

고압 쿨런트 펌프의 막힘 방지를 위한 사이클론 타입 필터

김준환^a, 강지훈^a, 강성기^{a*}

Cyclone Type Filter for Preventing Clogging of High Pressure Coolant Pump

Jun-Hwan Kim^a, Ji-Hun Kang^a, Seong-Gi Kang^{a*}^a Computer Aided Mechanical Design, Chang-won Campus Of Korea Polytechnics VII, 51-88, Oedongballim-ro, Seongsan-gu, Changwon, Gyeongnam-do, 51518, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	6	October	2015
Revised	10	November	2015
Accepted	25	November	2015

Keywords:

Pressure coolant pump
Cyclone filter
Flow analyses
Cutting fluid
Hydro cyclone

ABSTRACT

Currently, the coolant system in industrial sites is an efficient process to keep clean cutting oils. However, the damage to a pump occurs due to a chip and debris when inhaled into the pump, and thus problems such as the reduction of both efficiency and lifespan might arise. In this study, a new type of filter was developed in order to primarily prevent the damage from the pump impeller and make it unnecessary to have the replacement and cleaning at the same time. This study found the problem reducing the suction volumetric efficiency and cavitation when inhaled, and conducted a method to solve the problem compared to the result of fluid analysis according to two velocity conditions. As a result, this study achieved the effect of lowering the pressure and meeting the suction flow rate by connecting the four filters.

1. 서론

절삭유는 가공 시 재료와 절삭 공구 사이의 마찰을 줄이고 발생하는 다량의 마찰열을 제거한다. 또한, 절삭 칩을 씻어내려 절삭 공구의 수명을 길게 하고, 치수 정밀도 향상, 가공 면의 녹 방지 등 여러 가지 작용을 한다. 하지만 가공 작업 시 생성되는 칩이나 불순물이 절삭유와 섞여 절삭유를 공급하는 펌프 이상으로 효율성이 떨어지는 문제가 발생하는데 이것을 해결하기 위하여 한번 사용된 절삭유가 필터를 통해 펌프로 이송되어 깨끗한 상태로 정화됨으로써 가공 작업에 재사용할 수 있는 상태로 만들어주는 것을 쿨런트 시스템이라고 한다.

쿨런트 시스템에서는 크기가 큰 칩이 펌프로 절삭유와 함께 흡입

되면서 내부를 마멸시켜 펌프의 작동 효율을 감소시키고 수명을 단축하게 한다는 문제점을 가지고 있었다. 따라서 펌프 흡입구에 메쉬망, 펀칭 플레이트 등의 방법을 이용하여 1차 필터링 장치를 함으로써 이를 해결하고자 하였으나 1차 필터링 방식의 경우 펌프의 강한 유입속도로 인해 칩과 이물질 등에 의한 막힘이 발생하여 주기적으로 청소와 필터의 교환을 해야 하는 문제점이 발생하였고, 그때마다 장비의 정지 손실이 발생하여 생산성에 많은 어려움을 가지고 있었다.

이러한 문제점 때문에 기존의 필터와 달리 막힘이 발생하지 않고 주기적인 교환이나 청소가 필요하지 않으며, 반영구적이고 비용 대비 고효율을 낼 수 있는 새로운 1차 필터링 장치에 대하여 연구하게 되었다.

* Corresponding author. Tel.: +82-55-260-1164

Fax: +82-55-260-1175

E-mail address: kskjh114@kopo.ac.kr (Seong-Gi Kang).

2. 이론적 하이드로 사이클론의 구조

하이드로 사이클론(hydro cyclone)의 입구에서 원통형 챔버(chamber)의 접선방향으로 유체가 주입되면 강력한 선회운동으로 유동을 형성한다. 유동은 사이클론 축에서 스스로 방향을 바꾸기까지 벽 근처로 하강하는 운동을 형성하다 중앙 부분에서 방향이 바뀌어 상승하는 유동을 형성한다. 또한, 상승하는 유동은 사이클론 심축에서 형성되어 중앙 부분에서 선회운동을 가지고 벽 근처에서 하강하는 유동을 형성하게 된다. 이와 같은 현상의 유동을 double vortex라 하며 double vortex의 내부에서는 중앙 부분에서 선회운동을 보이다 overflow 쪽으로 빠져나가게 된다^[1].

Fig. 1에서 보는 바와 같이 하이드로 사이클론이 작동되었을 때 콘(cone) 내부 상의 흐름을 나타낸 것으로 구조와 기능에서 유체와 이물질들이 섞여 하이드로 사이클론 내부로 유입되는 inlet 부분과 접선방향으로 유체가 내벽을 타고 흐르며 원심력을 발생시키도록 유체의 길이를 안내해주는 chamber, 원심력에 의해 유체와 이물질의 분리가 이뤄지는 역 원뿔 형상의 cone, 이물질과 분리되어진 유체가 배출되는 overflow, 내경이 일정한 사이즈의 길이로 되어있는 tailpipe, 유체가 분리된 이물질이 배출되는 underflow 등 역할을 분류할 수 있다^[2].

장치의 치수는 보통 cone의 안지름을 D_c 로 나타내며 공업적으로 사용되는 것은 10 mm 정도의 초소형부터 1,220 mm 정도의 것까지 있으며, 일반적으로는 75~300 mm의 것이 많으며 다른 부분의 표준 치수는 inlet의 지름 $D_c/4 \sim D_c/8$ (원통의 경우), overflow의 지름 $D_c/4 \sim D_c/6$, underflow의 지름 $D_c/6 \sim D_c/10$ 등이 많다^[3].

원뿔 꼭대기의 작은 작을수록 분리 성능은 좋지만 보통은 10~30°의 범위이며 입구 속도는 5~15 m/sec, 입구 압력은 0.4~4 kg/cm² 정도로 조작된다. 하이드로 사이클론의 구성 중 inlet 부분은 접선방식으로 유입 되어야 하며, 이러한 설계 변수는 입구면적 및 입구 유형을 들 수 있으며 작은 입구의 크기는 접선 속도의 증가를 가져

오며 효율을 증대시키지만, 처리 용량은 감소하게 된다. 따라서 입구 면적의 결정은 효율과 처리용량을 고려해서 설계되어야 한다^[4].

3. 사이클론 필터의 설계

펌프 흡입구에 부착하는 형태의 필터를 개발하는데 있어 가장 고려해야 하는 부분은 바로 탱크 바닥면에서 펌프까지의 높이와 슬러지의 제거 방법이다^[5].

본 연구에서 처음에는 가장 널리 사용되는 수직형 사이클론 필터를 제작하려 하였으나 이 경우 펌프와 필터를 결합했을 때 필터 흡입 양정이 너무 높아 효율이 제대로 나오지 않는다는 문제가 있었다. 여러 번의 논의와 시행착오 끝에 펌프와 직각이 되도록 설치하는 수평형 사이클론 필터를 고안하였는데 이를 통해 필터의 흡입 양정을 대폭 낮춤으로써 수직형 사이클론보다 효율이 높아지는 효과를 기대할 수 있었다^[6].

필터링을 거쳐 축적되는 슬러지의 제거를 위해 적용된 자흡식 펌프는 칩 막힘 현상이 발생하여도 구조가 간단하므로 임펠러에 쌓인 칩과 이물질 제거하기가 용이하였으며 또한 설치가 쉽고 적은 동력을 사용하기 때문에 압력변화로 인한 펌프의 이상 현상을 일으키지 않았다.

하지만 보다 단순하게 설치하여 이상 발생 시 수리가 용이하도록 제작을 쉽게 하려면 슬러지 탱크를 사용하지 않고 underflow 쪽에 밸브를 부착하여 필요할 때 개폐할 수 있도록 Fig. 2와 같이 설계하였다.

4. 사이클론 필터의 설계 및 유동해석

4.1 실험조건

본 연구에서는 Fig. 2와 같은 설계도면의 치수 기호를 활용하

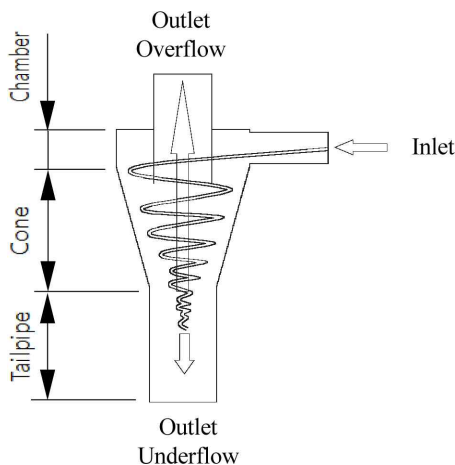


Fig. 1 Schematic illustration of hydro cyclone

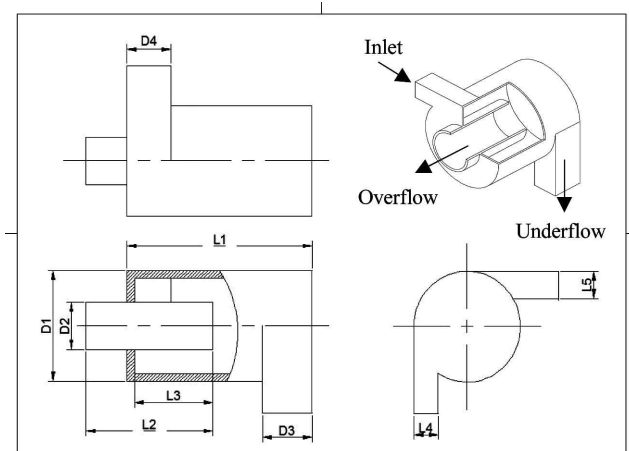


Fig. 2 Design drawings of cyclone filter

여 가장 효율적인 형상을 찾기 위해서 overflow에 유속 2,000과 4,000 mm/sec 조건에서 Table 1과 Table 2와 같은 조건으로 각각 6회 실험을 통해 유동해석을 하였다. 해석에 사용된 프로그램은 NX9 CAE(NASTRAN)를 사용하였으며 효율을 비교하기 위해 사이클론 필터의 inlet와 underflow(관로 직경: D mm, 외형 길이: L mm)를 각각 다른 조건으로 하여 데이터를 산출하였다.

4.2 유동해석 결과

가장 효율적인 형상을 찾기 위해 overflow에 유속 2,000과 4,000 mm/sec 조건에서 유동해석을 통하여 Table 3에서 5가지 결과 값을 얻었으며 Fig. 3에서 Fig. 5까지는 조건에 따른 유속과 정적압력, 총압력에 대한 비교를 나타낸 것이며 Fig. 6과 Fig. 7은 유동해석 결과이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 유속에서는 조건 A1부터 A5의 경우는 최소 유속 값이 커 필터링이 제대로 진행되지 않았으며, 조건 B1부터 B5의 경우에는 B1을 제외한 5개의 해석결과에서 필터링이 이루어졌다. B4의 경우 가장 큰 최대값과 최소값이 편차를 가지고 있었지만, 효과를 기대한 만큼의 결과 값

은 도출되지 않았다. 그러나 조건 B5와 B6를 통해 Outlet 최소 유속이 10 mm/sec 이상일 때 필터링이 많이 진행되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4는 총 압력에 대한 결과 값을 나타낸 것으로 조건 A1부터 A5의 경우는 흡입 유속이 높아, 조건 B 계열 모델보다 높은 압력 값이 발생하였고 또한 필터링이 이루어지지 않았다. 조건 B5와 B6

Table 1 Experimental conditions of cyclone filter (stream velocity: 4,000 mm/sec)

Condition/Section		A1	A2	A3	A4	A5	A6
diameter (mm)	D1	140	140	140	140	140	140
	D2	60	60	60	65	55	45
	D3	20	25	35	40	30	30
	D4	20	20	35	40	20	20
length (mm)	L1	140	140	150	160	155	160
	L2	100	110	130	140	120	130
	L3	70	80	80	90	100	110
	L4	50	50	50	55	55	55
	L5	50	50	50	55	45	45

Table 2 Experimental conditions of cyclone filter (stream velocity: 2,000 mm/sec)

Condition/Section		B1	B2	B3	B4	B5	B6
diameter (mm)	D1	140	140	140	160	160	160
	D2	50	50	50	40	40	40
	D3	40	45	45	60	55	60
	D4	30	30	30	50	50	50
length (mm)	L1	150	150	150	200	190	200
	L2	130	140	150	120	130	130
	L3	100	110	120	100	110	110
	L4	50	55	55	30	35	30
	L5	40	40	35	20	20	20

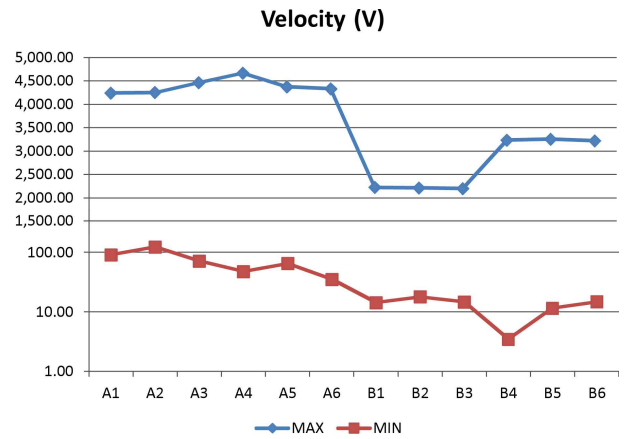


Fig. 3 Results of velocity

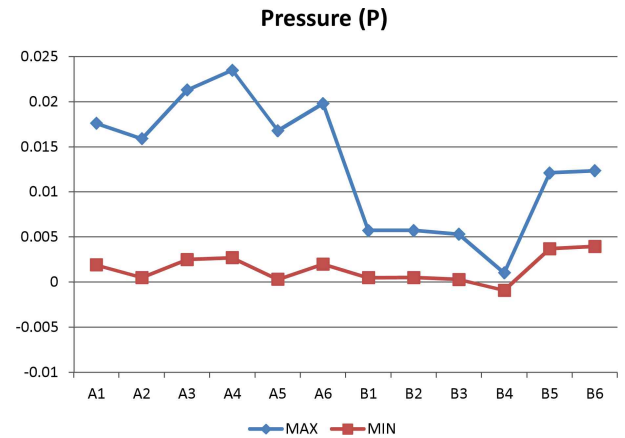


Fig. 4 Results of pressure

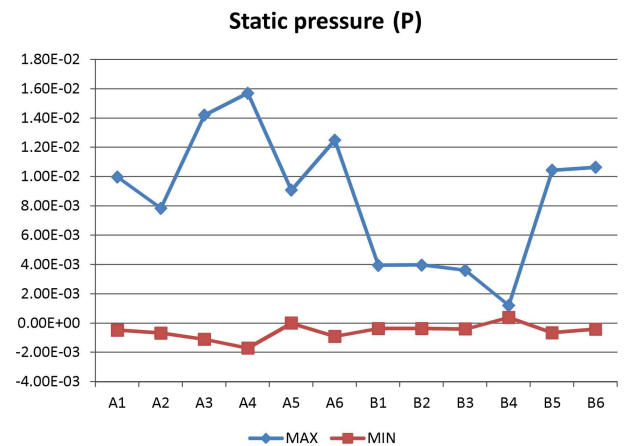


Fig. 5 Results of static pressure

Table 3 Velocity results of cyclone filter (condition of stream velocity: A-4000, B-2000 mm/sec)

Section	Condition	Max	Min
Velocity (mm/sec)	A1	4,240.54	91.29
	A2	4,251.94	124.21
	A3	4,464.80	72.12
	A4	4,669.82	48.05
	A5	4,376.60	65.35
	A6	4,332.97	35.20
	B1	2,224.28	14.40
	B2	2,215.31	17.97
	B3	2,199.40	14.71
	B4	3,233.65	3.48
	B5	3,253.89	11.63
	B6	3,219.28	14.83

Table 4 Total pressure results of cyclone filter (condition of stream velocity: A-4000, B-2000 mm/sec)

Section	Condition	Max	Min
Pressure (MPa)	A1	0.0176	0.0019
	A2	0.0159	0.0005
	A3	0.0213	0.0025
	A4	0.0235	0.0027
	A5	0.0168	0.0003
	A6	0.0198	0.0020
	B1	5.723E-003	4.871E-004
	B2	5.717E-003	4.965E-004
	B3	5.311E-003	2.886E-004
	B4	1.033E-003	-8.998E-004
	B5	1.212E-002	3.694E-003
	B6	1.234E-002	3.956E-003

Table 5 Static pressure results of cyclone filter (condition of stream velocity: A-4000, B-2000 mm/sec)

Section	Condition	Max	Min
Static pressure (MPa)	A1	9.985E-003	-4.869E-004
	A2	7.841E-003	-6.795E-004
	A3	0.0142	-0.0011
	A4	0.0157	-0.0017
	A5	9.076E-003	-1.011E-008
	A6	0.0125	-0.0009
	B1	3.951E-003	-3.666E-004
	B2	3.968E-003	-3.724E-004
	B3	3.612E-003	-3.999E-004
	B4	1.204E-003	3.813E-004
	B5	1.044E-002	-6.562E-004
	B6	1.064E-002	-4.120E-004

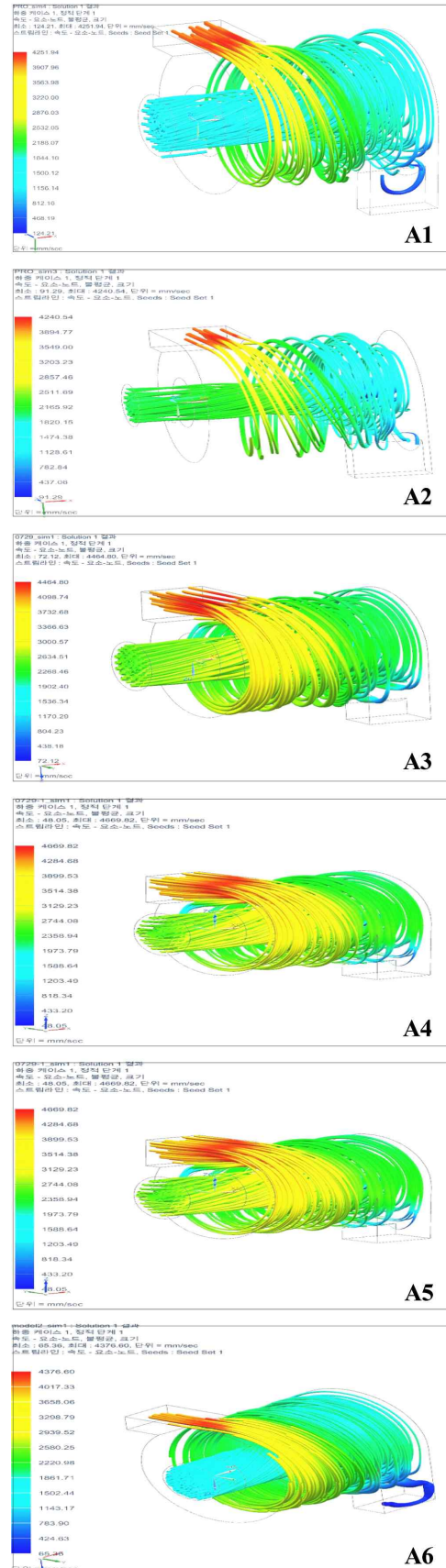


Fig. 6 Flow analyses results on condition in velocity 4000 mm/s (A1, A2, A3, A4, A5, A6)

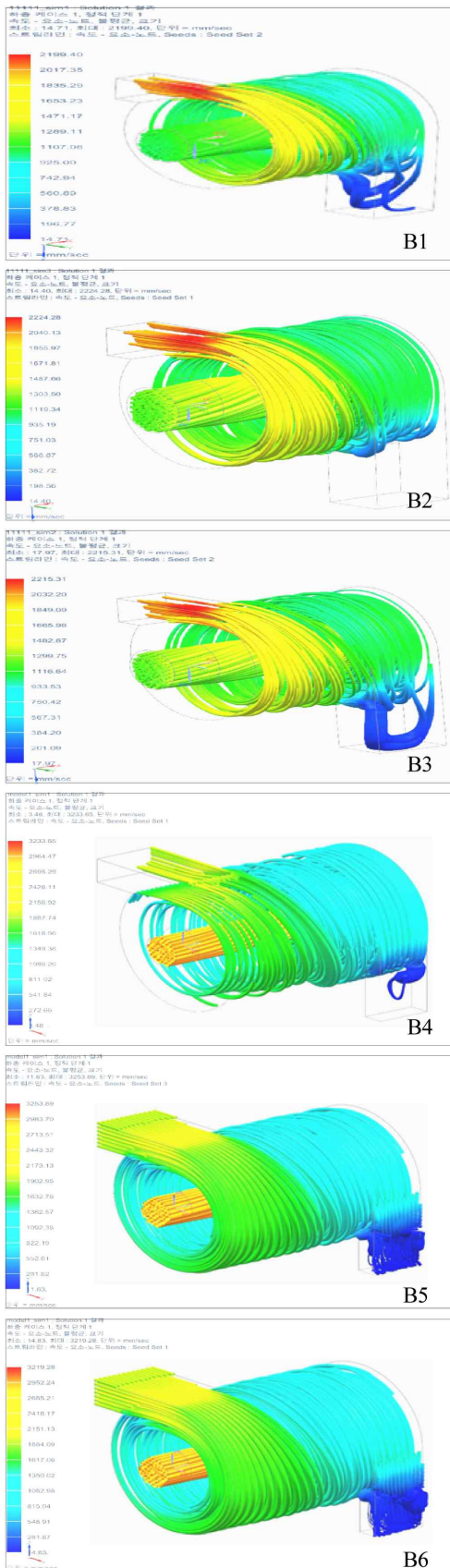


Fig. 7 Flow analyses results on condition in velocity 2,000 mm/s (B1, B2, B3, B4, B5, B6)

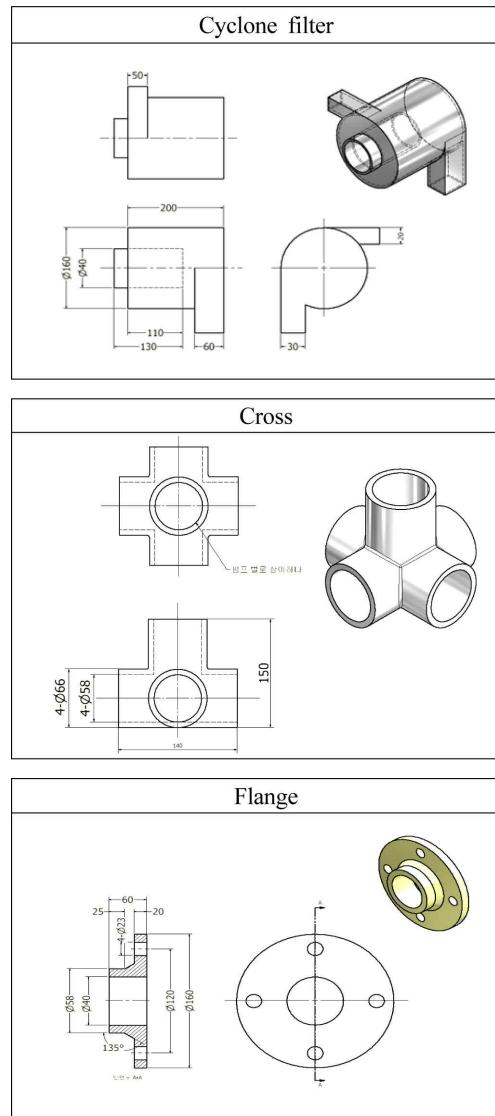


Fig. 8 Design drawings of the cyclone filter

는 비슷한 압력 값을 가지고 있었으며 두 모델에서 가장 효율적인 필터링이 이루어지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5에서는 정적압력에 대한 결과 값으로, 조건 B4의 경우 최대값과 최소값 사이의 편차가 적어 안정적인 필터링을 보였으나, 오히려 압력 차이가 큰 B5와 B6 모델에서 효율적인 필터링이 이루어지는 것을 Fig. 6과 Fig. 7을 통해 발견할 수 있었다^{1,2,4,5}.

4.3 사이클론 필터의 설계도면 및 기대가치

Fig. 8은 유동해석을 통해 그 결과 값을 적용하여 설계된 사이클론 필터의 설계도면이다. 흡입 펌프에 1개의 필터를 부착하게 되면 진동 발생 및 흡입 효율이 떨어질 수도 있다는 문제점이 발견되어 이를 해결하기 위해 4개의 응용 필터를 플랜지에 크로스결합하여 진동에 대한 안정성과 흡입 효율을 향상시킬 수 있게 하였다^{4,6}.

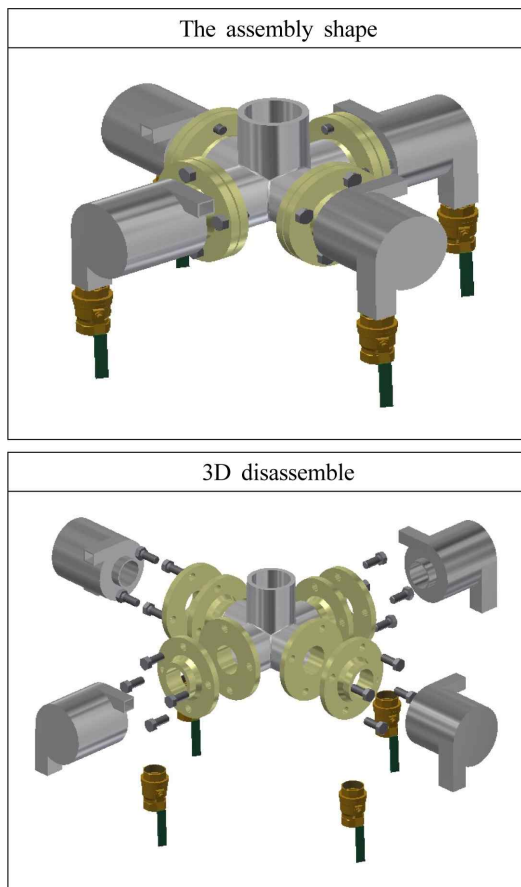


Fig. 9 The assembly shape and 3D disassemble of the cyclone filter

Fig. 9는 3D 조립도와 분해도를 나타낸 것이며, 기존에 사용되는 쿨런트 시스템에 적용하여 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으며 초기 제작비용은 기존 다른 필터에 비해서 높을 수 있지만, 장기적으로 사용할 시 가동비용이 저렴하고, 필터 내장재 교환이 불필요하므로 경제적이다. 또한 가동 중 정지하지 않아도 되어 효과적인 작업효율을 가져올 것으로 전망된다.

5. 결론

본 연구에서는 사이클론 필터 타입을 수중에서 효율 향상을 위하여 수평형으로 설계하고, 유동해석을 바탕으로 사이클론 필터를 개발하여 안전성과 흡입효율을 개선하였다.

유동해석을 통해 흡입유속이 2,000 mm/sec 일 때 필터링이 효율적으로 이루어졌다. 이론적으로는 유속의 편차가 클수록 사이클론이 강하게 발생하지만, 최소유속이 일정수준 이하로 떨어지지 않

는다면 필터링이 이루어지지 않는 것을 알 수 있었다.

필터에 작용하는 총압력이 일정수준 이상으로 발생하면 필터링이 이루어지지 않고 캐비테이션이 발생하는 현상을 볼 수 있었으며 최고압력 1.210E-002~1.250E-002, 최소압력 3.680E-003~4.0E-003 범위의 총압력이 가해질 때 가장 효율적인 사이클론이 발생되었고, 일정량의 압력편차가 존재해야 사이클론이 발생되었음을 알 수 있었다.

한 개의 사이클론 필터를 사용할 시 펌프의 흡입유량이 부족해지는 현상이 나타났으며 4개의 사이클론 필터를 크로스와 플랜지로 연결하여 사용함으로써, 흡입유량을 충족시키고 압력을 저하시키는 효과가 있었다.

후 기

이 논문은 2015년도 한국공작기계산업협회에서 시행하는 『제7회 대학생 공작기계 창의 아이디어 공모전』에 참여하기 위해 연구한 것이며, 한국폴리텍대학 FL System에 의한 멘토기업 아이엔테크와 프로젝트과제 수행 결과입니다.

References

- [1] Jang, S. C., Jung, W. B., Park, L. B., Lee, C. W., Lee, C. K., 2011, Fundamental Study on Optimum Design of Cyclone Collector, Korean Society of Manufacturing Technology Engineering Spring Conference, 381-382.
- [2] Jang, S. C., Ahn, H. W., Lee, C. K., 2013, Fundamental Design of Cyclone Collector for Oil Mist, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 22:2 223-227.
- [3] SEHWA Editorial Department, 2001, Chemistry Unabridged Dictionary, SEHWA, Korea.
- [4] Ju, J. I., Choi, Y. S., Lee, Y. K., Kim, T. H., Kim, S. Y., 2003, Numerical Study of Turbulent Flow in a Hydrocyclone, Journal of the Korean Society of Fluid Machinery, 6:2 34-40.
- [5] Ahn, K. H., Park, Y. S., 2004, Application of Air Lift Pump for Sludge Discharger, J. of the Environmental Sciences, 13:10 929-938.
- [6] Mo, J. O., Kim, Y. T., Lee, Y. H., 2012, Numerical Study on Cavitation Performance Evaluation in a Centrifugal Pump Impeller, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 36:2 286-293.