65	85	372.5	206	175
SSN 220	150	108	180	102	72	90	484	191.5	175

※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

SRF Series



• FEATURES

- 세포배양, 발효 등에 사용되기 위하여 개발 되었으며 낮은 전단응력으로 제품 데미지를 최소화 하고, 기존 자석 교반기의 원리를 이용 밀봉된 상태에서 교반이 가능하다.
- SRF series are developed to meet the requirements of bio-related product such as cell culture, ferment which required low shear stress for low damage to product. Applying the principle of magnetic agitator, it can agitate whitout disadvantages of conventional agitators with mechanical seal.

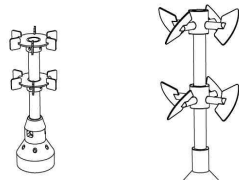
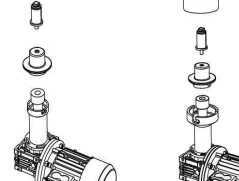


• Model Selection

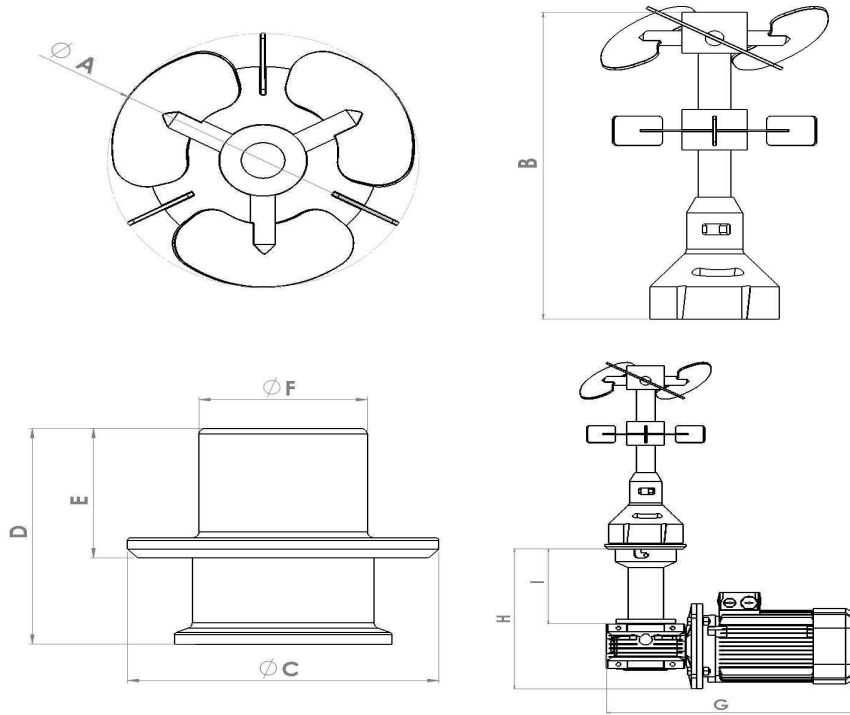
- 아래사양을 알려주시면 정확한 모델 선정을 할 수 있습니다.
- Following information is required for accurate model selection.

- ① Working volume and temperature
- ② Vessel inner diameter
- ③ Propeller type & size
- ④ Impeller Stages and blade quantity
- ⑤ Product viscosity
- ⑥ Min. and Max. RPM

• PRODUCT INFORMATION



Model	Specification
SRF-60	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SRF-100	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SRF-150	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : SiC / TC • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc.
SRF-200	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Drive Unit (Motor) <ul style="list-style-type: none"> • 220/380/480 VAC • Protection : IP55 • Gear type : Worm gear • 50Hz / 60Hz
SRF-220	
SRF-250	
SRF-300	
SRF-400	



	A (∅)	B (mm)	C (∅)	D (mm)	E (mm)	F (∅)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SRF 60	*	*	64	65	33.5	35	330	*	*
SRF 100	*	*	90	75	45	48	330	*	*
SRF 150	*	*	120	76	51	67.5	373.5	*	*
SRF 200	*	*	150	90	65	85	448	*	*
SRF 220	*	*	180	102	72	97	527	*	*
SRF 250	*	*	200	118.5	88.5	120	511.5	*	*
SRF 300	*	*	280	158	128	169	532.5	*	*
SRF 400	*	*						*	*

* 고객 요청에 따라 맞춤 설계.
 ※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

SRFT Series



• FEATURES

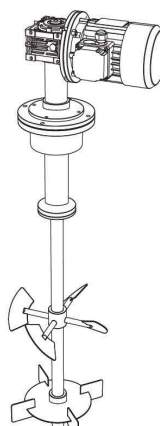
- SRFT는 교반용기 상부에 결합되며 세포배양, 발효 등의 교반에 사용된다. 낮은 전단응력으로 제품ダメージ를 최소화 하고, 기존 자석 교반기의 원리를 이용 밀봉된 상태에서 교반이 가능하다.
- SRFT series are mounted on the top of the vessel and developed to meet the requirements of bio-related product such as cell culture, ferment which required low shear stress for low damage to product. Applying the principle of magnetic agitator, it can agitate without disadvantages of conventional agitators with mechanical seal.

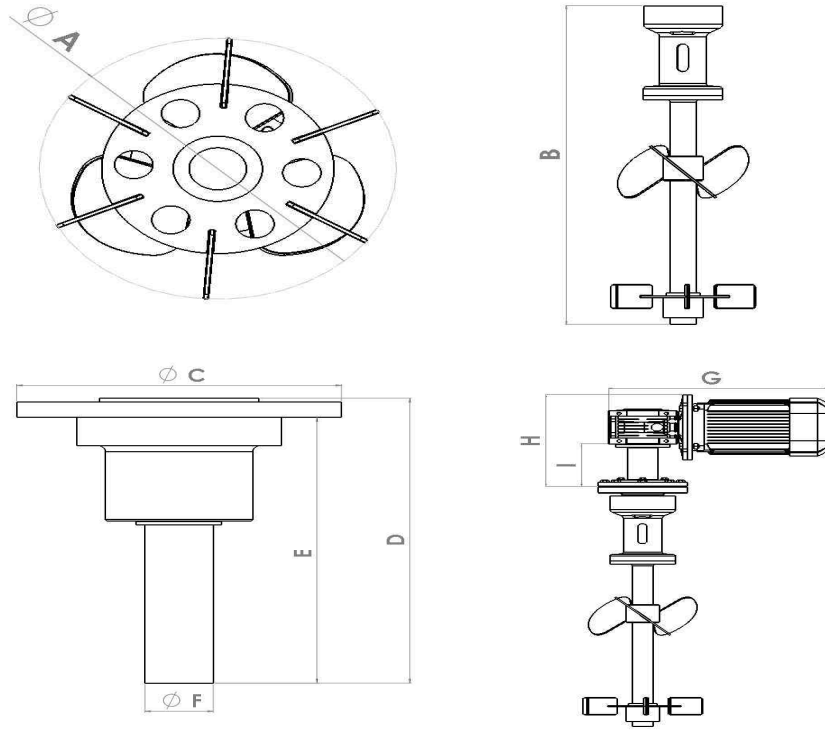
• Model Selection

- 아래 사양을 알려주시면 정확한 모델 선정을 할 수 있습니다.
- Following information is required for accurate model selection.

- ① Working volume and temperature
- ② Vessel inner diameter
- ③ Propeller type & size
- ④ Impeller Stages and blade quantity
- ⑤ Product viscosity
- ⑥ Min. and Max. RPM

• PRODUCT INFORMATION

Model	Specification
SRFT-60	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SRFT-100	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm
SRFT-150	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : Ceramic • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc.
SRFT-200	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Drive Unit (Motor) <ul style="list-style-type: none"> • 220/380/480 VAC • Protection : IP55 • Gear type : Worm gear • 50Hz / 60Hz
SRFT-220	
SRFT-250	
SRFT-300	
SRFT-400	



	A (∅)	B (mm)	C (∅)	D (mm)	E (mm)	F (∅)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SRFT 60									
SRFT 100									
SRFT 150									
SRFT 200									
SRFT 220									
SRFT 250									
SRFT 300									
SRFT 400									

고객 요청에 따라 맞춤 설계

- ※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
- ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
- ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

SHM Series



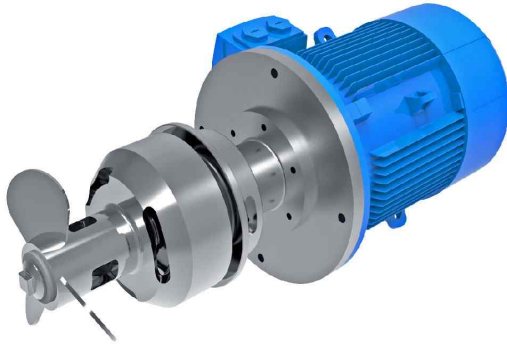
FEATURES

- 대형 탱크 및 사일로 탱크의 측면에 설치되며, 마그네틱 커플링을 이용하여 내외부가 단절된 상태에서 강력한 교반력을 만들어 내며, 액상의 유출 문제를 원천적으로 해소 할 수 있다.

적용 분야 유업, 화학 등 대형 설비에서 액상 유출을 방지하는 경우

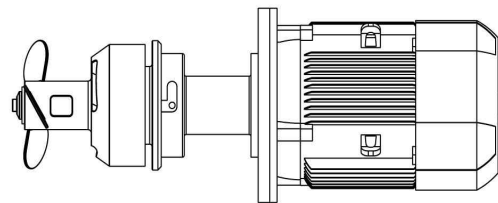
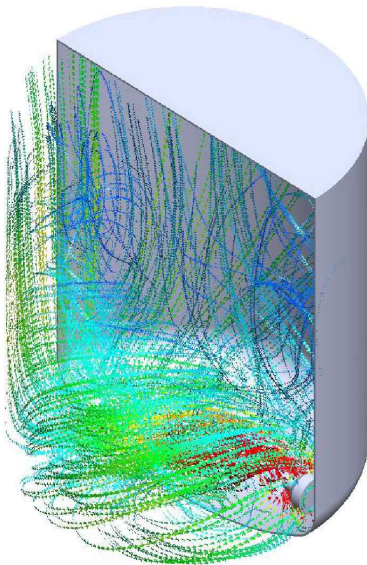
- SHM mounted the sides of large tank and silo tanks, it can create strong flow and prevent liquid leakage on large scale plant by using magnetic coupling.

Applications Dairy, Chemical Plant

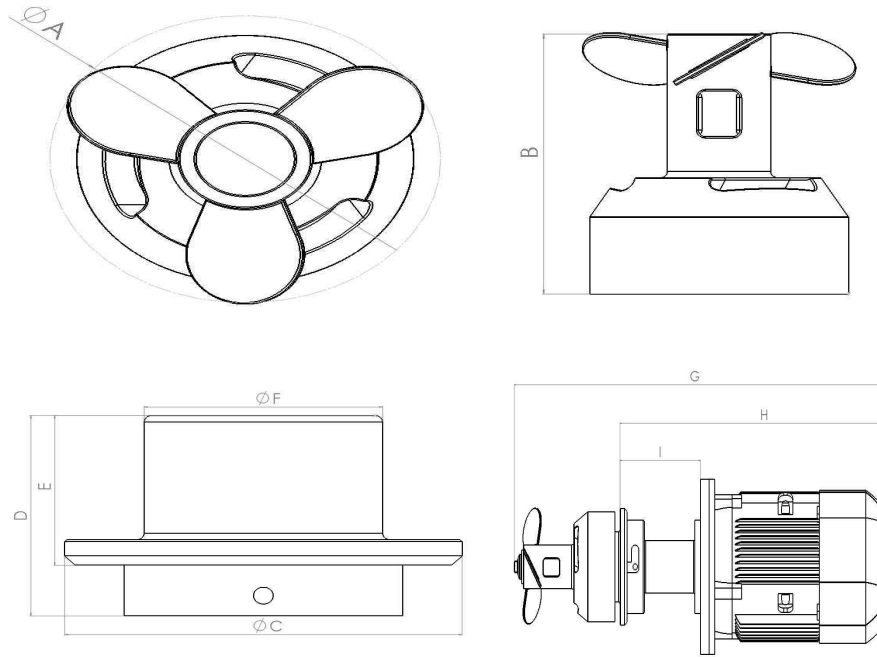


PRODUCT INFORMATION

Model	Mixing volume Design RPM	Specification
SHM-250	10,000L ~ 150,000L (AC 5.5kw) 1800rpm	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impeller <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Welding Plate <ul style="list-style-type: none"> • Material : Stainless Steel, Hastelloy, Titanium • Surface Finish : Ra < 0.4μm ▶ Bearing <ul style="list-style-type: none"> • Bearing material : SiC / TC • O-ring : EPDM, Viton, PTFE capsule etc. ▶ Drive Unit (Motor) <ul style="list-style-type: none"> • 220/380/480 VAC • Protection : IP55 • 50Hz / 60Hz



* 주의 : 돌기준으로 선정된 모델입니다. 세부모델 선정시 문의 바랍니다.



	A (Ø)	B (mm)	C (Ø)	D (mm)	E (mm)	F (Ø)	G (mm)	H (mm)	I (mm)
SHM 250	220	200	200	118.5	88.5	120	800	566	175

※ 상기 표는 일반적인 사양을 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 동일한 모델에서 모터와 감속기 최대 크기를 기준으로 작성되었습니다.
 ※ 특수 사양에 대해선 SEDNA 기술 지원으로 연락 바랍니다.

□ 주요 적용 사례

업체명	적용 모델(용량)	적용년도	업체명	적용 모델(용량)	적용년도
주사제 Line					
녹십자(오창)	SDM150(400L)	2010	SK케미칼(오산)	SDM100(400L)	2012
	SDM150	2017		SDM150(300L)	
녹십자	SDM150	2019	SK케미칼(안동)	SDS60(10L)	2013
녹십자EM	SDM200(800L)	2014	동광제약	SDM100(100L)	2012
	SDM250(800L)		명문제약	SDM100	2009
녹십자(음성)	SDM200(700L)	2011	하나제약	SDM150	2014
	SDM200(1500L)	2012	삼천당제약	SDM60(30L)	
녹십자(화순)	SDM100(50L)	2012	대웅제약	SDM150(150L)	2011
	SDM60(20L)	2013		SDM100	2017
	SBM1000(100L)			SRD1500	
	SMO85/140(300L)			SDM60(10L)	
	SDM60,100,150	2016		보령바이오파마	SDM100(60L)
LG생명과학	SDM100(100L)	2010	삼진제약	SDM150	2017
	SDM150(200L)	2011	한울제약	SDM150(200L)	2012
	SDM20,60	2016		SDM220(2000L)	2012
	SDM60	2017		SDM200(600L)	2011
바이넥스	SDM150(300L)	2012	BTO제약	SDM150(150L)	2014
	SCB500(500L)		중외제약(당진)	SDM200(800L)	2014
	SCB1000(1000L)		비씨월드제약	SDM60(30L)	2011
	SDS150			2013	SDM150
유니바이오	SDM200(1000L)	2012	대한약품	SDM60	2019
유케이케미팜	SDM150(550L)	2011		SDM200(1000L)	2010
메디파크	SDM150	2018		SDM200(1000L)	2012
한국콜마	SDM150	2019		SDM220(5000L)	
중앙백신	SDM200(800L)	2013		SDM400	2016
바이엘코리아	SDM200(1100L)	2010	동아제약	SDM60,100	2012
	SDM250(1800L)		SSN2200		
엠지	SDM200	2008	CJ제일제당(이천)	SDM60(50L)	2013
베르나바이오텍	SDM100(100L)	2010	CJ제일제당(음성)	SDM200	2013
	SDM100	2014		SDM220(2000L)	
안국약품	SDM220(6000L)	2014	일성신약	SDM100(50L)	2014
	SSN2000(500L)		CTC바이오	SDM100(50L,80L)	2014
	SSN2200(6000L)			SDM150(500L)	
광동제약	SDM200(5000L)	2013	유니메드제약	SDM200(2000L)	2010
	SDM220(6000L)			SDM200(600L)	2012
	SDM300(13000L)	2014		SDM200(600L)	2012
	SDM200(500L)	2015		SDM150	2013
	SSN1500(500L)			SDM60(30L)	2014
새한(삼성바이오)	SAL3000(50000L)	2014	SDM100(80L)	2014	
			SDM100(80L)		
			SDM150(300L)		
			SDM200(800L)		
무균제제					
셀트리온	SMS700(2000L)	2010	조아제약	SDM200(600L)	2011
	SDM150(200L)	2011	아주약품	SDM150(500L)	2010
	SDM200(1300L)		경기바이오센터	SDM100	2009
	SDM200	2016	메타바이오메드	SSN1000(100L)	2013
과천의과대학	SDM150(500L)	2011	대성미생물	SDM200	2010
모던바이오	SFC200	2010		SDM220	
	SRF1000		한독약품	SDM150	2008
코미팜(대성미생물)	SDM200(1000L)	2012	바이오랜드	SDM100(100L)	2012
강릉산업진흥원	SFC150(300L)	2010		SDM200(700L)	
	SFC200(2000L)			SDM250(5000L)	
환인제약	SDM100	2010	동아제약	SDM100(200L)	2010
대전바이오센터	SDM60(30L)	2012		SDM60,100	2012
유바이오팜	SRF2000(150L)	2011		SSN1500	2017

해스바이오텍	SDM210	2008	한국슈넬제약	SDM200	2009
종근당	SDM150(500L)	2012	신풍제약	SDM100	2012
	SRF1500(50L)		한울제약	SDM150	2012
	SRF2000(150L)		삼성제약	SDM220	2012
	SRF2500(300L)		삼성제약	SDM200(2000L)	2012
	SRF1500(50L,100L)		2013	한동제약	SDM150,200,220
종근당바이오	SFC250(3000L)	2011	한동제약	SDM150,220	2013
JW생명과학	SDM60(30L)	2013	광동제약	SDM200(3000L)	2013
	SDM200(300L)	2012		SDM220(5000L)	
DHP코리아	SSN1500(100L)	2014	보령제약	SDM150(150L)	2013
	SDL200(700L)	2015		이글벳	
	SSN1500(100L)	2016	SDM150(400L)		
	SDM150(700L)		SDM200(1000L)		
	SDM100	SDM200(2000L)			
	SSN1000	SSN2000(1000L)			
	SDM150	SSN2200(2000L)			
	SSN1500	2017	한국유니온제약		SDM150
	케미존	SA2000	2016	동구제약	SDM200(1000L)
대용파마텍	SDM60(10L)	2013	태준제약	SDM100(60L)	2013
대우제약	SDM150(350L)	2019		SSN2500(2000L)	2015

바이오 / 연구

강원대학교	SDM100(50L)	2012	두산전자	SFC150(250L)	2012
다림바이오텍	SDM150(300L)	2012	바이넥스(인천) 사각챔버	SCB500	2012
	SDM200(1200L)			SCB1000	
	SSM1500(1200L)			STS50,100,200 (Chamber)	
네츄로진	SSM1500(300L)	2011	농업기술센터(음성)	SDM200(700L)	2012
바이오세상	SDM150(200L)	2012		SDM60(50L)	2013
삼성바이오로직스 (송도)	SDB TYPE Impeller	2014	농업기술센터(괴산)	SDM200(1000,2000L)	2013
	SRF1500(200L)		농업기술센터(청도)	SDM200(1200L)	2014
셀트리온(송도)	SDM200	2016	농업기술센터(울산)	SA2000	2015
	SDM150	2017	유바이오로직스	SDM150	2018
삼양바이오팜(대전)	SDM150	2017		SRFT150	2018
	SDM100	2018			

식품

농심(북산공장)	SDM200(1500L)	2010	대상(천안)	SDM250(12000L)	2013
	SDM200(1200L)	2010	대상 (인도네시아 연구소)	SRF2000(500L)	2011
농심(안양공장)	SDM150(500L)	2011	대상(베트남)	SRF2200(100L)	2012
	SDM200(1500L)			SRF1000(50L)	2011
	SDM150(1500L)	2012	대상(연구소)	SRF1000(80L)	2012
	SDM150(800L)			SRF2000(500L)	
농심(미분공장)	SDM220(2500L)	2010		SRF1000(20L)	2013
농심(LA공장)	SDM200(2000L)	2011	사니(광주공장)	SDM220(1000L)	2011
	SDM200(1500L)	2012		SDM220(1000L)	2012
농심(구미공장)	SA2000(1000L)	2014	동서식품(인천)	SAL2200(2500L)	2013
	SA2200(5000L)			SAL2200(3000L)	
	SA2200(7000L)			SAL2200(3500L)	
	SA2200(10000L)			SA3000(5000L)	
	SA3000(20000L)			SA3000(5000L)	
	SA2200	SA4000(7000L)		2014	
자광제약	SFC200(1000L)	2011	부산우유	SDM200(6000L)	2012
해태제과	SA1000(100L)	2011		SAL2500(20000L)	2013
삼육두유(천안)	SDM220(12000L)	2011		SAL2500(20000L)	2017
문산토코리아	SDM200(500L)	2010	두산에코비즈넷	SFC150(150L)	2014
유림수산	SDM150	2011		SFC150(150L)	2015
다연	SDM100	2011		SAL1000(200L)	2016
오리온(베트남)	SDM200	2011	매일유업	SDM250(15000L)	2011
	SDM150	2011		SA1000(50L)	2012
오리온(중국)	SDM150(250L)	2012	빅바이오젠	SRF1500(100L)	2010
	SDM300(3500L)			SFC100(100L)	2011
	SSM1500(350L)			SFC200(2000L)	2012
	SSM1500(350L)			SFC250(10000L)	
오리온(이천)	SDM200(800L)	2011	다정	SA1500,2200,2500	2017
오리온(익산)	SDM150(500L)	2011	동원 F&B	SDM250	2016
	SA1500(500L)	2012	우진 F&B	SDM100(50L)	2012
	SFC200(700L)		해태제과식품	SA1000(50L)	2012

오리온(청주)	SSM1500	2011	가온누리	SA1500(180L)	2012	
	SA1500(200L)	2012	건국유업(음성)	SDL250(20000L)	2013	
서울우유(양주)	SAL2500(20000L)	2013			SAL2500	2016
서울우유(안산)	SAL2500(2000L)	2014	디아지오코리아(이천)	SSM2200(4000L)	2013	
	SAL2500(25000L)	2015		SSM2500(8000L)		
	SAL3000(100000L)		코카콜라	SSN2500(18000L)	201	
서울우유(용인)	SAL2500(20000L)	2015	코카콜라(여주)	SCO4000(20000L)	2015	
샘표식품	SA2200(4700L)	2013		SAL3000(40000L)		
서울 F&B	SDL250(10000L)	2013		SA3000	2016	
대상(군산)	SRD2200	2015		SCO5000	2018	
해태제과(청주)	SA150	2018		SCO250		
매일유업(고창)	SAL250	2019		SRD200		
동원F&B	SDM250	2019		코카콜라(양산)	SCO5000	2017
				코카콜라(광주)	SCO5000	2017
				SCO4000	2018	
화학						
SK이노베이션(대전)	SDM60(25L)	2011	한국타이어	SFC150(100L)	2010	
SK이노베이션(서산)	SDM100(80L)	2012	한빛화학	SSM3000(15000L)	2010	
LG화학(청주)	SDM150(100L)	2011			SFC300(1000L)	2011
	SDM200(500L)			SSM2000(3000L)		
	SDM250(800L)		2012	GS칼텍스	SDM100(400L)	2011
	SDM300(3000L)				SRF1000(150L)	
	SDM200(800L)	2013	태경농산(안성)	SRF1500(300L)	2013	
	SDM150(100L)			SA2000(1000L)		
	SDM200(800L)			SA2500(6000L)		
	SDM220(3000L)			SSN2200(2500L)		
SDM100(탱크포함)	2014	롯데푸드	SSN2500(3000L)	2015		
SDM150	2018	동서식품	SA3000(4000L)	2014		
SDM220	2017		SA4000(7000L)			
SDL300		2017	빙그레	SDL250(16000L)	2009	
SRFT1500	SAL3000(20000L)					
SRFT2500	2017	알해시스템	SAF1500(100L)			
아르카바이오	SDM100(40L)	2007	SKC(수원)	SDM60(5L)	2010	
국진과미래	SFC150(500L)	2012	SKC(수원)	SDM150(300L)	2012	
	SFC150	2013	SKC(진천)	SDM150(300L)	2012	
	SFC150(400L)	2014	SKC(중국)	SDM150	2012	
	SRF150(400L)	2015	SKC(LA공장)	SDM200	2013	
두산전자	SFC150(150L)	2012	SK케미칼	SDM100(300L)	2012	
			SDM150(400L)			
두산에코비즈넷	SFC150(300L)	2012	SK케미칼(안동)	SDS60(10L)	2013	
	SAL1000(200L)	2014	후성정공	SDC5000(chamber)	2013	
	SAL1500(500L)			SRFT1000		
	SAL1000(200L)	2015	코오롱	SDM200(1000L)	2013	
SAL1500(500L)	아테나(제약)		SSM1500	2011		
오성화학	SDM300	2008	동서유지	SFC100(100L)	2009	
에스캠텍	SSM1500(Line mixer)	2013	동서석유화학	SDM110	2010	
엔에이치케미칼	SFC250(10000L)	2010	동양제강	SDM200(2000L)	2009	
	SFC300(15000L)		인실리코텍	SDM150(200L)	2009	
포스코	SDM150(500L)	2009	SK플라즈마	SDM200(1000L)	2019	
포스코(광양제철)	SDM400	2018	솔루에타	SA150	2019	
	SDM300			SRD150		
	SDM250	SA220				
	SDM300	SSN150				

코팅액제						
삼성전기(부산공장)	SFC150	2010	롯데알미늄(서울)	SFC60(30L)	2009	
	SFC200	2016		SDM200(500L)	2010	
	SAB1500			SFC60(30L)	2011	
삼성전기(수원공장)	SFC150	2010	롯데알미늄(안산)	SDM100(60L)	2013	
	SFC150	2011		SDB100(50L)		
	SFC150	2012	특영	SSM1500(200L)	2011	
	SFC200(300,350L)		대한화인세라믹	SFC150(300L)	2011	
	SRFS2200(300L)			SRC200(500L)		
삼성전기(필리핀)	SFC150	2011				
삼성전기(중국)	SFC150	2011				
삼성전기(수원연구소)	SSM1500(100L)	2011				
염료						
국진과미래(염료교반)	SFC150(500L)	2009	포원시스템(염료교반)	SFC100(200L)	2009	
포원시스템(염료교반)	SFC100(250L)	2013		SFC100(200L)	2010	
	SFC150(250L,300L)			SFC150(400L,700L)	2011	
				SFC150(500L,600L)	2012	
반도체						
테크노세미켄	SDM150(100L)	2011	코템(청류F&S)	SDM150	2011	
아이월스	SFC100(30L)	2011		SDM100(100L)	2012	
메카로닉스	SDM150(200L)	2010		SDM150(350L)		
오션브릿지	SRFT4000	2018	LG전자	SDM200(500L)	2013	
	SDM100			SDM100(50L)	2010	
	SDM150					
기타						
경일산업	SFC60(30L)	2011	녹십자EM	SDM200	2008	
주원테크	SSM2000(3000L)	2011		SDM250	2014	
ENR솔루션	SDM150	2008		코시롱하우스	SFC100(50L)	2012
해외						
바이오퍼스(러시아)	SRF1000	2010	바이오투론(프랑스)	SDM150	2009	
	SRF2500			SDM200		
한일과학산업(러시아)	SRF1500	2011	한일과학산업(프랑스)	SRFT1000	2011	
	SRF2500			SRFT1000	2012	
퍼멘텍(러시아)	SRF1500	2011	농심(LA)	SDM200	2011	
	SRF2000			SDM200	2012	
	SRF1000	2013	메가사이언스(태국)	SDM100	2011	
SRF1500	SDM150					
유진하이텍(베트남)	SDM200	2011	대상(인도네시아)	SRF2000	2011	
	SDM100	2012	삼성전기(필리핀)	SFC150	2011	
ASTA(베트남)	SDM100	2012	우원기계(방글라데시)	SDM100	2012	
	SDM150			SDM220		
휴지캡셀(일본)	SDM250	2012	위터타운(길림성)	SDM150,200,220	2010	
Jingying(산둥성)	SDM150	2012		SDM100,150	2011	
Zibo(산둥성)	SDM150	2012		SDM150,200,250	2012	
Hide(산둥성)	SDM200	2012		SDM150,200,220	2013	
Jangsha(호남성)	SDM250	2012		SDM250,300		
Kenode(북경)	SDM100	2012		SDM150,200	2014	
Chuangquan(남경)	SDM150	2012		SDM20,220,250	2015	
커리어	SDM300	2012		Haoxin	SDM60	2015
Kean	SDM200,250	2014			SRD600	
LvYang	SRF600,1000,1500	2015		Macro process	SDM100	2013
	SRF2000,2200		TRUKING	SDM150	2016	
	SRF3000,4000		SKC(중국)	SDM150	2017	

※ 납품 수량 제외
 ※ 2019년 상반기 기준



SEDNA
Sanitary Magnetic Agitator & Pump

More Information & Technical Support

Korea H/Q

A. 경기도 시흥시 황고개로 331

T. 031-317-7871

F. 031-317-7879

E. sedna@sednaeng.com

W. WWW.SEDNAENG.COM