

오염 준설퇴적토의 입자분리기술에 관한 연구

A Study on the Particle Separation Technology of Contaminated Dredged Sediments

박정준^{1*}, 황순갑², 신은철³

Jeong Jun Park¹, Soon Gab Hwnag², Eun Chul Shin³

¹Member, Research Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, 119, Academyro, Yeonsu-gu, Incheon, 406-772, Republic of Korea

²Member, Ph.D. Student, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, 119, Academyro, Yeonsu-gu, Incheon, 406-772, Republic of Korea

³Member, Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, 119, Academyro, Yeonsu-gu, Incheon, 406-772, Republic of Korea

ABSTRACT

As sediment contamination problems have recently been raised in Korea, the need for technologies to remove contaminants in sediments has increased. Contaminated sediments in Korea has been annually dredged and treated using processes of coagulation/flocculation, sedimentation on barges, dewatered and dried at prepared site, and then disposed at a landfill site, which is very costly, and only a limited landfill space available in Korea. Contaminants in media containing a high percentage of silt and clay sized particles, typically, are strongly adsorbed on the particles and difficult to remove. Particle separation processes that separate the fine clay and silt particles from the coarser sand and gravel and concentrate the contaminants into a smaller volume of sediment that can be further treated or disposed of, are very effective in the post step processes. In this study are to test the feasibility of treating dredged sediments using a hydrocyclone process, and to estimate design parameters for a pilot scale test. A hydrocyclone was operated to separate larger particles from the sediments. It was found that the particle separation was greatly affected by the solid contents and inlet pressure in the hydrocyclone.

요 지

최근 국내의 준설퇴적오염물질을 부각되고 있으며, 이에 따라 퇴적오염물질을 정화하기 위한 기술의 필요성이 증대되고 있다. 국내에서는 준설퇴적물에 응집제를 투입하여 응집·침전 후 탈수하여 매립하고 있으나, 과도한 슬러지 발생과 운송비 부담 등으로 경제성이 떨어져 새로운 처리방법의 필요성이 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 준설퇴적물 내 오염물질은 큰 입자에 비하여 작은 입자에 강하게 흡착되어 있어 입자별로 분리하면 처분량 및 처분비용을 감소시킬 수 있고, 후속처리 공정에 효율적인 하이드로사이클론을 통한 전처리기술을 이용하여 준설퇴적물 처리의 적합성을 파악하였다. 즉, 준설퇴적물의 입자분리를 위하여 하이드로사이클론을 운전한 결과 고형물함량과 유입압력이 분리효율에 큰 영향을 미쳤다.

Keywords : Particle separation process, Dredged sediment, Solid content, Hydrocyclone, Inlet pressure

1. 서 론

인천은 급속한 경제·문화 발전으로 쾌적하고 편리한 생

활환경 조성을 위해 새로운 도시환경을 조성하는 도시재생사업이 활발히 진행되고 있으며, 이에 따라 토양 환경에 대한 이해와 평가가 중요시 되고 있다. 특히 기존의 재활용처리부지와 공장부지, 그리고 군부대 주둔지 등이 이전하면서 기존 부지에 누적되었던 토양 오염과 이에 대한 처리 사항들이 중요하게 부각되고 있다. 그러나, 현재까지

Received 28 Aug. 2013, Revised 23 Sep. 2013, Accepted 24 Sep. 2013

*Corresponding author

Tel: +82-32-835-4243; Fax: +82-32-835-0775

E-mail address: frostjun@incheon.ac.kr (J. J. Park)

국내 지자체별 토양오염을 관리하는 관련법은 아직 그 기준이 미흡하여 일부 토양오염을 간과할 우려가 있다(Shin et al., 2012).

특히, 우수지 및 하천 등에 침강된 오염물질은 일단 수중으로부터 제거되어 퇴적물 속에 축적되었다가 확산, 재부유, 생물교란 등의 물리·화학 및 생물학적 과정에 의해 다시 수중으로 용출되어 수질 및 수생태계에 직·간접적인 악영향을 미칠 수 있게 된다(U.S.EPA, 1993).

이러한 오염퇴적물은 골재성분과 다량의 오염물질을 함유한 토사성분으로 구성되어 있다(U.S. EPA, 1993; Lagrega et al., 1994). 오염퇴적물을 입자별로 분리하면 처분량이나 비용을 많이 감소시킬 수 있고, 오염물질의 함유량이 적은 큰 입자들을 노반재 및 건설용 재료로 재활용 할 수 있다(U.S. Army, 1987; U.S. EPA, 1992; U.S. EPA, 1993). 국내·외적으로 매립부지 확보차원에서 부족한 양질의 토사를 보충하거나 대체하기 위해 지반조건이 열악한 해안 지역 준설점도 활용 사례 등이 증가하고 있다(조재범 등, 2002).

선진국에서는 우수지 및 하천의 오염준설퇴적물 처리 및 재활용을 위한 물리적, 화학적 및 생물학적 처리의 다양한 공법들이 개발되어왔다. 오염된 준설퇴적물 처리는 전·후처리를 포함한 여러 단계의 공정을 거치는데, 오염된 퇴적물의 적절한 처리를 위하여 계획과 설계 시 퇴적물의 준설, 이송, 전처리, 처리, 처분 및 방류수 혹은 침출수의 처리 등과 같은 제반사항을 모두 고려해야만 한다.

Svarovsky(1990)는 입자분리기술 중 사이클론의 기본적인 원리는 원심력 침전이며, 부유입자들은 유체로부터 입자들을 분리시키는 원심가속도의 영향을 받으며, 원심분리기와 다른 점은 움직임이 없고, 유체 자체의 힘에 의해서 필요한 선회운동(vortex motion)이 이루어짐을 제시하였다.

또한, 사이클론의 설계변수는 사이클론 치수의 상대적인 비율과 분리효율의 영향 및 유입압력 등 다양하며 많은 연구가 수행되어왔다(Svarovsky and Thew, 1992; Chu, et al., 2000). 사이클론 설계에 관련되어 중요한 사항은 다음과 같다. 우선, 고형물 회수율(solids recovery)을 향상시키기 위해서는 흐름에 대한 저항이 증가된다는 법칙으로, 적절한 한계 내에서 사이클론길이를 제외하고는 모든 사이클론 크기에 대한 비율에 적용된다.

국내에서는 오염준설퇴적물의 처리에 대한 특별한 처리방안이 개발된 바는 없고, 대부분의 경우 준설한 오염퇴

적물을 응집제를 사용하여 처리한 뒤 매립하고 있는 실정이다. 이처럼 응집제 등의 화학약품을 사용함으로써 슬러지 생산량이 증가하고 매립지 운반에 따른 운송비 부담이 상승한다. 또한, 매립비용의 증가로 인하여 경제성이 감소하게 되며, 준설되는 퇴적물의 양이 많기 때문에 매립 공간의 부족을 초래할 수 있다. 앞으로 수환경의 개선을 위하여 우수지 및 하천의 퇴적물에 대한 준설사업은 지속적으로 실시될 것이므로 우수지 및 하천에 존재하는 준설퇴적물 중에 골재만을 분리하여 건설용 골재로 재이용하고, 오염물질의 함유량이 많은 토사를 안정화시켜 차수재 등으로 재활용한다면 경제적·환경적인 효과가 매우 클 것으로 판단된다.

본 논문에서는 토양정화방법 중 시가지, 산업지역, 공장지대가 밀집된 고농도의 중금속 및 유해물질이 함유된 하천 및 해안, 매립지, 개발지역이라는 연구대상지역의 토질 조건에 적합한 입자분리기술인 하이드로사이클론을 통한 전처리기술을 이용하여 준설퇴적물 처리의 적합성을 파악하였다. 즉, 우수지에서 채취한 시료를 대상으로 입자분리기술의 효율성 향상을 위한 최적흡입압 산정을 위하여 실험과 두 가지 형태의 입자분리시험기의 효율성에 대한 실험을 수행하였다.

2. 오염퇴적물의 입자분리기술

2.1 입자분리기술의 특성

사이클론은 Fig. 1과 같이 원추부에 실린더가 결합된 형태로 구성된다. 유체 속에 있는 부유입자는 실린더 상단에

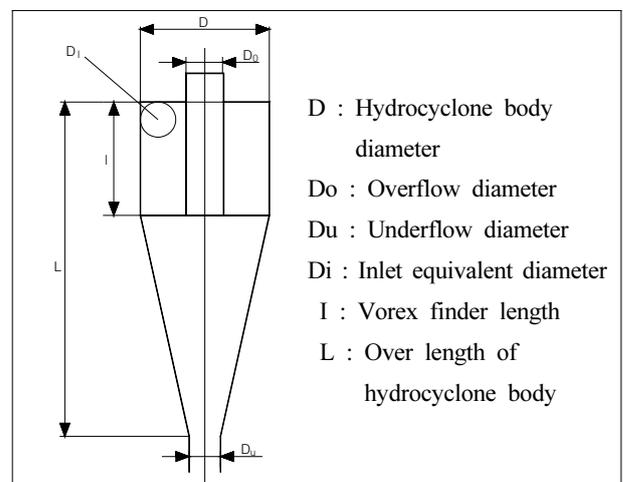


Fig. 1. Schematic diagram of a typical cyclone

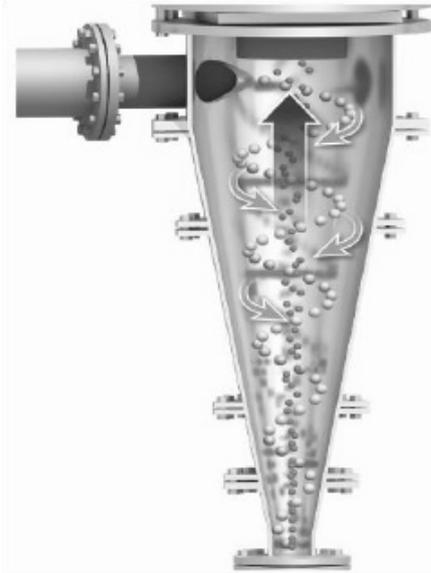


Fig. 2. Flow pattern of cyclone

위치한 유입구를 통하여 접선방향으로 유입되며, 접선방향 유입으로 인해 강력한 소용돌이 움직임이 사이클론 내부에서 발생된다. 사이클론 내부의 유체흐름은 Fig. 2와 같이 유입슬러리가 일차적으로 하향으로 이동하는 선회흐름을 통해 굽은 입자가 원추부 하단에 위치한 원형개방부인 하부배출구를 통하여 배출된다. 다음과정으로 미세입자를 포함한 유체는 상향으로 이동하는 이차적인 흐름을 통해 중앙상부에 고정되어 있는 실린더관을 통하여 배출되는데, 이 배출관을 상부배출구라 한다(Cilliers and Harrison, 1997).

사이클론에 유입된 고형물은 상향류와 하향류의 두 가지 흐름으로 구분되며, 조립자 생성물과 미립자 생성물이 분리된다. 이 때, 분리효율은 확률특성을 지니며, 사이클론으로 유입된 입자의 위치, 경계면 흐름 및 난류 등과 밀접한 관계가 있다. 사이클론은 입자크기에 따라 퍼센트가 증가하는 등급 효율이라 불리는 효율곡선에 의해 유입된 고형물을 처리하는 특성을 지닌다.

2.2 사이클론 내부에서의 유체흐름과 부유입자 거동

사이클론 내의 흐름은 접선방향 유입관을 제외하고, 원형대칭으로 구성된다. 사이클론 내부의 흐름은 접선속도(v_t), 반경속도(v_r) 및 축방향속도(v_a)로 분석 가능하다.

사이클론의 접선속도는 반경에 비례하는데, 반경이 증가하면 접선속도는 감소한다. 선회류 약화기의 가장자리 하단부분은 반경이 작아짐에 따라 선회류의 반경이 작아

져 접선속도는 증가하고, 상단부분은 큰 반지름으로 인해 접선속도가 감소되는 특성을 나타낸다. 이러한 접선속도와 반경의 관계는 원통부 공기칼럼에 도달할 때까지 유지된다. 벽에 대한 영향과 이런 현상들을 제외하면, 속도는 수직위치와 무관하기 때문에 일정한 접선속도로 둘러싸게 되는 것은 사이클론과 원통부가 같은 축을 형성하기 때문이다.

사이클론은 실린더와 원추부의 외부벽면을 따라 강한 하향류를 나타내며, 이 흐름은 하부배출구로 분리되는 입자를 제거하기 때문에 사이클론 운전에서 필수적이다. 선회류 약화기의 가장자리 위는 아래로 향하는 큰 속도가 다시 사이클론 벽 가까이에서 발생한다. 사이클론의 벽과 선회류 약화기 사이에서 반경은 축방향속도가 상향으로 된다. 선회류 약화기 주위에서는 강력한 하향류가 관찰될 수 있는데 이는 벽유도 흐름에 기인하며, 이는 사이클론의 상부를 따라 내부로 이동하는 것을 의미한다.

사이클론의 반경속도는 접선속도 및 축방향속도보다 정상적인 상태에서 작은 값을 나타내며, 정확히 측정하기가 곤란하다. 반경속도는 사이클론 내부에서 발생되며 반경의 감소와 함께 그 속도도 감소하는 특성을 보인다. 선회류 약화기의 가장자리 위의 레벨에서 바깥쪽으로 재순환흐름과 사이클론의 납작한 상부 부근에서는 강력한 내부 반경속도가 선회류 약화기의 중심을 향하게 된다. 그러므로 선회류 약화기 벽 바깥 벽면 아래로 상에서 언급한 단회류를 유도한다.

고형물 입자가 실린더 벽 근처로 유입될 때, 유입부에서의 강력한 난류혼합 때문에 내부로 급속히 분산되는데, 실린더에서 유체의 거동에 관한 정보는 거의 없다. 사이클론에서는 이 부분을 예비 분리 지역으로 간주하고, 정밀한 분리는 원추부에서 수행되는 것으로 판단한다. 사이클론 내부의 흐름에서 입자는 기본적으로 가속도(중력과 원심력)와 항력의 두 가지 힘에 의해서 지배를 받는다. 그러나 사이클론 내에서 중력의 영향은 보통 무시하기 때문에 단지 원심력과 항력만이 고려된다.

입자들은 원심력 분리를 통해서 입자에 작용하는 원심력이 항력보다 크면 외부방향으로 급속하게 이동하고, 항력이 더 크면 입자는 내부로 이동하는 특성을 보인다. 접선방향과 축방향에서 입자의 이동은 어떠한 힘에도 지배를 받지 않고, 접선속도와 축방향 속도에만 관련된다. 사이클론에 존재하는 입자들의 항력과 원심력은 접선속도와 축방향속도에 의해 결정되기 때문에, 분리지역 내 모든 위

Table 1. Geometry of the cyclone equipment

Cyclone body diameter	75.0 mm
Overall length of cyclone body	780 mm
Inlet equivalent diameter	16.5 mm
Overflow diameter	31.8 mm
Underflow diameter	42.7 mm
Vortex finder length	87.0 mm

치에서 접선속도와 축방향속도의 상대적인 값이 전반적인 사이클론 운전에 대해 중요한 역할을 한다(Svarovsky, 1990).

3. 실험방법 및 오염퇴적물의 특성

3.1 실험장치 및 방법

오염 준설퇴적토의 입자분리기술에 적용된 사이클론의 제원은 Table 1과 같다. 즉, 사이클론에 유입되는 유량과 압력을 조절하기 위해서 압력게이지와 인버터를 장착하였으며, 펌프는 모노펌프로 최대회전수 1,740 rpm, 최대유량 200 L/min인 회전용적형 일축편심 나사식펌프를 사용하

였다(Fig. 3). 실험은 고형물 농도 2.5, 5.0 및 7.5 %(w/v)와 압력을 0.5, 1.0 및 1.5 kg/cm²로 변화시켜 분리제거효율을 측정하였으며, 시료는 상부와 하부에서 동시에 채취하여 분석하였다.

3.2 오염퇴적물의 특성

오염퇴적물은 연구대상지역인 우수지 상부와 하부에서 각각 채취하였으며, 채취된 시료에 대한 공학적 특성은 Table 2에 나타내었다.

퇴적토의 pH는 전체적으로 5.99~6.56의 약산성을 나타내었는데, 이는 혐기성 상태에서 유기물이 분해될 때 포름산, 아세트산(초산) 및 휘발성 유기산 등의 산성물질들이 생성되었기 때문이라 판단된다. 일반적으로 퇴적토 상부 시료는 입자크기가 작고 유기물함량이 높아 복토재 혹은 토지개량용으로 좋은 성분이 될 수 있고, 준설토 하부 시료는 입자가 크고 유기물함량이 적어 골재로서 이용이 가능하다. 우수지 상부의 경우 하부시료보다 유기물 함량이 3.9% 높게 산출되었는데, 이는 상기와 같은 일반적인 퇴적토의 특성과 잘 부합되었다.

질소 및 인 등의 영양염류는 하천이나 호소로 유입될



(a) A type cyclone



(b) B type cyclone

Fig. 3. Photographs of the cyclone equipment

Table 2. Particle size analysis of the soil sample

Sample	Passing No. 200 sieve (%)	LL (%)	PL	C_u	C_g	USCS
1	6.63	26.5	NP	2.89	0.96	SP-SM
2	30.70	30.5	NP	4	0.879	SM

Table 3. Cumulative passing ratio for particle diameter

Particle diameter (mm)	Cumulative passing ratio (%)	
	Sample 1	Sample 2
2	99.93	97.95
0.85	93.47	92.59
0.425	83.14	86.74
0.3	71.68	80.40
0.25	57.51	73.59
0.18	46.04	66.76
0.15	31.12	59.70
0.125	22.72	52.63
0.106	15.72	45.32
0.09	9.53	38.01
0.075	6.63	30.70
0.063	3.65	24.46
0.053	1.39	16.41
0.045	0.53	12.12
0.038	0.03	7.92
0.026	0.03	1.05

때 환경변화에 따라서 퇴적물로부터 용출되어 부영양화 및 조류의 이상번식의 원인이 될 수 있다. 준설퇴적물 내 영양염류의 농도를 측정한 결과 총질소는 각 지점별로 524~2,000mg/kg의 값을 보였으며, 우수지 상부시료가 더 높은 값을 나타내었다. 총인은 전체적으로 약 4,000 mg/kg의 유사한 값이 산출되었다. 전체적으로 총질소 및 총인의 함유량이 높게 산출되어 전체적으로 부영양화가 상당히 진행되었음을 보였다. 오염퇴적토에 함유되어 있는 오염물질의 존재형태가 대부분 유기물과 결합되어 있는 형태이므로 유기성 물질의 분해정도에 따라서 수질오염에 미치는 영향은 차이가 있다.

실험에 앞서 사이클론 장비의 최적 흡입압력 분석을 통한 입도분리 효율을 파악하였다. 직접 제조한 시료는 전처리 과정을 거친 토양을 건조시켜 표준망체로 처리하고 나서 각각의 입경을 갖는 토양을 일정 비율로 혼합하였다. Table 3은 제작된 시료의 입자 가적 통과율을 나타낸다.

Fig. 4와 Fig. 5는 하이드로사이클론의 최적 흡입압력 실험에 사용된 시료의 입경가적곡선을 나타낸다. 시료 1의 경우는 균등계수가 2.8이고 시료 2의 경우는 균등계수 3.75로 제작하였다. 시료를 이용하여 압력을 49.0, 78.5, 98.1, 196.1kPa로 4가지의 상태에서 수행하였으며, 여기에서 최고의 효율을 갖는 흡입압력을 찾는 데에 목적을 두었다.

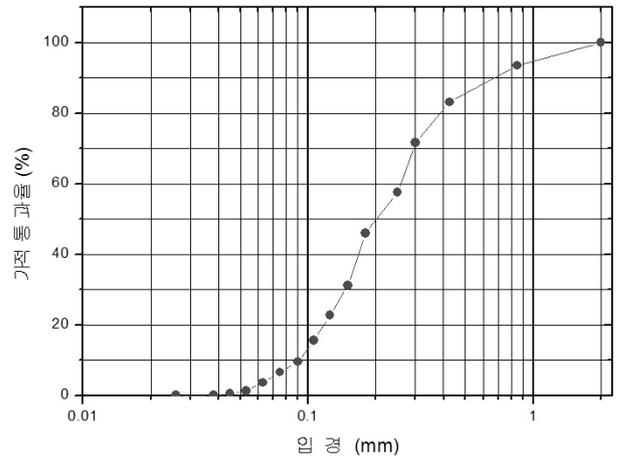


Fig. 4. Size distribution of the soil sample 1

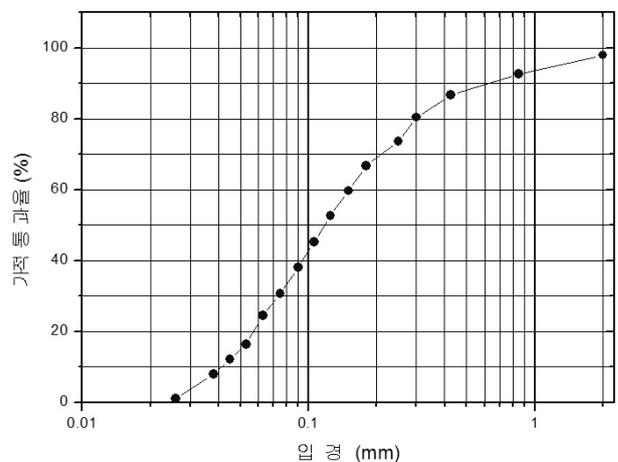


Fig. 5. Size distribution of the soil sample 2

4. 실험결과 및 분석

4.1 최적흡입압 산정

Table 4와 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 압력별 제거효율 분석 결과는 압력이 78.5kPa일 때 83.8%로 최고의 분리효율을 보였으며, 196.1kPa일 때를 제외하고는 80% 이상의 총 제거효율을 얻을 수 있었다.

전체적으로 사이클론을 통과한 하부시료는 동일한 압

Table 4. Separation efficiencies of the cyclone at different input pressures

Pressure (kPa)	Separation efficiency (%)
49.0	80.8
78.5	83.8
98.1	83.1
196.1	78.4

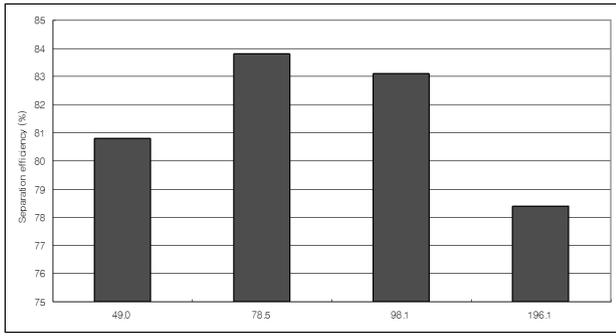


Fig. 6. Separation efficiencies by using the cyclone equipment at different input pressures

Table 5. Variation of removal efficiency with pressure

Diameter (mm)	Cumulative passing ratio (%)				
	Origin sample	78.5 kPa	98.1 kPa	147.1 kPa	196.1 kPa
2	99.93	100	100	100	100
0.85	93.47	100	100	100	100
0.425	83.14	100	100	100	100
0.3	71.68	99.85	99.55	99.93	99.87
0.25	57.51	97.29	98.84	98.46	99.69
0.18	46.04	95.29	97.04	97.86	99.20
0.15	31.12	93.79	95.06	96.01	97.68
0.125	22.72	90.41	94.36	93.12	95.93
0.106	15.72	87.33	94.15	85.19	94.90
0.09	9.53	84.32	91.73	83.74	91.01
0.075	6.63	79.71	86.73	81.29	85.51
0.063	3.65	75.95	78.77	73.77	68.30
0.053	1.39	68.89	69.38	58.65	57.07
0.045	0.53	62.61	60.45	51.16	40.16
0.038	0.03	37.00	35.04	32.29	18.32
0.026	0.03	15.89	14.90	17.53	8.04

력조건에서는 고형물농도가 낮을수록, 동일한 고형물농도에서는 압력이 높을수록 입자분리효율이 우수하였다.

또한, Table 5와 같이 78.5kPa의 압력에서는 고형물농도에 상관없이 상·하부시료 모두 높은 분리효율을 나타내었으며, 그 이상에서는 분리효율이 급격히 떨어지는 현상을 보였다. 이는 78.5kPa 이상의 압력조건에서는 상대적으로 무거운 모래나 자갈이 하부 유출구에 침적되는 속도가 분리된 토양입자의 배출속도를 초과하게 되어 발생하는 현상으로 토양입자들이 하부로 유출되지 못하고 상부로 재 비산 하게 되는 블로킹현상 때문인 것으로 판단된다 (Svarovsky, 1990). 따라서, 고압으로 인한 운전비용 등의 문제점을 고려할 때 입자분리시스템에 사용된 사이클론의 최적압력조건은 78.5kPa로 판단된다.

Table 6. Classification of soil samples 1~4 obtained from contaminated detention reservoir

Sample	No. 200 sieve passing (%)	PI	C_u	C_g	USCS
1	10.096	NP	8.93	0.80	SP-SM
2	6.43	NP	9.44	1.60	SW-SM
3	0.46	NP	5.60	0.60	SP
4	58.49	7.3	6	1.50	ML

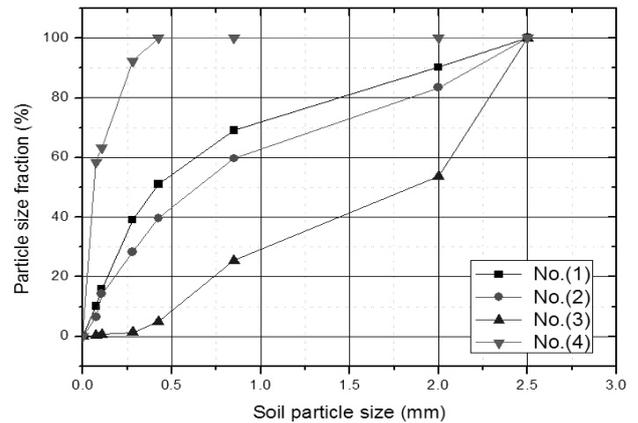


Fig. 7. Grain size distribution of soil samples obtained from contaminated detention reservoir

4.2 모래분리실험

이 실험에는 우수지에서 4회 채취한 준설퇴적토를 사용하였다. Table 6은 채취된 4개의 시료의 통일분류법에 의한 흙의 분류, Fig. 7은 시료의 입도분포곡선, Table 7은 입자크기를 나타낸 것이다. 시료는 약 5m의 간격을 두고 채취하였으며, 비교적 사질토의 비율이 높다.

채취된 시료를 대상으로 모래입자 분리 효율을 분석하기 위해 물-건조시료 중량비 3:1의 비율로 혼합하여 사이클론 입자분리시험기를 가동하였다. 흡입압은 78.5kPa를 유지한 상태로 실험을 진행하였으며, Table 8과 Table 9는 사이클론 종류별 모래분리시험의 결과를 나타낸 것이다.

사이클론의 규격은 모래분리의 효율에 영향을 미치게 된다. 따라서 이 실험에서는 사이클론의 규격을 달리하여 모래분리시험을 수행하였다. A형 사이클론은 몸통직경 약 7.5cm, 하부배출구까지의 각은 20°를 이루며, B형 사이클론의 경우 사이클론의 몸통직경이 약 10cm, 상부배출구로부터 하부배출구까지의 각이 15°를 이룬다. 실험결과, A형 사이클론의 분리효율은 평균 92.69%, B형 사이클론의 분리효율은 평균 98.01%로 나타났다.

Table 7. Grain size of deposit soil at contaminated detention reservoir

Sample (mm)		Particle ratio (%)
Sample 1	2,000 <	9.728
	2,000~0,850	21.201
	0,850~0,425	18.025
	0,425~0,280	11.943
	0,280~0,106	23.306
	0,106~0,075	5.701
	0,075 >	10.096
Sample 2	2,000 <	16.596
	2,000~0,850	23.726
	0,850~0,425	20.036
	0,425~0,280	11.291
	0,280~0,106	14.066
	0,106~0,075	7.854
	0,075 >	6.430
Sample 3	2,000 <	46.397
	2,000~0,850	28.265
	0,850~0,425	20.331
	0,425~0,280	3.730
	0,280~0,106	0.714
	0,106~0,075	0.140
	0,075 >	0.460
Sample 4	2,000 <	0
	2,000~0,850	0
	0,850~0,425	0
	0,425~0,280	7.611
	0,280~0,106	29.020
	0,106~0,075	4.877
	0,075 >	58.491

Table 8. Separation ratio of sand for A type cyclone

Sample	Total weight (0.075 mm over)	Separated sand (g)	Passing soil (g)	Separation ratio of sand (%)
1	8990	8324	1676	92.59
2	9557	9075	925	91.14
3	9954	9037	963	90.79
4	4151	3996	6004	96.26

Table 9. Separation ratio of sand for B type cyclone

Sample	Total weight (0.075 mm over)	Separated sand (g)	Passing soil (g)	Separation ratio of sand (%)
1	8990	8830	160	98.22
2	9557	9365	192	97.99
3	9954	9676	278	97.21
4	4151	4094	57	98.63

5. 결론

시가지와 산업지역 및 공장지대에서 유출되는 유해물질에 의해 오염된 우수지의 오염토양에 대한 정화기술은

오염물질의 종류와 주변환경 및 경제성, 오염된 토양의 종류 등에 의해 다양하게 분리되어 질 수 있다. 입자분리기술의 현장 적용성을 평가하기 위하여 토양오염도가 상대적으로 높은 공업단지 내 우수지 지역의 오염토양을 대상으로 모래분리실험을 실시하였고, 도출된 결론은 다음과 같다.

입자분리기술에 대한 현장적용성 평가는 최적흡입압 산정을 위한 실험과 사이클론의 규격에 따른 분리효율을 비교분석한 결과, 최적흡입압은 78.5kPa 일 때 83.8%로 최고의 분리효율을 보였으며, 사이클론의 규격을 달리하여 실시한 모래분리실험에서는 모든 실험결과에서 90% 이상의 효율을 나타내었다.

흡입압과 사이클론의 규격에 따라 분리효율에 차이가 발생하는 이유는 오염된 토양입자에 가해지는 운동에너지의 차이에 의한 것으로 판단되며, 경제성을 고려할 때 최적 흡입압과 사이클론의 규격은 오염된 토양에 대한 사전 실험을 통해 결정하여야 한다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (code#5) from 2012 Research Development Program at Incheon Green Environment Center.

References

1. Cho, J. B, Hyun, J. H., Cho, S. T. and Choi, K. H. (2002), "Utilization of dredged mud in landfill liner system", *Korean Society of Environmental Engineers*, Vol.24, No.5, pp.869-877.
2. Chu, L. Y., Chen, W. M., and Lee, X. A. (2000), "Effect of structural modification on hydrocyclone performance", *Separation and Purification Technology*, 21, pp.71-86.
3. Cilliers, J. J. and Harrison, S. T. L. (1997), "The application of mini-hydrocyclones in the concentration of yeast suspensions", *Jour. Chem. Eng.*, 65, pp.21-26.
4. Lagrega, M. D., Buckingham, P. L., and Evans, J. C. (1994), *Harzadous Waste Management*, McGraw-Hill.
5. Shin, E. C., Lee, M. S., and Park, J. J. (2012), "A study on the numerical analysis for soil contamination prediction in Incheon area", *The Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol.11, No.2, pp.21-30.
6. Svarovsky, L. (1990), *Solid-liquid separation*, Third Edition, Butterworth.
7. Svarovsky, L. and Thew, M. T. (1992), *Hydrochclones analysis and applications*, Kluwer Academic Publishers.

8. U.S. Army Corps of Engineers (1987), *Beneficial uses of dredged material*, Engineering and Design, EM 1110-2-5026.
9. U.S. Environmental Protection Agency (1992), *BioTrol soil washing system for treatment of a wood preserving site*, EPA/540/A5-91/003.
10. U.S. Environmental Protection Agency (1993), *Selection remediation techniques for contaminated sediments*, EPA/823/B93/001.