

# 준설토 이송시 유동효율에 미치는 전자기장 인가 영향에 대한 실험적 고찰

김유승<sup>1</sup>, 이명한<sup>1</sup>, 이윤진<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>코리아살베지(주), <sup>2</sup>케이티엠지(주)

## Test Study about Electro magnetic force effect to apply dredging soil transport

Yuseung Kim<sup>1</sup>, Myunghan Lee<sup>1</sup>, Yunjin Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Salvage Inc.

<sup>2</sup>KTMG Inc.

**요 약** 준설토 이송의 효율을 증가시키기 위한 연구로써 전자기력을 배관에 인가하여 유동저항을 줄이고, 운할 층에서의 유속을 침강 입계속도이상으로 증가시키어 침강으로 인한 폐색을 방지하는 기술을 개발하였으며, 이를 대규모 장거리 송토 현장에 적용하기 위하여 송토 거리 500m 규모의 현장에서 그 영향을 검토하는 실험을 진행하였으며, 실험결과 유동효율 증대로 인한 송토 유량이 30% 이상 증가함을 실험을 통해 보였다. 이를 검증하기 위하여 전자기장 인가장치와 계측장비로 초음파 유속 프로파일러를 사용하여 배관 내 유속프로파일을 모니터링 하여 그 데이터를 비교분석하여 효과를 검증하였다.

**Abstract** As the research about increasing the efficiency of dredging soil transport, the technology ,which reduce the friction between pipe wall and fluid in the pipe and disturbed generating pipe blockage, has been developed. So for the purpose of applying this technology to real construction site, main test has been tried at the real scale test in field(500m dredging soil transport length). As a test result, this paper will show 30% flow efficiency increasing by permitted electro magnetic force to the pipe. And test result was evaluated as a ultra sonic velocity profiler.

**Key Words** : Electro magnetic force, Slurry flow efficiency, Velocity profile

### 1. 서론

준설공정에 있어 송토 거리의 증가는 운송비용과 방법, 효율 및 실현 가능성 등의 많은 문제점을 안고 있으며, 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행 중이다. 현재 가장 확실한 대안은 중계펌프를 사용하여 다단 압송을 통해 송토하는 방법이다. 그러나 주지하다시피 다단 펌프 제어 및 유지관리 등에 있어 많은 추가비용이 필요하고, 그 기술적 난이성 등으로 인해 실제 시공 현장 적용 시 필연적으로 공사비가 증가되는 것을 알 수 있다.

본 저자들은 이러한 준설토 이송의 효율을 높이고 다단 제어에 있어 중계펌프의 수요를 감소시키기 위하여 전자기장을 파이프에 인가하는 방법을 제안하였다. 본 연구는 제안된 방법에 대해서 유동저항을 낮추고 이송효율을 증대하는 연구의 측면으로써 전자기장을 관내에 인가할 경우에 대한 현상을 실제 현장 실험결과를 바탕으로 고찰해보고자 한다.

흐르는 극성유체에 대한 흐름을 제어하기 위해 전자기장을 인가하는 연구에 대해서는 기존의 많은 연구자들이 연구를 진행해 왔다[1,2,3,4]. 그러나 대부분의 연구

이 논문은 "환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km이상급 이송 기술 개발" 사업(국토해양부)의 일환으로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Yun Jin Lee(KTMG Inc.)

Tel: +82-02-595-2258 email: caelumiter@gmail.com

Received March 5, 2015

Revised (1st March 26, 2015, 2nd March 31, 2015)

Accepted April 9, 2015

Published April 30, 2015

는 미소체적의 입자 유동에 대한 부분이며[5], 준설토 이송과 같은 실제 공정에 반영하여 유동흐름을 제어한 사례는 아직 보고된 바 없다. 본 연구는 극성유체 특히 물과 같은 쌍극자 공유결합형태의 분자구조를 갖는 유체에 전자기장을 인가하여 유동흐름에 대한 영향을 판단하고, 이것을 실제 제어하기 위한 장치를 개발하는 차원에서 접근하였으며, 이를 위해 전자기파를 발생하는 장치를 도입하여 실제 공정에 투입, 이송시의 유동저항에 대한 영향 등을 검토하였다.

## 2. 관련이론

### 2.1 슬러리 류의 관내 유동형상

본 연구의 진행을 위해 준설토의 흐름을 슬러리 류의 다상유체 유동으로 고려하였다. 실제 현장에서의 준설토는 함수비 1000% 이상의 고함수율 이며, 준설토는 토사의 종류가 다양하나 대부분 2상 유동의 조건으로 고려할 수 있다. 슬러리 류의 유동특성은 크게 다음 Fig. 1과 같은 3가지를 고려할 수 있다.

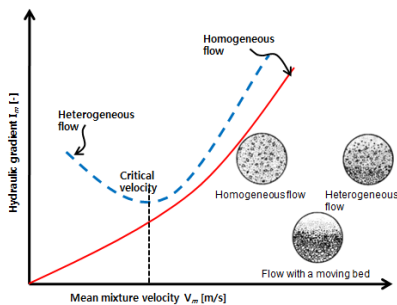


Fig. 1. Closed channel flow states classification

여기서 Homogeneous Flow의 경우는 특별한 경우로써 유체내부에 용해되는 다량의 콜로이드가 존재 시 발생하는 조건이며, 준설토의 경우 입경이 크고 비중이 크기 때문에 이송되는 펌프의 토출 부 시점에서는 Homogeneous Flow의 형태를 띤다 하더라도, 이송이 진행될수록 침강이 진행되고, 이에 따라 Heterogeneous Flow 형태로 변화하게 된다. 준설토 이송의 경우 이러한 moving bed가 발생 시 유동저항의 대부분을 차지하게 되고, 이에 따른 Hydraulic gradient 에 영향을 주게 된다. Fig. 1은 이러한 관내 침강 및 이로 인한 moving bed

가 발생할 수 있는 조건이 되는 임계 속도를 나타내고 있으며, 준설토 송토 시에는 이러한 임계 속도 이상의 이송 속도가 요구된다. 여기서 이러한 충전 고정 층으로 인한 압력강하는 Ergun의 식을 사용하여 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150\mu \bar{V}_o (1-\epsilon)^2}{\psi_s^2 D_p^2 \epsilon^3} + \frac{1.75\rho \bar{V}_o^2 (1-\epsilon)}{\psi_s^2 D_p^2 \epsilon^3} \quad (2-1)$$

준설토의 입자들이 이송이 시작되는 초기 유동화 순간에 대해 이 식을 적용하면

$$g(\rho_p - \rho) = \frac{150\mu \bar{V}_{oM} (1-\epsilon)^2}{\psi_s^2 D_p^2 \epsilon_M^2} + \frac{1.75\rho \bar{V}_{oM}^2}{\psi_s^2 D_p^2 \epsilon_M^3} \frac{1}{\epsilon_M} \quad (2-2)$$

과 같이 나타낼 수 있으며, 입도가 매우 작은 입자로 구성된 충전층 즉  $Rep < 1$  (여기서 Rep는 입자 particle의 레이놀즈수)인 경우는 다음의 경험식으로 나타낼 수 있다.[9]

$$\bar{V}_{oM} \approx \frac{g(\rho_p - \rho)}{150\mu} \frac{\epsilon_M^3}{1 - \epsilon_M} \psi_s^2 D_p^2 \quad (2-3)$$

위의 식을 바탕으로 충전 유동층이 발달하기 위한 침전 속도를 추정할 수 있으며, 준설토 이송 시 임계속도를 판단해 낼 수 있다. 이러한 임계속도 관련한 부분은 WASP 모델[6]을 바탕으로 수치해석을 진행할 예정이며, 이 모델을 바탕으로 실험결과 와 수치자료를 비교한다.

준설토 이송을 위한 배관 및 펌프 선정 등에 있어 이 임계속도는 매우 중요하며, 이를 고려하여 설계가 이루어져야 한다. 만약 전체 배관 내 유동 속도가 임계속도 이하가 된다면 관내의 입자들은 토출되기 전에 모두 침강하여 배관은 폐색이 일어나게 된다. 그러나 평균속도가 임계속도 이상이라고 하여도, 점성경계층의 속도는 언제나 임계속도 이하가 되기 때문에 배관 표면부에 침강은 항상 발생하게 되고, 이것이 moving bed를 형성하게 된다. 이러한 흐름에 있어 대표적인 배관 내 유속 프로파일은 다음의 Fig. 2(a)와 같다.

그림에서 보다시피 배관 내 유동이 형성되면 배관의 아래쪽은 moving bed의 영향으로 유속이 현저히 저하되는 현상을 보이게 된다. 이에 대한 Concentration profile은 Fig. 2의 (b)와 같이 발달하게 된다.

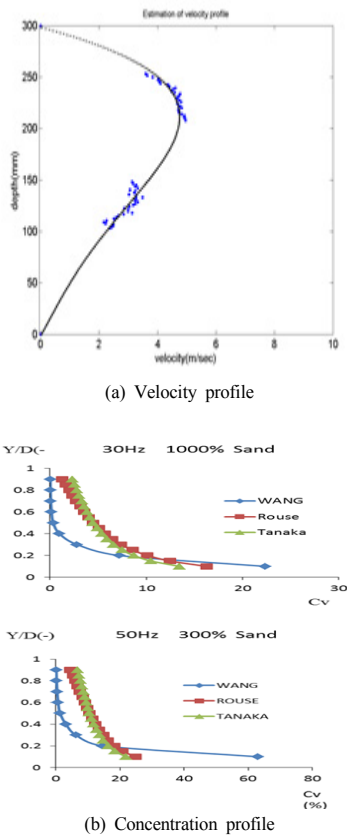


Fig. 2. Flow profile in the pipe flow

배관 내 유동상태를 나타내기 위해서 슬러리의 경우 농도분포(Concentration profile)가 훨씬 유용하다. 그러나 농도는 실시간계측이 어렵기 때문에 현장에서 농도를 바탕으로 유동상태를 평가하는 것은 불가능하다. 따라서 유동상태를 나타내기 위한 지표로써 속도분포와 농도분포의 관계를 나타낼 수 있다면, 속도분포 계측만으로도 유동의 명확한 정보를 획득할 수 있다. 속도분포 (Velocity profile)와 농도분포(Concentration profile)의 함수조건을 지정할 수 없지만[7][8], 이 관계를 찾는 부분에 대해서는 지속적인 연구가 필요하다.

### 3. 실험조건

#### 3.1 실험현장

본 연구를 위한 현장은 안산 시화 근처의 매립 현장으로써 최대 준설 송토 거리 1km의 현장이며, 토사는 대부

분 모래 및 실트질 오니로써 N값은 4이하이다. 실험현장이 서해안과 인접해 있어 조류의 영향이 심한 편이며, 조수간만의 차로 인하여 준설심도가 시간에 따라 변화하는 현장이다. 실험은 이를 고려하여 만조 수위 시 준설 데이터를 바탕으로 하였으며, 이 때 준설 심도는 약 4.5m~3.4m 이다. 송토 거리가 비교적 짧기 때문에 이송 시 압력 강하량이 크지 않아 사용 배관은 PE 플라스틱 배관을 사용하였으며, 관경은 300mm 로서 최대 준설 토출량은 1,500 m<sup>3</sup>/hr 이다.

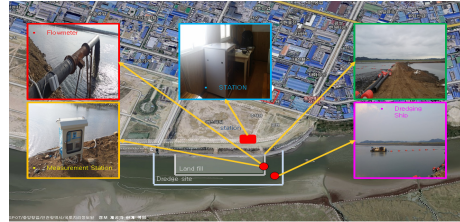


Fig. 3. Real Test site

### 3.2 실험장치

#### 3.2.1 Dredging Ship

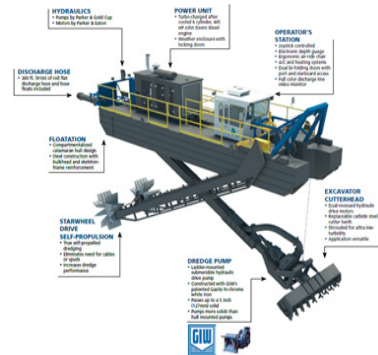


Fig. 4. Dredging ship for test

본 연구를 위해 사용한 준설선은 7012 모델로써 오우거 준설선이고 형태는 Fig. 4와 같다. 공칭 준설선 동력은 425마력으로 사용 펌프는 GIW사의 펌프를 사용하고 있는 자항식 준설선이다. 준설선이 소형이라 전자기장을 인가하기 위한 Inductor를 설치하기 위한 선내공간이 협소하여 플로팅 파이프에 Inductor를 설치하여 전자기장을 배관 내에 인가하였다. 음파를 투사하고 반사된 반사파를 분석하여 깊이별로 유속분포를 추정할 수 있다. 초음파의 특성상 금속관을 투과하지 못하므로 파이프를 폴리에틸렌 계열로 제작하였다.

### 3.2.2 Electro-Magnetic Force Generator



Fig. 5. EMF Generator for test

배관내부의 유동 저항을 감소시키기 위한 방법으로 전자기력을 배관 내에 인가시키는 장치를 사용하였으며, 이 장치의 사양은 다음의 Table 1과 같다. 이 장치는 독일 IFT사가 제조한 Fluid-Liner 6250 모델로써 최대 10A, 1kHz 전기 펄스 인가가 가능하며 최대 6개의 출력을 통해 Inductor 연결이 가능하다[1].

Table 1. EMF Generator Device Specification

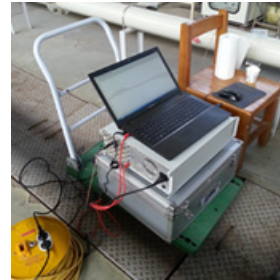
Voltage : 230 Volt
Power : 1.5 kVA
Main Fuse : 16 A/T Typ C
fuse logic : 1 A/T
Output data Voltage : 24 V ±
Current each output : 10 A max
Number of inductors each pipe : 6
Number of spiles : 25 min
Each inductor wire diameter : 1.5mm <sup>2</sup>
Supply Voltage : 230 Volt
Load : 0.1 A

Table 2. Specific Performance of EMF Device

Power with 6 outputs : 750VA
Output stages : 3
Inductors each output : 6
pipe diameter : <250mm per exit
Max. pipe diameter : 500mm = 3 outputs
Case sizes : 9 U
Dimensions(W x H x D)[mm] : 600x497x450
Control unit Supply voltage : ± 12V, + 5V
Power no-load operation : 250 mW
Output current : ± 100mA
Alarm unit (x2) Voltage : ±12V

### 3.2.3 Ultrasonic Velocity Profiler

UVP (ultrasonic velocity profiler, Fig. 3)는 초음파를 사용하여 배관 내 유동입자의 반사속도를 측정하여 배관 내의 유동 정보 및 유동 속도의 프로파일을 구성할 수 있는 측정 장비이다.[1][6]



[Fig. 6] Ultrasonic Velocity Profiler

### 3.2.4 Density & Volumetric Flow meter

현장 실험 시 유동상태 정보중 배관 내 유동에 있어서 송토량과 유량 측정을 위하여 초음파 방식 밀도 유량계 및 체적 유량계를 사용하여 유량을 계측하였다.

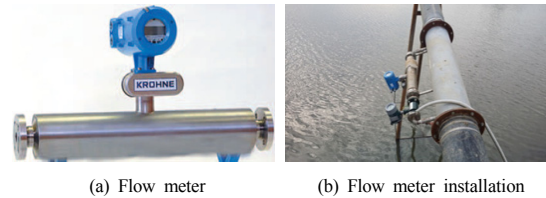


Fig. 7. Flow meter for measuring Density & Volumetric flow rate in pipe

### 3.3 실험조건

본 실험은 다음의 스케줄을 따라 실행하였으며, 이중 10월 16일, 17일 실험 데이터를 바탕으로 결과 분석을 하였다.

현장 실험에 있어서 가장 중요한 부분은 실험 파라미터를 안정적으로 조율 할 수 있어야 하지만, 실제 준설이 이뤄지는 과정에서는 준설선의 운용 및 파라미터 제어를 수행하기가 쉽지 않다.

이를 엄격히 제어하기 위해 준설선의 운전조건을 설정하여 놓고 이에 부합하는 테스트 결과만을 분석에 반영하였다. 여기서 운전조건은 펌프의 RPM을 최대로 고정하고 운항속도 및 운항 방향을 고정하여 정속주행을 진행하였다.

Table 3. Test Schedule

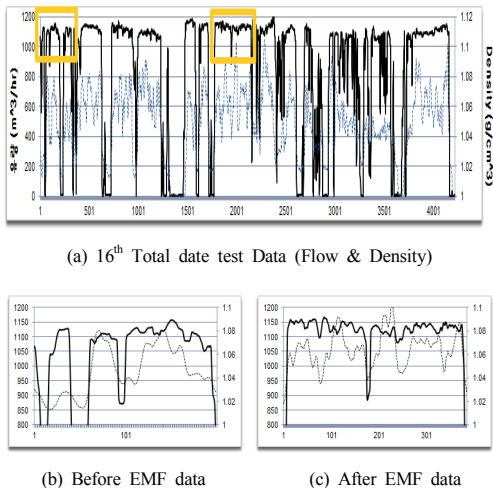
	Sep	Oct.					Nov.	
	1	1	2	3	4	5	1	2
1. Lab test & Numerical Analysis								
2. Measurement Device Installation								
3. Coil pipe & FL-19256 Installation								
4. Main test								
5. Simulation test								
6. Result Analysis								

### 4. 실험결과

#### 4.1 실험 결과

실험은 10월 16일, 17일 양일간 진행되었으며, 최초 준설 시작 시에는 전자기력을 인가하지 않고 준설을 진행하며 데이터를 취득하고, 공정 중간에 전자기력을 인가하여 유동 변화 현상을 검토하였다. 최초 전자기력 인가 전 2시간 이상 정상운전 조건을 확보한 후 전자기력을 인가하지 않은 상태의 데이터를 취득한 후 전자기력 인가 테스트를 진행하였다.

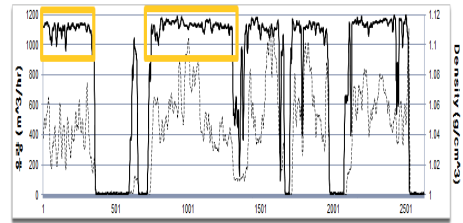
#### 4.1.2 10월 16일 시험 데이터



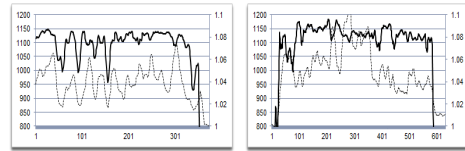
[Fig. 8] 16<sup>th</sup>, October Date Test Data

Fig. 8은 10월 16일 전일에 걸친 테스트 데이터로서 (a)는 16일 전일에 걸친 체적유량(점선) 및 밀도(파쇄선)

의 시간이력 데이터를 나타내고 있으며, 이중 (b)는 전자기력 인가 전의 데이터이고, (c)는 전자기력을 인가한 이후의 유량 밀도 데이터이다. 여기서 (b)와 (c)를 비교해보면 전반적으로 유량의 변화는 크지 않으나 밀도는 현격히 변화하고 있어, 배관 내 함수를 변화 및 송토 되는 흙 입자의 이송량에 변화가 발생하였음을 알 수 있다.



(a) 17<sup>th</sup> Total date test Data (Flow & Density)



(b) Before EMF data

(c) After EMF data

Fig. 9. 17<sup>th</sup>, October Date Test Data

Fig. 9는 10월 17일 전일에 걸친 테스트 데이터로서 (a)는 16일 전일에 걸친 체적유량(점선) 및 밀도(파쇄선)의 시간이력 데이터를 나타내고 있으며, 이중 (b)는 전자기력 인가 전의 데이터이고, (c)는 전자기력을 인가한 이후의 유량 밀도 데이터이다.

#### 4.2 데이터 샘플링

실험결과 분석을 위하여 취득된 데이터를 구간을 나누어 데이터 샘플링을 진행하였다. 여기서 데이터 샘플은 최대 준설 공정 진행시 유량과 밀도가 Peak가 형성되는 구간의 데이터를 선정하여 전후 1분씩 2분에 걸친 데이터를 Fig. 4.3과 같이 추출하였다.

실험샘플은 EMF 적용 전 10 개의 샘플과 적용 후 10 개의 샘플로 총 40개의 샘플 군을 구성하였다. 다음의 Fig. 11-12는 각각의 10개씩의 샘플 군에서의 최댓값, 평균값, 최솟값을 나타낸 그래프이다. 16일과 17일 데이터를 보면 EMF 인가 전후에 있어서 유동량에 크나큰 변화를 나타냄을 볼 수 있다.

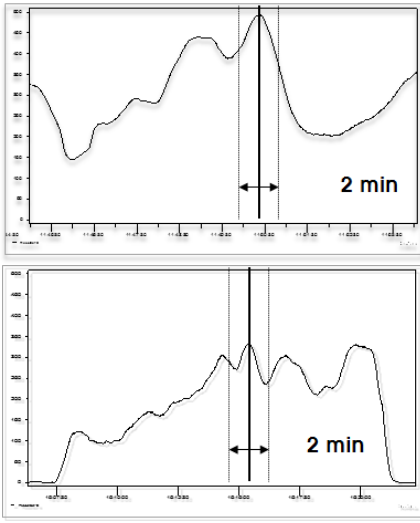


Fig. 10. Peak Data sample extraction

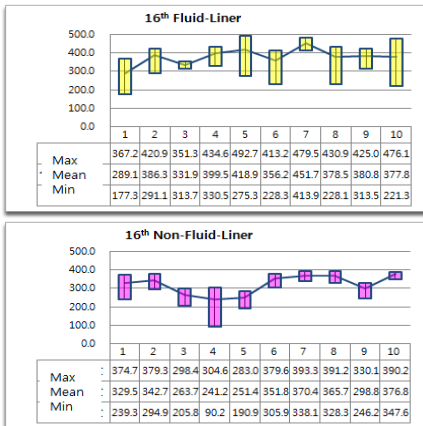


Fig. 11. 16th Data Sample Before & After EMF Data

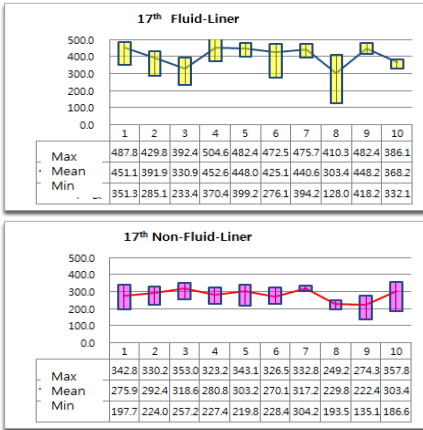
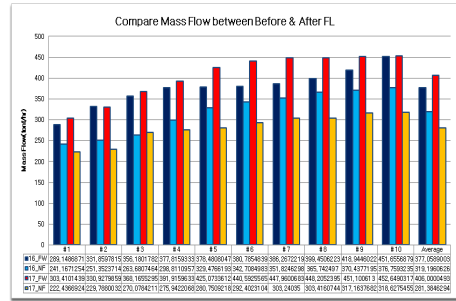


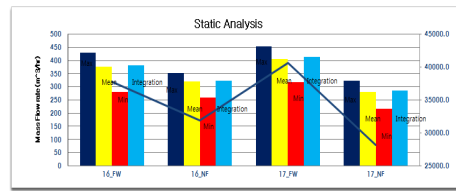
Fig. 12. 17th Data Sample Before & After EMF Data

### 4.3 통계분석

16일과 17일의 실험 데이터를 통계 분석해 본 결과는 위의 그래프에서 보는 바와 같다. 여기서 NW는 전자기력을 인가하지 않은 상태에서의 유량을 나타내고, FW는 Fluid Liner를 사용하여 전자기력을 인가한 경우의 샘플 데이터의 처리 값이다. (a)는 평균값을 비교한 경우의 그래프이고, (b)는 각각의 통계 데이터 처리 값의 비교이다. 이때의 통계 분석은 회귀분석을 사용하여 1개의 파형에 대한 통계정보를 획득하는 것으로써[1], 획득한 계측자료의 공칭값 및 대푯값, 중앙값 등을 비교하여 파형의 전반적인 상태를 나타낸다.



(a) Dredging soil quantity Before & After EMF



(b) Data regression Before & After EMF

Fig. 13. 17th Data Analysis Before & After EMF Data

그래프를 비교해 보면 특히 17일 평균데이터의 경우 전자기력 인가 시 최대 40% 이상의 유량변화를 나타내고 있다. 전반적으로 모든 통계데이터의 값들이 전자기력 인가 이후 유량의 증가를 나타내고 있으며, 최소 15%에서 최대 40% 까지 유량이 증가하는 것으로 나타나고 있다.

또한 전자기력 인가 전후로 Suction pressure 의 값도 변화를 보이고 있으며, 이 또한 전자기력 인가의 영향으로 판단된다.

Table 4. Test Result

	16th		17th		Average
	Mass Flow (tonf/hr)	Pressure (psi)	Mass Flow (tonf/hr)	Pressure (psi)	
Before	319	4600	281	4250	300
After	377	4100	406	4000	391.5
Increment	18.1(%)		44.4(%)		30.5(%)

4.4 Velocity Profile 분석

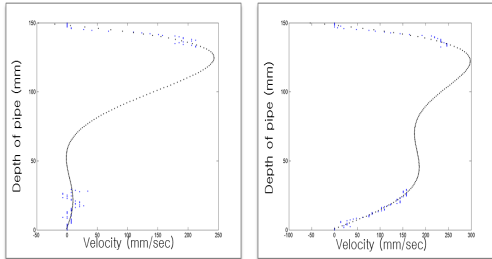
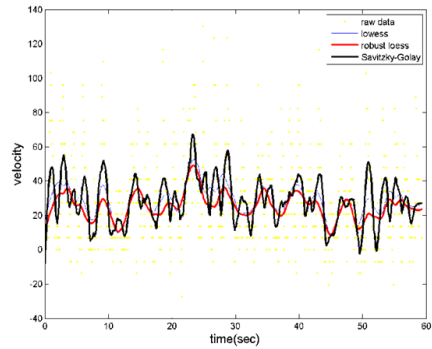


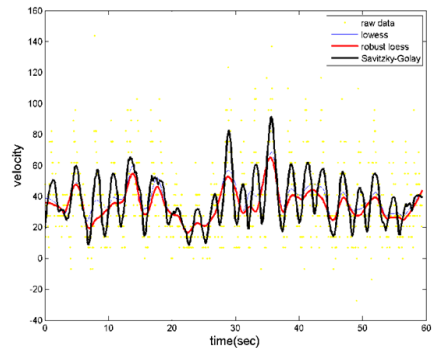
Fig. 14. Velocity profile Before and After EMF

전자기력 인가의 효과는 유속 프로파일에서도 동일한 결과를 유발한다. 전반적으로 유속이 증가함을 알 수 있으며, 특히 배관의 밑면 부근에서의 유속이 증가하고 있는데 이는 침강/퇴적을 방지하는 아주 중요한 요소라고 할 수 있다. 즉, 이러한 효과를 응용 시 배관 내에서의 유동저항 감소뿐만 아니라 배관에서의 침강 등으로 인한 moving bed의 형성을 억제하여 폐색 등의 이상상태 발생을 억제할 수 있음을 알 수 있다.

또한 Slip layer 구간에서의 유속에서도 뚜렷한 전자기력의 효과가 나타나고 있음을 알 수 있다. Fig. 15 그래프는 12mm 깊이의 구간에서의 유속의 시간이력데이터로써 전자기력 인가 전후의 유속데이터 변화를 보여주고 있다. 배관 벽면에서 12mm 구간은 점성경계층의 중심부로서 점성의 영향이 가장 강하게 나타나며, 유속분포 곡선의 변곡점을 이루는 부분으로써 이 부분의 유동형상이 배관 내 유동의 상태를 나타내는 대푯값이라고 할 수 있다. 시간 이력 데이터의 신호처리는 신호잡음과 외란의 영향을 고려하여 3가지 형태의 필터를 적용하여 경향을 분석하였다. 필터 알고리즘은 일반적인 필터 형태를 사용하여 데이터의 왜곡을 줄이고, 신호처리에 따른 데이터의 재현성확보를 위한 일반적인 필터를 적용하였다. 유속의 경향을 확인하면 벽면 12mm 구간에서 EMF적용 전 속도의 평균값보다 약 32% 증가한 속도를 나타내고 있음을 알 수 있다.



(a) Slip layer Velocity before EMF



(b) Slip layer Velocity After EMF

Fig. 15. Slip layer Velocity time history data

5. 결과분석 및 결론

본 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

배관에 전자기장을 인가함으로써 Table 4에서와 같이 송토 유량이 30% 이상 증가함을 알 수 있었으며, 이는 전자기장 인가의 영향으로 판단된다. 특히 유속 분포와 비교하여 살펴보면 인가 전후로 Fig. 14에서와 같이 Slip Layer 구간에서의 유속이 50%이상 증가하며, 유동저항이 감소하고, 유동이 발달하는 현상을 확인할 수 있다. 이러한 유동발달은 배관내의 점성경계층에서의 유속증가를 유도하여 마찰 및 점성 저항을 줄이게 되고, 침강으로 인한 관내 폐색 등을 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

본 실험 수행 결과 배관에 전자기력을 인가하여 유동발생시 동력저감 및 이송효율/유량이 30% 이상 증가함을 실험적으로 확인하였다.

본 실험은 준설토 효율적 이송장치 개발의 일환으로써 진행된 현장 실험으로써 향후 장거리 이송 현장에 적용하여 그 실제적 효과를 증명할 예정에 있으며, 실험실 테스트 기반의 데이터와 현장 실험 데이터를 반영하여 실 현장 테스트 사이트를 설계할 것이다.

## References

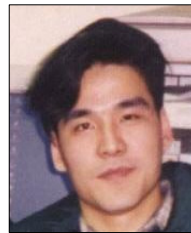
- [1] Myoung Sung Choi, Yu Seung Kim, Jae Hong Kim, Jeong-Su Kim, Seung Hee Kwon, "Effects of an externally imposed electromagnetic field on the formation of a lubrication layer in concrete pumping", *Construction and Building Materials* 61, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.071>
- [2] Q. Yu,1,2 S. Sugita, K. Sawayama, and Y. Isojima, "EFFECT OF ELECTRON WATER CURING AND ELECTRON CHARGING CURING ON CONCRETE STRENGTH", *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 9, pp. 1201 - 1208, 1998  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00118-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00118-5)
- [3] Nan Su\*, Chea-Fang Wu, "Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash.", *Cement & Concrete Composites* 25 pp.681-688, 2003.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00098-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00098-7)
- [4] H. Afshin, M. Gholizadeh and N. Khorshidi, "Improving Mechanical Properties of High Strength Concrete by Magnetic Water Technology", *Transaction A: Civil Engineering* Vol. 17, No. 1, pp. 74 79c Sharif University of Technology, February 2010
- [5] Durand, R., 1953Basic Relationships Of The Transportation Of Solids In Pipes - Experimental Research. *Proceedings: 5th Minnesota International Hydraulic Convention* pp. 15.
- [6] Wasp, E.J., J.P. Kenny, and R.L. Gandhi, 1979Solid-liquid Flow Slurry Pipeline. Gulf publishing Company Huston, pp. 9-16.
- [7] Roco, M.C. and C.A. Shook, 1985Turbulent Flow of Incompressible Mixtures. *Journal of Fluids Engineering*. Vol.107(2), pp. 224-231.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.3242466>
- [8] Newitt, D.M., et al., 1955hydraulic conveying of solid in horizontal pipes. *Trans,Inst,Chem,Engin*. Vol.33(4).
- [9] Lahiri, S.K. and K.C. Ghanta, 2008Prediction of Pressure Drop of Slurry Flow in Pipeline by Hybrid Support Vector Regression and Genetic Algorithm

Model. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. Vol.16(6), pp. 841-848.

DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1004-9541\(09\)60003-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1004-9541(09)60003-3)

### 김 유 승(Yu Seung Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 숭실대학교 기계공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 숭실대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2004년 ~ 2005년 : 삼부시스템(주)
- 2007년 ~ 2009년 : 한국유지관리(주)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 코리아쌀베지(주)

<관심분야>

슬러리이송, 구조물건전도평가

### 이 명 한(Myung-Han Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경희대학교 전파통신공학과 (공학사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 코리아쌀베지(주)

<관심분야>

무선 계측, 정보 통신

### 이 윤 진(Yun-Jin Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 서울여대 화학과 (학사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : ㈜케이티엠지

<관심분야>

무기 화학, 나노 화학 공정