



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

고농도 산소 용해수 생산을 위한  
Ejector 개발에 관한 연구

濟州大學校 大學院

메카트로닉스 工學科

姜 賢 珍

2017 年 7 月

# 고농도 산소 용해수 생산을 위한 Ejector 개발에 관한 연구


指導教授 康喆雄


姜賢珍


이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2017 年 6 月

姜賢珍의 工學 碩士學位 論文을 認淮함

審査委員長 이정환 

委員 김성재 

委員 강재웅 

濟州大學校 大學院

2017 年 6 月

# Study on the Development of Ejector for Production of High Concentration Oxygen-dissolved Water

Hyun-Jin Kang

(Supervised by professor Chul-Ung Kang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for  
the degree of master of Mechatronics Engineering

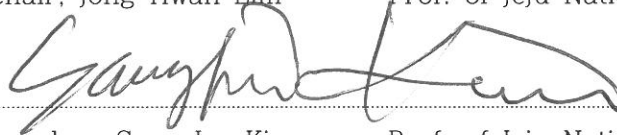
2017. 6.

This thesis has been examined and approved.



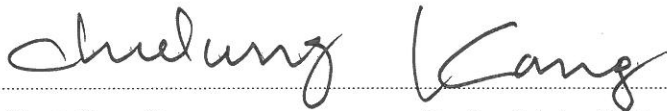
Thesis Committee Chair, Jong-Hwan Lim

Prof. of Jeju National University



Thesis Committee member, Sang-Jae Kim

Prof. of Jeju National University



Thesis Director, Chul-Ung Kang

Prof. of Jeju National University

.....  
Date

**Department of Mechatronics Engineering**

**GRADUATE SCHOOL**

**JEJU NATIONAL UNIVERSITY**

## 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 Ejector 이론적 배경 및 산소 용해 시스템 설계 .....	5
1. 이론적 배경 .....	5
2. Ejector 설계 .....	10
3. 용해수 생산 시스템 설계 .....	14
제 3 장 CFD를 이용한 Ejector 내부의 유동 해석 .....	17
1. 해석이론 .....	17
2. 시뮬레이션을 위한 유동유체 mesh .....	18
3. CFD 시뮬레이션 유동해석 .....	19
제 4 장 Ejector 실증 실험 .....	55
1. 고농도 기체 용해수 생산 실증실험 .....	55
2. 산소 이탈 및 소실 실험 .....	61
3. 모세관의 유무에 따른 DO 상승도 및 효율성 비교 .....	63
제 5 장 결과 .....	71
결과 .....	71
참고문헌 .....	72

## LIST OF TABLES

Table 1 Solubility of aeration type .....	2
Table 2 Advantages and Disadvantages of Dissolution Method .....	3
Table 3 Specifications of Ejector Geometry .....	14
Table 4 Specification of dissolution system for demonstration experiment .....	15
Table 5 Simulation environment of Ejector Geometry .....	19
Table 6 Environmental condition of Ejector 2L Oxygen dissolution Experimental .....	20
Table 7 Environmental condition of Ejector 4L Oxygen dissolution Experimental .....	23
Table 8 Environmental condition of Ejector 6L Oxygen dissolution Experimental .....	26
Table 9 Environmental condition of Ejector 8L Oxygen dissolution Experimental .....	29
Table 10 Environmental condition of Ejector 10L Oxygen dissolution Experimental .....	32
Table 11 Environmental condition of Capillary Ejector 2L Oxygen dissolution Experimental .....	35
Table 12 Environmental condition of Capillary Ejector 4L Oxygen dissolution Experimental .....	38
Table 13 Environmental condition of Capillary Ejector 6L Oxygen dissolution Experimental .....	41
Table 14 Environmental condition of Capillary Ejector 8L Oxygen dissolution Experimental .....	44
Table 15 Environmental condition of Capillary Ejector 10L Oxygen dissolution Experimental .....	47
Table 16 Flow Analysis result of Ejector without Capillary and Ejector with Capillary (CFD) .....	50
Table 17 Experimental conditions for DO measurement experiment .....	59

## LIST OF FIGURES

Fig. 1 Venturi tube .....	5
Fig. 2 Correlation of bubble size and dissolving time .....	9
Fig. 3 3D model of fluid flow field and Ejector conformal .....	11
Fig. 4 Ejector conformal, side section .....	12
Fig. 5 producing rapid prototype for 3D mock-up .....	13
Fig. 6 Internal structure for miniaturization oxygen and producing turbulence .....	13
Fig. 7 Ejector with a capillary (top) for empirical experiment verification test and Ejector without a capillary (bottom) .....	14
Fig. 8 Conceptual diagram of test-bed for verification test .....	14
Fig. 9 3D test-bed design of Ejector for verification test demonstration experiment .....	15
Fig. 10 3D model mesh of ejector (without capillary) .....	18
Fig. 11 3D model mesh of ejector (with straight capillary) .....	18
Fig. 12 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 2L) .....	20
Fig. 13 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 2L) .....	21
Fig. 14 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 2L) .....	22
Fig. 15 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 4L) .....	23
Fig. 16 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 4L) .....	24
Fig. 17 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 4L) .....	25
Fig. 18 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 6L) .....	26
Fig. 19 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 6L) .....	27

Fig. 20 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 6L) .....	28
Fig. 21 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 8L) .....	29
Fig. 22 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 8L) .....	30
Fig. 23 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 8L) .....	31
Fig. 24 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 10L) .....	32
Fig. 25 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 10L) .....	33
Fig. 26 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 10L) .....	34
Fig. 27 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 2L) .....	35
Fig. 28 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 2L) .....	36
Fig. 29 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 2L) .....	37
Fig. 30 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 4L) .....	38
Fig. 31 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 4L) .....	39
Fig. 32 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 4L) .....	40
Fig. 33 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 6L) .....	41
Fig. 34 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 6L) .....	42



Fig. 35 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 6L) .....	43
Fig. 36 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 8L) .....	44
Fig. 37 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 8L) .....	45
Fig. 38 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 8L) .....	46
Fig. 39 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 10L) .....	47
Fig. 40 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 10L) .....	48
Fig. 41 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 10L) .....	49
Fig. 42 Dissolution rate for Ejector oxygen supply without Capillary .....	52
Fig. 43 Dissolution rate for Ejector oxygen supply with Capillary .....	52
Fig. 44 Production Efficiency of Ejector without Capillary .....	54
Fig. 45 Production Efficiency of Ejector with Capillary .....	54
Fig. 46 Test bed for demonstration experiment .....	55
Fig. 47 Test result of Ultrasonic flowmeter flow measurement .....	57
Fig. 48 Test result of Ultrasonic flowmeter flow rate measurement .....	57
Fig. 49 Test result of Pressure gauge operating condition .....	58
Fig. 50 Test result of DO meter data Transmit-Receive .....	58
Fig. 51 DO numerical rise data of Ejector without Capillary .....	60
Fig. 52 DO numerical rise data of Ejector with Capillary .....	60
Fig. 53 Internal oxygen vaporization Experiments on dissolved water produced by an ejector with capillary .....	61
Fig. 54 Internal oxygen vaporization Experiments on dissolved water produced by an ejector without capillary .....	62
Fig. 55 Data for vaporization and oxygen dissolution observation .....	62
Fig. 56 DO measurement data during supply to 2L oxygen per minute .....	64

Fig. 57 DO measurement data during supply to 4L oxygen per minute .....	64
Fig. 58 DO measurement data during supply to 6L oxygen per minute .....	65
Fig. 59 DO measurement data during supply to 8L oxygen per minute .....	65
Fig. 60 DO measurement data during supply to 10L oxygen per minute .....	66
Fig. 61 Dissolution data during supply to 2L oxygen per minute .....	68
Fig. 62 Dissolution data during supply to 4L oxygen per minute .....	68
Fig. 63 Dissolution data during supply to 6L oxygen per minute .....	69
Fig. 64 Dissolution data during supply to 8L oxygen per minute .....	69
Fig. 65 Dissolution data during supply to 10L oxygen per minute .....	70

## ABSTRACT

Effective use of water which is the most used by humankind has been emphasized. so extensive water research such as water purification and desalination are underway. In addition, high concentration water which is oxygen-dissolved by artificial methods is widely used in various industrial fields.

The oxygen-dissolved water contains a large amount of oxygen gas compared with the general water so it is used in various industrial sites such as inland fish farm, waste water disposal plant, hydroponics and fish transportation etc.

However, the production of oxygen-dissolved water is not easy for small-scale business operators due to problems such as space, budget, and the lack of operational expertise.

Many researchers who have been studying the understanding and effect on oxygen-dissolved water keep focusing on studying effective ways to dissolve oxygen gas in the solution.

Also, by using this technology, researchers are trying to improve further technologies of fish farming and hydroponics using nutrient solution. Therefore, it is expected that the technology utilized oxygen-dissolved water accelerating the growth of plants and animals will be improved consistently.

## 제 1 장 서론

물자원은 가정, 공업, 공공 등을 위해 사용되고 있으나 현대에 들어 지구온난화와 기상이변 등의 환경문제로 물자원이 줄어들고 있다. 이러한 많은 수요와 물 부족 현상으로 인하여 물 자원을 용도에 맞게 효율적으로 사용하는 것이 요구되고 있다. 수질관리나 육상 양식업에서 물고기의 생육 환경을 개선하기 위한 다양한 방법으로 용존 산소량을 높이려고 시도하고 있다[1].

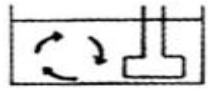

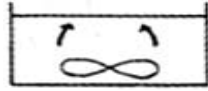
육상 양어장에 영향을 끼치는 환경적 요소는 광, 온도, 수량, 수심, 증발, 산소의 공급 등 변화의 요소가 많다. 이러한 조건들이 만족하지 못할 경우 생산효율이 떨어지고 최악의 경우에는 집단 폐사에 이르는 경우가 있다. 예를 들어 물 내부에 산소가 2ppm 이하로 내려갈 경우 악취가 나며, 물고기가 살 수 있는 환경은 4ppm 이상이 되어야한다. 또한 치어가 성장하는데 필요로 하는 산소가 9ppm 이상이 필요로 하다[2].

육상 양식에서 사용되는 물의 환경적 요소 중 가장 변동이 많으면서 물고기 생장에 영향을 주는 것을 산소이며 인위적으로 산소 공급을 적절하게 조절할 경우 생산 효율을 증대 시킬 수 있고 집단폐사를 방지 할 수 있다. 본 논문에서는 산소 용존 기술을 양식뿐만 아니라 양액을 이용한 수경재배, 하수 처리 기술에 적용이 가능하도록 실증 실험을 통하여 용해수 생산 시스템의 성능을 데이터화 하였다.

기존에 알려진 기체 용해수 폭기 방법은 Table 1과 같다. 공기 확산형은 처리 효과가 좋고 DO 및 풍량 조절, 겨울철 수온 저하 방지, 유지관리 조作的 간편성, 고장 소음이 작다는 여러 장점을 가지고 있는 반면에 기체를 이송시키는 큰 관경과 소비 동력비, ABS<sup>1)</sup> 혼합 시 기포 발생 등의 문제점을 가지고 있다.

기계식 표면 폭기 회전수로 풍량을 조절하며 설치비가 낮은 편이며 효율은 산기식과 비슷한 수준을 가지고 있으나 다량의 슬러지 발생과 겨울철 수온 저하시 효율이 급격히 떨어지며 큰 수 면적이 요구되는 방식으로 4계절 지속효과를 상실한다. 기 제품들이 가지고 있는 문제점들은 소규모 설비 시설에 적용이 부적절한 것으로 보이며 성능적 효율 또한 기대하기 어려울 것으로 보인다. 그 이외에도 이젝터의 특성을 이용하는 방법(파이프 삽입), 여러 단계에 걸쳐 공기와 접촉할 수 있게 하는 구조를 가진 혼합 용기(다단계 믹싱)을 이용하는 방법이 있다[3].

Table 1 Solubility of aeration type

category	Diffused aeration	Mechanical aerator	Underwater aeration
method of operate	<ul style="list-style-type: none"> <li>송풍기로부터 압송된 공기를 저부 산기장치를 통해 기포상으로 분출시켜 선회류를 일으킴</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>폭기조 상층부에 설치하여 회전시킴으로써 저부로부터 혼합액을 상승시킴과 동시에 공기공급</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>수중 교반기와 공기공급 송풍기를 조합시킨 방식, 수중 교반기에 의해 교반부 산소공급</li> </ul> 
Oxygen transfer efficiency <sup>2)</sup> (kg O <sub>2</sub> /hp .hr)	0.82~1.2	0.91~1.14	0.77~1.14
Required power (kWh)	600	780	810
Operation method	선회류식 직류식	수평축식 수직축식	-
Result	가장 많음	다소 적용	적 음
Economics	높 음	중 간	낮 음

\*출처 : (주) 유니테크 자료 “산기식 포기조의 설계”

1) ABS (approching blowe sluice) : 기체 용해 장치의 기체공급에 의한 배관 내 물과 접촉하는 부위

2) kg O<sub>2</sub>/hp .hr : 시간당 1마력의 동력에 의한 산소전달량

기존의 산소 용해수 생산방법 Table 2은 총 5가지 방식이 사용되고 있으며 이 중 가압식 용해기가 가장 많이 사용된다. 기존의 산소 용해 장치에서는 수조 내에 공급되는 산소가 직접 에어 분산기를 통해 분출되는 형태로 용해되는 산소의 양 보다는 부력에 의해 수면위로 상승하여 대기로 이탈해 버리는 산소의 양이 더 많아 산소의 낭비가 심하다는 문제가 있다[4].

Table 2 Advantages and Disadvantages of Dissolution Method

category	Oxygen pressure type dissolver	Falling type dissolver	Pipeline infusion type	pressure air stone	Membrane type
method	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력을 이용하여 동시에 물과 산소를 미립화시켜 강제 용해 및 안정화시키는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>물과 산소를 일정한 용기 내에 투입 시키면서 수압을 이용하여 용해시키는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공급수 pipeline에 산소를 투입하는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세다공성 stone으로 수조에 직접 산소를 투입시키는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>특수 폴리우레탄으로 제작된 초미세 기포발생 장치의 기공을 통해 산소를 발포시키는 방식</li> </ul>
Strength	<ul style="list-style-type: none"> <li>과포화상태에서도 최대용해율 실현</li> <li>용해된산소가 매우 안정적임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기계가격이 저렴</li> <li>고압에어스톤에 비해 용해율이 다소 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치가 간단</li> <li>설치비용이 들지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치가 간단</li> <li>저렴한 가격</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>초미세 기포 생성 가능</li> <li>설치가 간단</li> </ul>
Fault	<ul style="list-style-type: none"> <li>시설비용이 고가이며 정확한 설계기준이 필요함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>용해율 불규칙</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>파이프가 짧거나 수압이 낮을 경우 용해율 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>용해율이 낮음</li> <li>산소 낭비율 큼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>산기관 고가</li> <li>액체 내 기체 불균형 용해</li> </ul>
Dissolution rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>40~50%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>20~40%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10~20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5~10%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>25~35%</li> </ul>

\*출처 : ㈜ 유니테크 자료 “산기식 포기조의 설계”

일반적으로 양식장의 산소 용해수의 생산 방법은 산소를 가압시켜 강제 용해시키는 방법을 사용하고 있으며 사용 목적에 따라 산소량을 조절한다. 이러한 방법을 이용한 대용량 용액 생산기는 저장탱크가 매우 크고 가압력이 높을 뿐 아니라 산소집기, 취수저장탱크, 고농도 산소 저장탱크 등 복잡한 구조를 가지고 있으며 별도의 장비 운용 전문가가 필요로 하다. 그러나 대규모 사업장이나 대기업과 같은 규모가 큰 산업체에서는 용해수 생산기의 효율이 높아 예산과 공간에 대한 문제점을 감수하면서도 위와 같은 기체 용해수 장치를 사용하고 있다. 반면 소규모 사업자와 중소기업의 경우 감당하기 힘든 조건이며 타 기관에서 지원을 받고 설치하더라도 이를 유지/보수하는 것 또한 어려운 실정이다. 그리고 기존의 산소 용존법(폭기방식)은 동력소모가 많아 투자비용 대비 경제성이 낮다[5,6].

본 연구는 간극 크기에 따른 산소의 조밀도와 유체의 난류 발생으로 인한 혼합을 효과적으로 일으켜 물의 기체 용존량을 높이기 위한 이젝터 개발에 대한 것으로 이젝터 제작을 통한 실험적 연구와 전산해석을 통한 검증 및 검토를 실시하였다.

본 논문은 5장으로 구성 되었으며 각장의 내용을 요약하면 다음과 같다. 제 2장에서는 개발한 이젝터의 이론적 배경과 설계, 시스템 구조 설계에 대하여 기술하였다. 제 3장에서는 CFD를 이용하여 이젝터의 최적화 된 설계와 실증실험 시 발생하는 환경적인 요소를 시스템에 입력함으로 이젝터 내부에서 발생하는 유체 유동장의 유속, 압력, Turbulence energy, Turbulence Intensity 데이터와 실증실험 데이터를 비교 기록하였다. 제 4장에서는 실증 실험에 대한 내용과 실제 기록된 데이터를 비교하고 실용성을 판단하기 위한 자료를 기록하였다. 또한 용해된 산소의 소실 실험 데이터를 기록함으로 용해 성능을 판단하기 위한 데이터를 기술하였다. 제 5장에서는 본 연구를 통해 얻어낸 결론을 정리하였다.

## 제 2 장 Ejector 이론적 배경 및 산소 용해 시스템 설계

### 1. 이론적 배경

본 연구는 이젝터 내부 형상에 따른 물의 유동과 산소의 주입량을 조절하여 산소가 물에 용존 되는 상관관계를 찾음으로서 산소 용존도를 크게 개선하는 방법을 개발하는데 있다. 이를 위한 이론적 배경으로 벤츄리 원리와 관 내부 유체 유동을 알기 위한 베르누이 원리, 배관 내부 유체 유동장의 난류발생 정도를 알기 위한  $K-\epsilon$  난류모델을 기반으로 이젝터 내부 압력변화, 유속변화, 난류 발생 정도, 난류에너지 크기를 해석해 보았고, 실증 실험을 통하여 얻어진 용존도 및 용존 능력과 비교하여 상관관계를 도출해 보았다.

#### 1) 벤츄리 원리

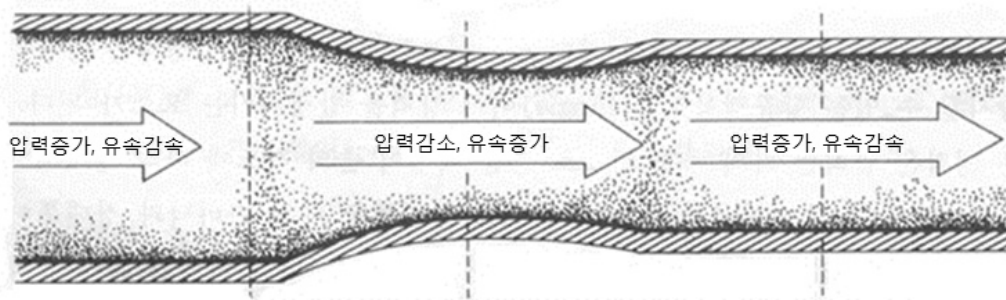


Fig.1 Venturi tube \*출처 : <http://m.blog.daum.net/flyingip/10185001>



베르누이 원리는 관내를 유동하는 유체가 좁아지는 유입관으로 유입되면서 운동 에너지가 압력에너지로 변환되고 다시 넓어지는 관으로 토출되면서 변환되었던 압력 에너지만큼 운동 에너지로 변환되는 원리이다. 이 원리는 에너지 보존 법칙에 따라 운동에너지의 증가만큼 압력이 감소되고 압력의 증가만큼 운동에너지의 감소를 뜻한다. [7] 본 논문에서는 베르누이 관 형상에 따른 압력변화와 유속이 변화하는 특성을 활용하여 산소 용해 방법에 적용하였으며 이는 베르누이 원리로 증명할 수 있다.

## 2) 베르누이 원리 이론

베르누이 방정식은 이상유체에 대하여, 유체에 가해지는 일이 없는 경우에 대해, 유체의 속도와 압력, 위치에너지의 상관관계를 나타낸 식이다. 베르누이 방정식은 유동 유체에 대하여 유선 상에서 모든 형태의 에너지의 합은 항상 일정하다는 점을 나타내며 비압축성 유동에 대해서 액체의 밀도가 일정하다고 가정한 후 에너지의 상관관계식에 의해 유도된다. [7] 베르누이 방정식을 적용하기 위해서는 다음과 같은 4가지 특성을 가정 하에 증명 할 수 있다.

- 유체는 비압축성이어야 하며, 이는 압력이 변하는 경우에도 밀도가 변하지 않아야 한다.
- 유선이 경계층을 통과하여서는 안 된다.
- 점성력이 존재하지 않아야 한다.
- 시간에 대한 변화가 없어야 한다.

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = \text{constant} \quad (2.1)$$

여기서  $v$  : 유동 속도,  $g$  : 중력가속도,  $h$  : 기준면의 높이,  $p$  : 압력,  $\rho$  : 유체의 밀도 이다.

본 기술개발에 적용되는 벤츄리 관 형상에서는 베르누이 방정식의 높이  $h$ 와 중력  $g$ 이 평면상에 있으므로 중력과 높이는 무시한다. 본 기술개발에서는 벤츄리 관 형태의 이젝터를 사용함에 따라 다음과 같이 벤츄리 형태에서의 베르누이 방정식을 대입하여 이젝터 내부의 속도와 압력에 대한 상관관계를 알 수 있다.

### 3) 층류와 난류 구분하기 위한 레이놀즈수

$K-\epsilon$  난류모델을 실행하기 전 유동의 층류와 난류의 구분이 필요하다. 유동의 층류와 난류로 전이되는 지점에서의 수를 임계 레이놀즈수라 하며 계산되어진 임계수가 2,000 이하는 층류이며 4000 초과 시 난류로 분류된다. [8] 다음과 같이 임계 레이놀즈수를 이용하여 이젝터 내부에서 유동이 층류인지 난류인지 판별이 가능하며 다음과 같은 계산으로 본 과제의 유동이 난류라고 증명 할 수 있었다.

$$Re = \frac{\rho v_s^2 / L}{\mu v_s / L} = \frac{\rho v_s L}{\mu} = \frac{v_s L}{\nu} = \frac{\text{Inertial forces}}{\text{viscous forces}} \quad (2.2)$$

여기서  $v_s$  : 유동의 평균속도,  $L$  : 파이프 지름,  $\mu$  : 유체 점성 계수,  $\nu$  : 유체의 동점계수,  $\rho$  : 유체의 밀도 이다.

### 4) $K-\epsilon$ 난류모델 이론

비행기 날개를 비롯한 물속에서의 선박주변의 유동, 엔진 내부 속 유동, 골프공 주변의 공기 유동 등 주변에서 볼 수 있는 난류는 정확한 이해가 필요하지만 난류를 정확히 정의하고 이해하는 것은 상당히 어려운 일이다. 다음과 같이 대략적인 난류유동의 특성을 통해 난류에 대한 정의를 어느 정도 할 수 있다.

- 매우 불규칙적이고 임의성이 강함
- 강한 확산 특성을 가짐
- 레이놀즈수가 높은 곳에서 발생함
- 3차원 특성을 가지며 변동량이 큼
- 강한 소산특성을 가짐
- 연속체 특성을 가짐

일반적인 난류모델 이론으로는  $k-\varepsilon$  과  $k-\omega$  모델과 같은 두가지 난류모델이 있으나  $k-\omega$  모델은 유동 박리 현상을 예측하는데 사용하기 때문에 본 개발 연구에서는  $k-\varepsilon$  모델을 선정하여 해석하였다. [8, 9, 10] 난류 수치 시뮬레이션은 기상예보나 자동차등의 공력설계 등 매우 폭넓게 이용 되고 있으나 시뮬레이션을 위해서는 수많은 계산 양과 많은 시간을 요구하고 있기 때문에 본 개발에서는 난류 해석을 위해 컴퓨터를 이용한 CFD 시뮬레이션 ANSYS FLUENT를 사용하여 해석하였다. 난류운동에너지  $k$ 와 표준  $k-\varepsilon$  모델의 방정식은 다음과 같다.

◦  $k$  방정식

$$\rho \left( \frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = R_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \frac{\partial k}{\partial x_j} - \frac{1}{2} \overline{\rho u_i u_i u_j} - \overline{p' u_j} \right] \quad (2.3)$$

◦  $k-\varepsilon$  모델 방정식

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t S^2 - \rho \varepsilon - g_i \frac{\mu_t}{\rho Pr_t} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} - \rho \varepsilon 2 \frac{k}{\gamma RT} \quad (2.4)$$

여기서  $\frac{DK}{DT}$  : 유체 내 난류 운동에너지의 평균 미분,  $\mu$  : 점성계수,  $\sigma$  : 표면장력  $\theta$  : 편미분,  $\rho$  : 유체의 밀도,  $g$  : 중력 가속도,  $\varepsilon$  : 소산율 이다.

## 5) 스톡스의 원리

유체가 물체에 가하는 마찰력을 나타내는 원리를 뜻하며 물체가 그 무게에 의해 유체 속에서 낙하하고 있는 경우라면 부력과 마찰력의 합이 중력과 같아질 때 종단 속도에 도달하며, 종단속도는 다음 식에 의해 해석할 수 있다. 물체가 가지고 있는 부피가 유체 내에서 부력을 발생시키지만 물체의 밀도와 물체의 응력, 유체의 점성계수, 유체의 밀도에 의하여 유체 내에 장시간 정체 될 수 있다[11, 12, 13]. 스톡스의 원리는 다음과 같은 조건을 가정하여 유도된다.

- 낮은 레이놀즈수의 층류
- 균일한 구형 입자
- 매끄러운 표면

$$V_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{\eta} \quad (2.5)$$

여기서  $V_s$  : 입자 종단속도 ( $m/s$ ),  $r$  : 스톡스 반경( $m$ ),  $g$  : 중력가속도 ( $m/s^2$ ),  $\rho_p$  : 입자의 밀도 ( $kg/m^3$ ),  $\rho_f$  : 유체의 밀도 ( $kg/m^3$ ),  $\eta$  : 유체의 점성계수 ( $Pa\cdot s$ ) 이다.

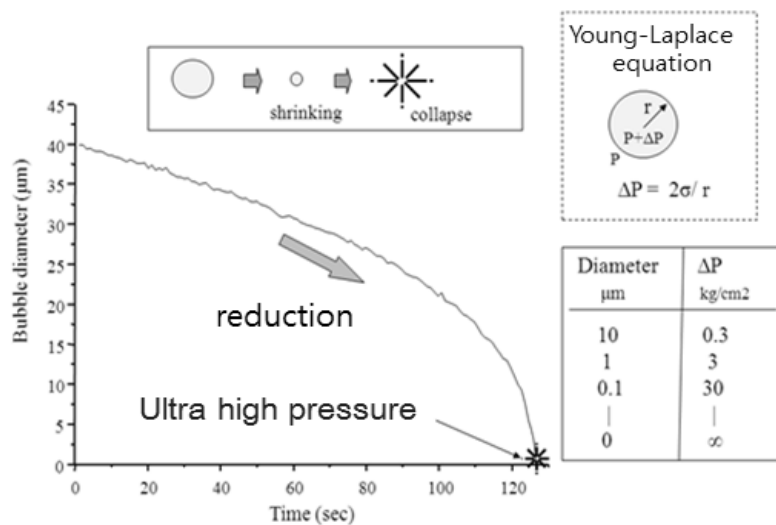
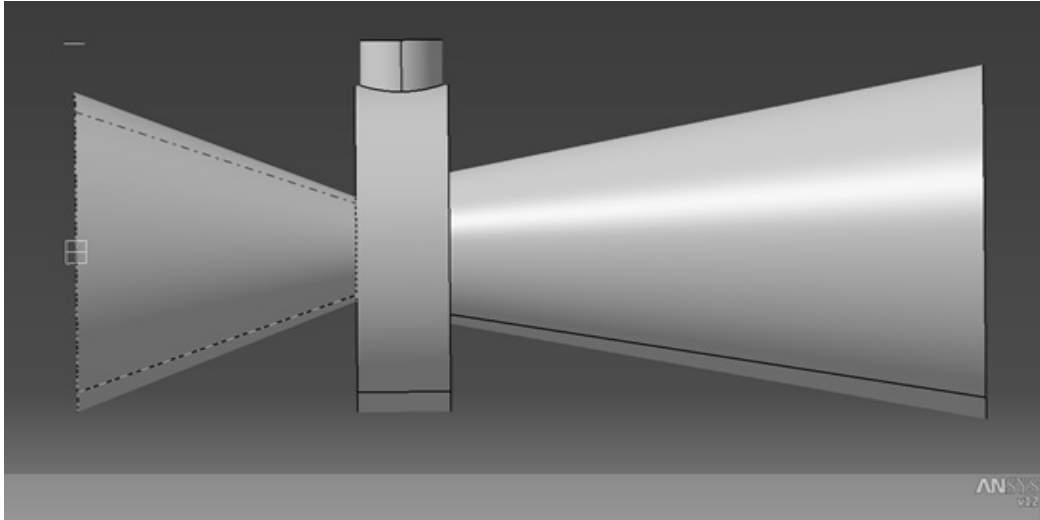


Fig.2 Correlation of bubble size and dissolving time \*출처 : (주) 오투엔

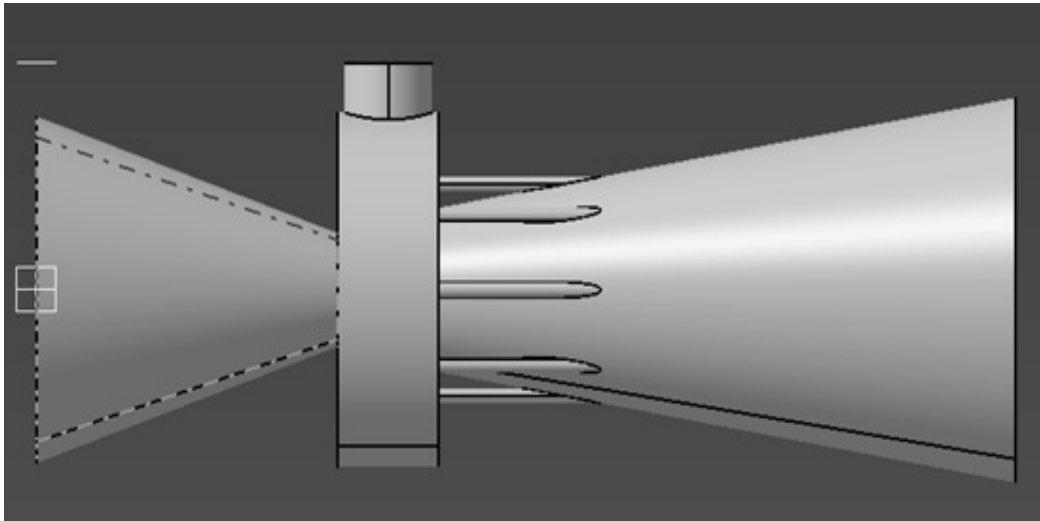
## 2. Ejector 설계

본 연구는 이젝터 입구에서 일정 유속을 갖는 물의 유동을 발생시켜 압력이 저하되는 부분에 산소를 주입함으로써 물과 산소간의 마찰, 이젝터의 벤츄리 효과를 통하여 발생하는 유속, 압력 차이에 따른 산소용해도를 측정하기 위해서다. Fig.2에서 보여주는 바와 같이 부력의 영향을 받지 않는 산소입자의 크기를 가질 경우 수중 내 용해도가 높아진다는 이론을 토대로 산소 주입배관을 설계하였다. 개발된 유동배관 형상의 영향을 받아 부력의 영향을 받지 않는 크기로 미립화됨으로서 수중에서 장시간 정체시킬 수 있다고 예상하였다. [14] 산소주입에 따른 이젝터 내부의 유체유동의 변화와 난류발생 정도를 확인하고 이에 대한 산소용존의 상관관계를 확인하기 위하여 산소주입부에 모세관을 Fig.3 b와 같이 추가 설계/설치하여 측정하였다.

Fig.3에서 c와 d는 설계되어진 이젝터 전체 형상과 단면을 보여주고 있다. 모세관을 적용한 이유는 이젝터 내부의 좁아지는 경계면에 위치한 원통 관을 통하여 주입되는 산소 유로를 세분화함으로써 산소 입자크기를 좀 더 미세하게 만들기 위함이다. 산소입자를 미세한 크기로 만들어줌으로서 물에 흡수될 수 있는 용존 능력을 높여줄 것이라 가정하고 설계하였다.

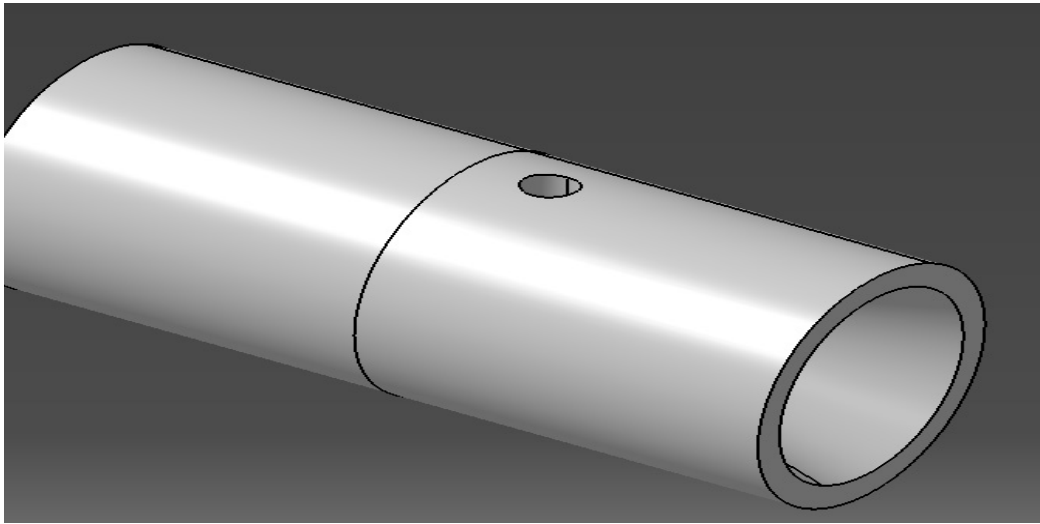


(a) 3D modeling of flow field in Ejector (Without capillary)

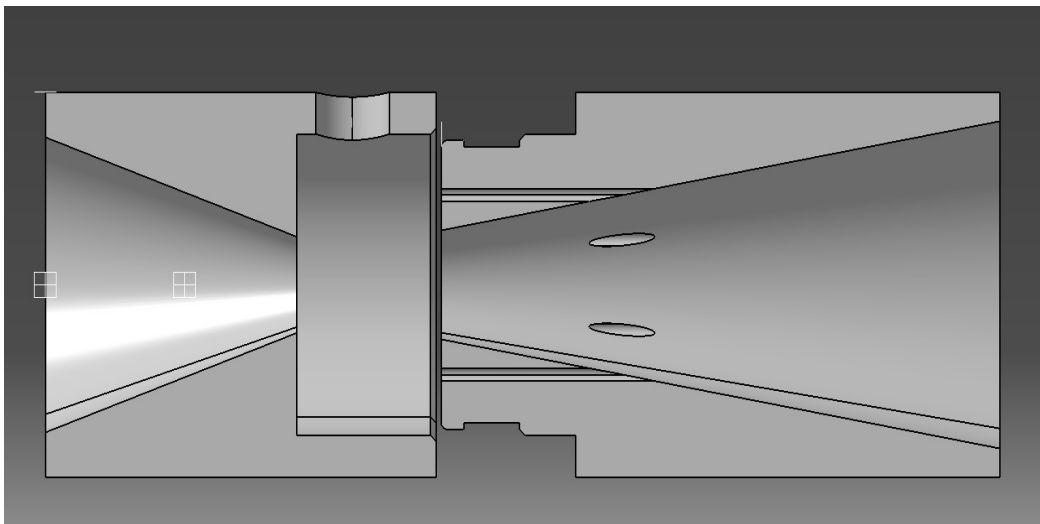


(b) 3D modeling of flow field in Ejector (With capillary))

Fig.3 3D model of fluid flow field and Ejector conformal



(c) Diagonal Drawing of Ejector



(d) Side drawing of Ejector

Fig.4 Ejector conformal, side section

Fig.5은 설계를 토대로 제작한 mock-up으로 이젝터의 설계, 생산, 조립을 테스트 하고 오류발생 유무를 점검하였으며 Fig.6의 A는 산소 주입구의 결합 Gap을 이용하여 만든 간극이며 B는 난류발생을 증대시키기 위한 Tip vortex 형상을 나타낸다.

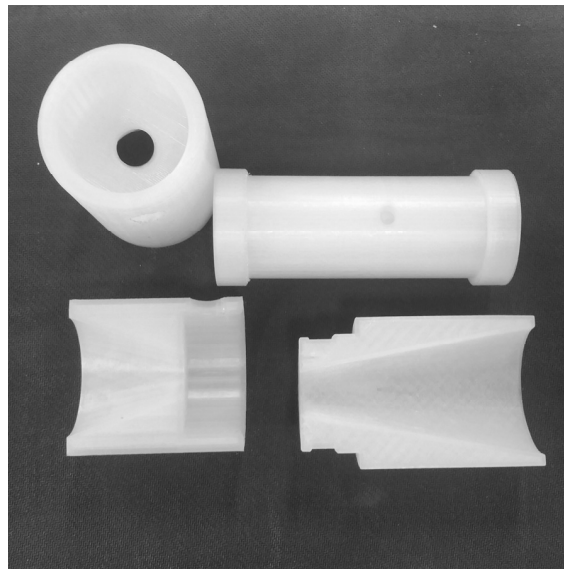


Fig.5 producing rapid prototype for 3D mock-up

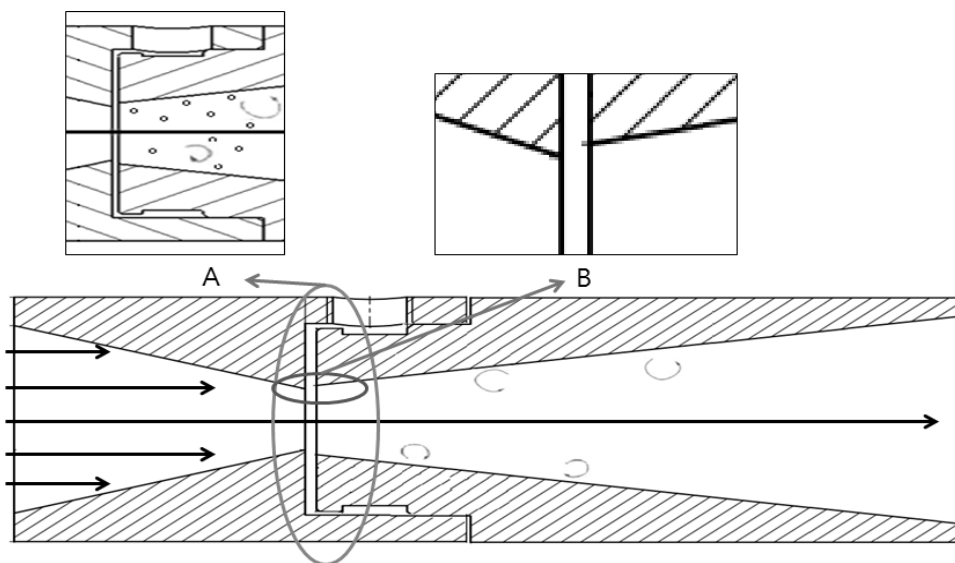


Fig.6 Internal structure for miniaturization oxygen and producing turbulence



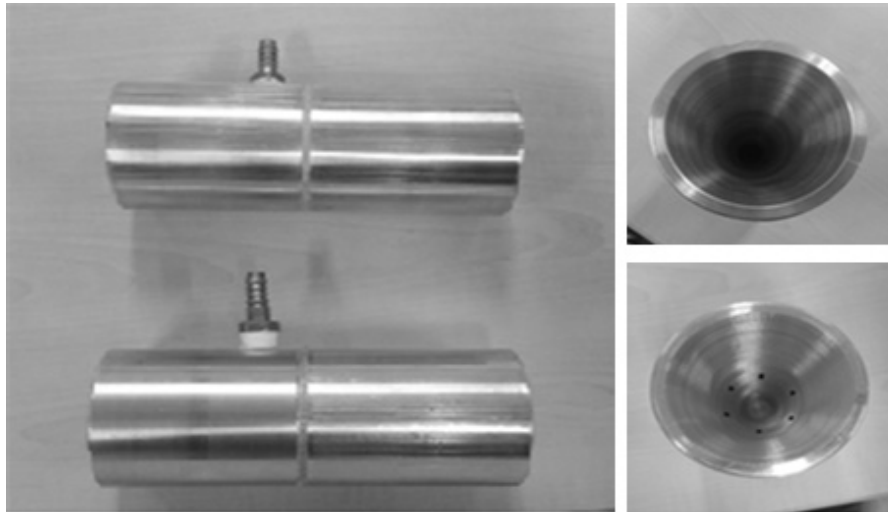


Fig.7 Ejector with a capillary (top) for empirical experiment verification test and Ejector without a capillary (bottom)

### 3. 용해수 생산 시스템 설계

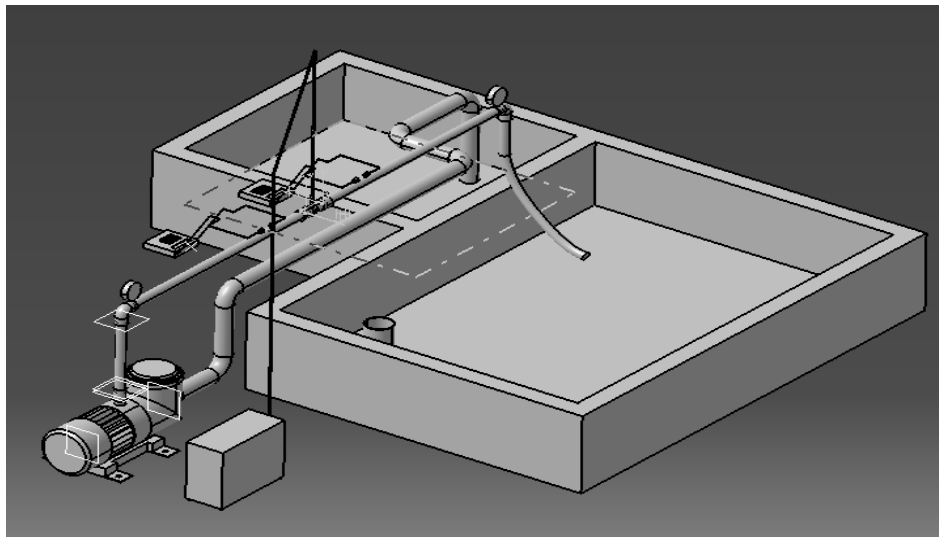


Fig.8 Conceptual diagram of test-bed for verification test

Table 3 Specifications of Ejector Geometry

category	Diameter of inlet and outlet ( mm)	Gap size (mm)	Number of capillaries(EA)/ Surface area(mm <sup>2</sup> )
Without capillary Ejector	50	1.5	-
With capillary Ejector	50	1.5	8ea / 1.767

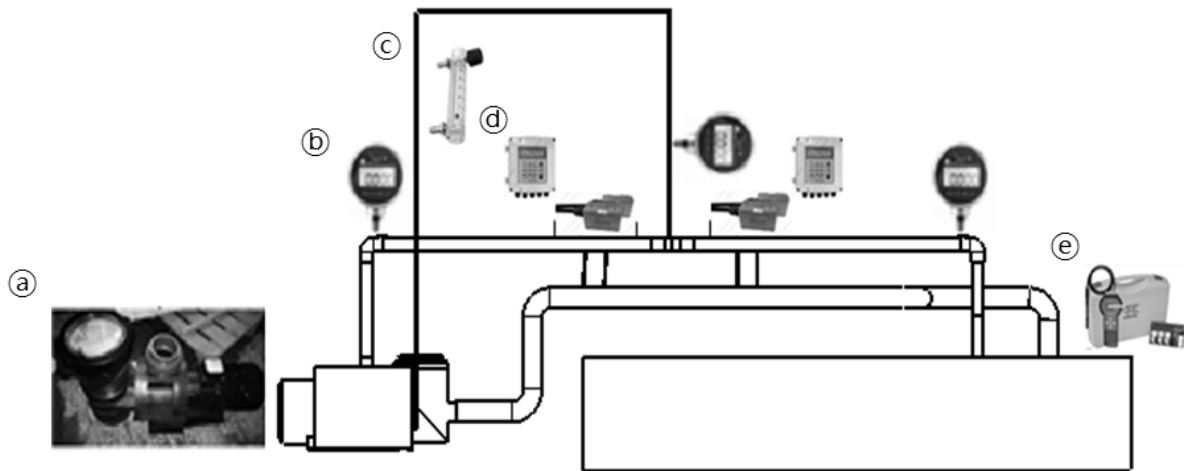


Fig.9 3D test-bed design of Ejector for verification test demonstration experiment

Table 4 Specification of dissolution system for demonstration experiment

picture position	manufacturer	Product type	model name	performance/Measuring range
(a)	ASTRAL PCC	펌프	A.VCTORIA PLUS	26 m <sup>3</sup> /h
(b)	주식회사 피디케이	압력계	PDR500-700KA-N	Absolute 0~700 kPa
(c)	(주) 미래시스템 제공	기체유량계	-	0~10L, 0~80L
(d)	(주) 한국유량계공업	초음파 유량측정기	GSA500	15A ~ 6000A liquid
(e)	Sensortechnik Meinberg (독일)	DO 측정기	AM-40	0ppm ~ 30ppm

본 기술개발에서 개발한 간극 및 다수의 기체유입 통로를 가진 이젝터의 활용성과 응용성을 확보하기 위하여 도내에 쉽게 발굴할 수 있는 육상양식장을 대상으로 산소 용해수 시스템을 구축하였다. 테스트 베드(양어장) 장소의 대기압과 수온, 취수의 상온 산소 농도, 취수 온도 등 환경 조건을 측정하여 테스트 전 사전 기록하였다. 테스트 베드 운용 시 배관 내부에 발생하는 압력과 산소량, 취수 유량, 유속을 측정하여 배관 내부 상태를 기록 및 이상여부를 점검하였다. 개발된 산소용해 이젝터는 Fig.8에서 보는 바와 같이 기본적으로 양수 펌프와 이젝터, PVC관, 산소 공급기로 구성되어 있으며 내경 50mm의 관을 사용하여 이젝터 취수구와 토출구 단면적을 일치시킴으로써 장치 내부에 저항이나 장치 이외의 난류 발생을 최소화 하였다.

## 제 3 장 CFD를 이용한 Ejector 내부의 유동 해석

### 1. 해석이론

이젝터 내부의 유체 유동을 해석하기 위해 ANSYS사의 FLUENT 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이론을 바탕으로 한 모델을 CFD<sup>3)</sup> 해석방법으로 이젝터의 유체 유동을 가시화하여 이젝터 내부의 난류발생정도, 압력분포, 난류에너지를 해석해 보았다. 시뮬레이션 결과로부터 실증실험에 사용할 이젝터의 설계 사양을 산출하기 위해, 시뮬레이션 조건은 실제 양어장에서 물을 공급하는 환경과 일치시켰다. 이젝터 내부로 유입되는 유체가 이젝터 간극의 형상, 크기에 따른 영향을 분석하기 위해 모세관 유무를 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 2차 난류가 발생할 것으로 예상되는 구역에 모세관을 가진 이젝터에 대해서 시뮬레이션을 실행하였다.

이젝터 형상의 특성을 분석하기 위해 CFD를 이용한 이젝터 내부의 유동 해석을 통하여 기체의 미립화와 난류 형상을 가시화하였다. 또한 시제품을 이용한 실제 고농도 기체 용해수 생산 실증 실험을 통하여 목표한 용해도를 가진 용해수가 생산되는지를 확인하였다. 유동유체의 형상과 기체공급량에 따른 난류 발생 정도와 기체 용해위치를 가시화하였다. CFD 시뮬레이션 정보를 토대로 내부 Tip vortex의 크기와 취수구의 크기를 조절하였다. 3가지의 이젝터 형상의 효율과 내부 발생 현상을 확인하기 위하여 각각의 별도 mesh를 설계 및 적용시켰다. mesh 과정은 3D 형상 모델을 미분화하여 유체의 유동장 영역에서 수학적 알고리즘을 이용한 해석 전처리 과정이다[11, 12].

3) CFD (Computational Fluid Dynamics) : 전산유체역학에 근간한 수학적 지배방정식들을 수치해석적인 방법으로 적용하여 유동, 열 및 물질전달, 화학반응 등을 해석하는 분야

## 2. 시뮬레이션을 위한 유동유체 mesh

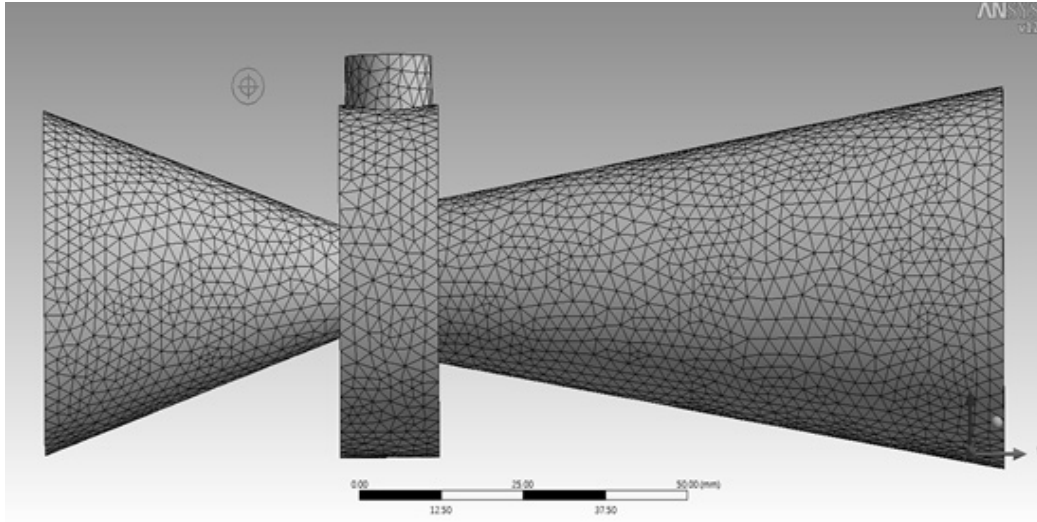


Fig.10 3D model mesh of ejector (without capillary)

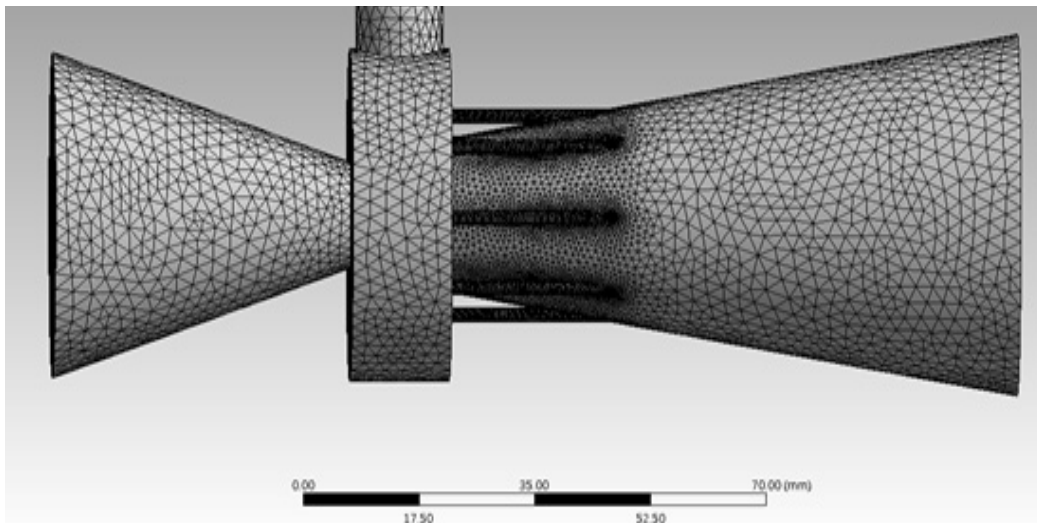


Fig.11 3D model mesh of ejector (with straight capillary)

### 3. CFD 시뮬레이션 유동해석

난류가 가지고 있는 특성으로는 매우 불규칙적이며, 강한 확산의 성질을 가지고 있으며, 3차원적이면서 변동량이 크며, 연속체 특성을 띄고 있다. 이와 같은 난류는 공통적으로 레이놀즈수가 높은 곳에서 발생한다는 점을 가지고 있다. 일반적으로 레이놀즈수는 주어진 유동조건 내에서 발생하는 층류와 난류를 예측하는데 사용하며 CFD에서 난류 해석을 위하여 전체 스케일을 격자점으로 만들어 각각의 mesh에서 레이놀즈 방정식에 적용하여야 한다.

방정식을 적용한 상태에서는 많은 변수와 간섭이 적용되기 때문에 유체와 난류 해석을 전용으로 사용되고 있는 CFD FLUENT를 이젝터 형상에 적용하였다. Mesh는 사전에 모델링된 유동유체 형상을 절점과 요소로 구성한 모델이며 각 단마다 해석하는 물리 방식이 적용되어 부위별로 연계된다.

시뮬레이션 해석을 위해 Mesh 생성은 매우 중요한 과정이며 Mesh 구성 시 유체의 종류, 점성, 압력, 유속 등을 적용하여 해석하고자 하는 유동유체의 정확한 시뮬레이션이 가능하다. 취수의 압력, 유속, 유량, 산소의 농도를 사전에 조사하여 시뮬레이션이 양어장의 환경과 같은 조건을 입력하여 보다 정확한 데이터 결과를 산출하였으며 다음과 같은 조건을 적용하여 CFD 난류해석을 실행하였다. [10]

산소주입량에 따른 이젝터 내부 유동장 영역에서의 난류정도에 관한 시뮬레이션 결과 및 용존도 실험결과 값을 비교하였다. CFD 시뮬레이션을 위한 Input 조건인 물과 산소의 유량, 유속, 압력을 환경조건으로 입력하여 실증 실험과 동등한 상황을 적용하였으며 그 결과는 다음과 같다.

Table 5 Simulation environment of Ejector Geometry

Ejector Condition	shape of Ejector			Condition of simulation		
	Diameter of B (mm)	Gap of B		Pressure of water(kPa)	Water of flow rate (m/s)	Oxygen of flow rate(m/s)
		Size (mm)	Surface area (mm <sup>2</sup> )			
Gap	15	1	7544.93	195	2.9	1.57
	15	1.5	7638.29			2.61
Gap + Capillary	15	1.5	9980.70	195	2.9	1.57
						2.61

1) 모세관이 없는 Ejector의 산소 주입량이 2L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 2L하였을 경우, 측정된 압력 값은 56.70kPa 이고, 유속 값은 0.52m/s이었다. 이 때의 출력단의 유량은 3.90L/s, 압력은 108.20kPa, 유속은 21.58m/s으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류정도는 최소 1.84%, 최대 147.46%, 평균 52.86%으로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 27.33ppm이 확인되었다.

Table 6 Environmental condition of Ejector 2L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
2L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.03	Flow rate (L/s)	3.93
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	0.52	Flow velocity (m/s)	21.58
	Pressure (kPa)	197	Pressure (kPa)	56.7	Pressure (kPa)	108.2

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	용존산소량 (ppm)
2L	Min.	1.84	5.23	27.33
	Max.	147.46		
	Ave.	52.86		

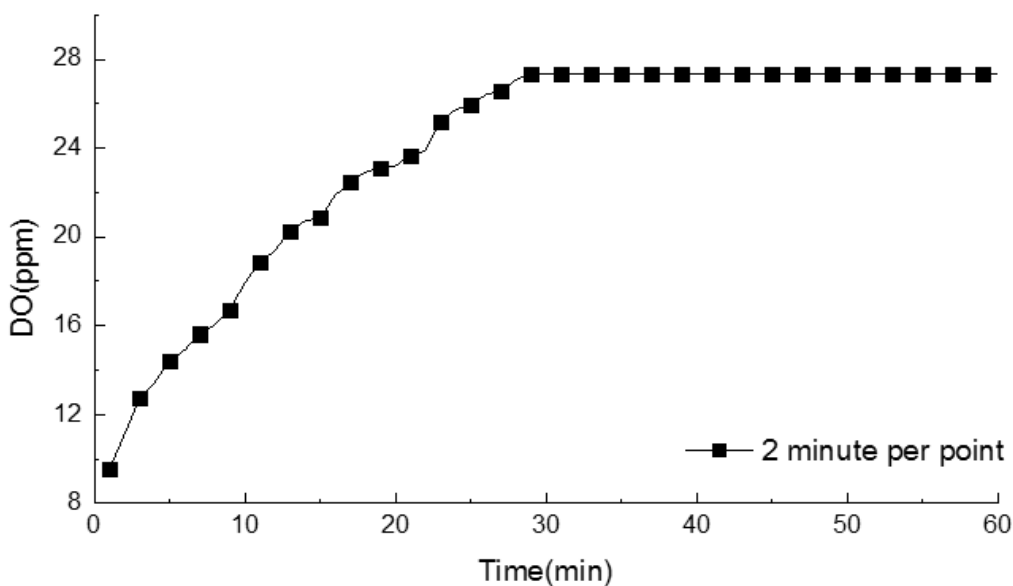
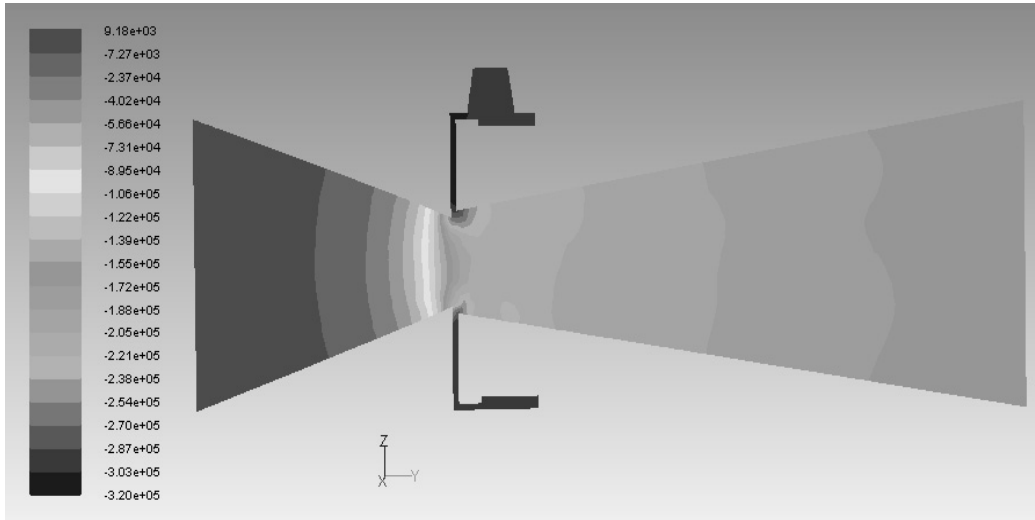
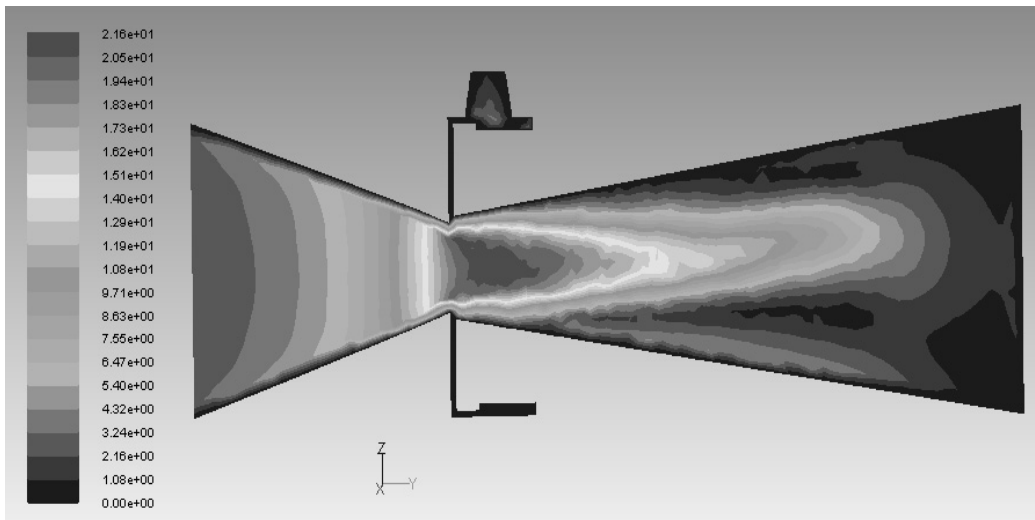


Fig.12 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 2L)



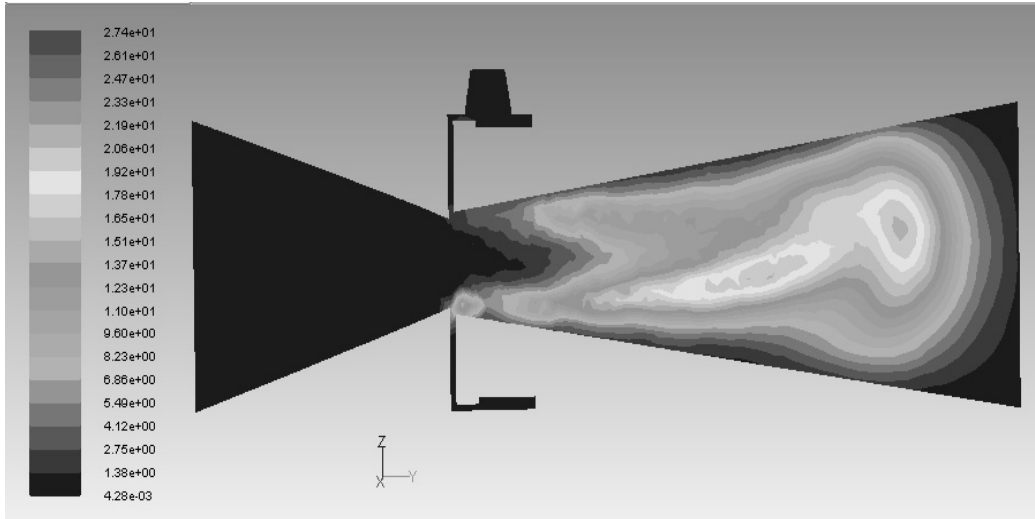
(a) Pressure



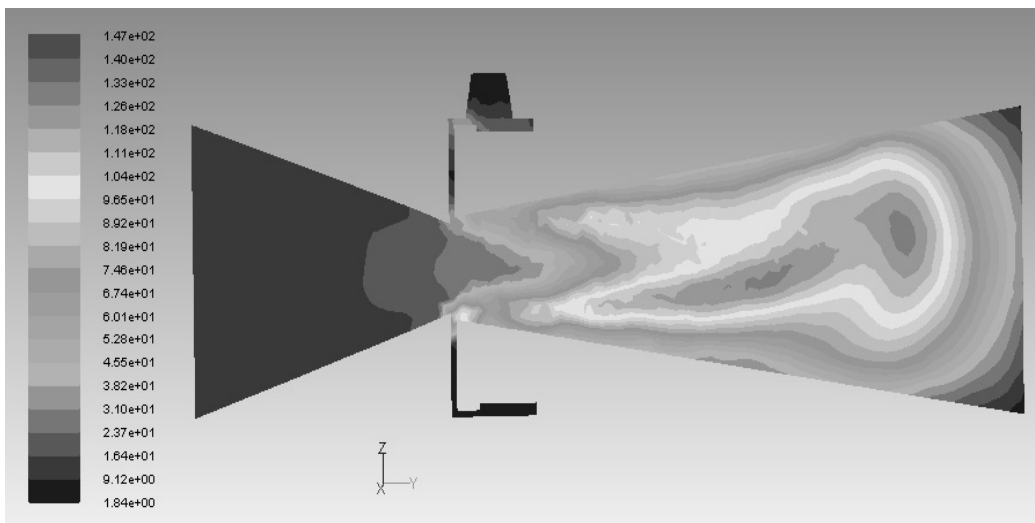
(b) Flow velocity

Fig.13 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 2L)





(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.14 CFD Simulation of Ejector without Capillary Turbulence Energy and Turbulence Strength Result

## 2) 모세관이 없는 Ejector의 산소주입량이 4L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 4L하였을 경우, 측정된 압력 값은 63.60kPa이고, 유속 값은 1.05m/s 이었다. 이 때의 출력단의 유량은 3.96L/s, 압력은 108.00kPa, 유속은 33.09m/s 으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류정도는 최소 1.76%, 최대 144.84%, 평균 51.05%으로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 26.63ppm이 확인되었다.

Table 7 Environmental condition of Ejector 4L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
	4L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.06	Flow rate (L/s)
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	1.05	Flow velocity (m/s)	33.09
	Pressure (kPa)	197.00	Pressure (kPa)	63.60	Pressure (kPa)	108.00

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	용존산소량 (ppm)
	4L	Min.		
	Max.	144.84		
	Ave.	51.05		

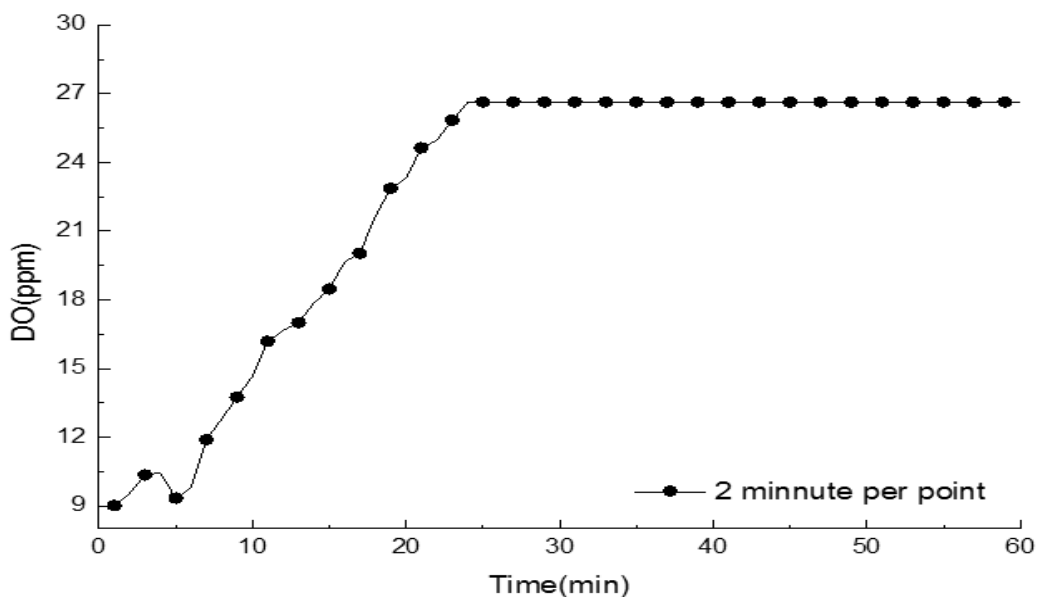
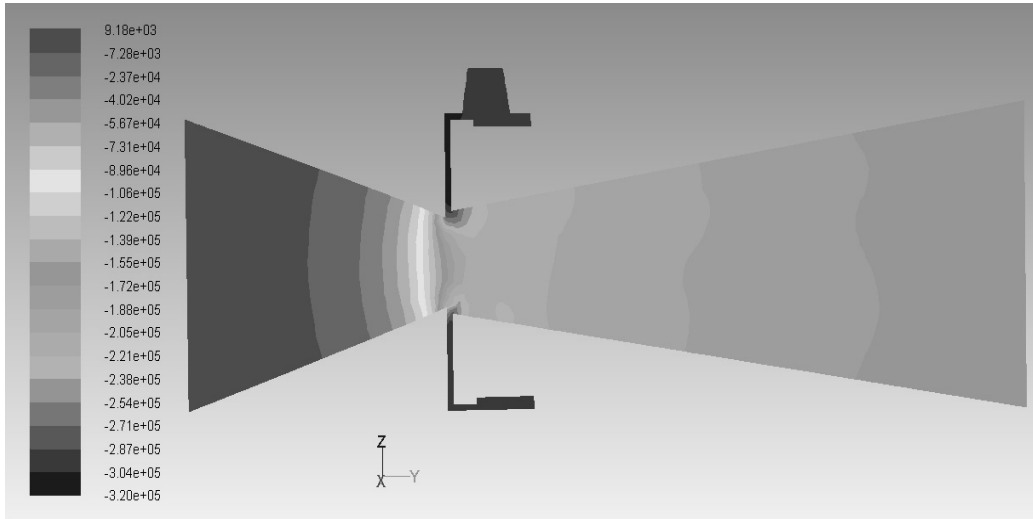
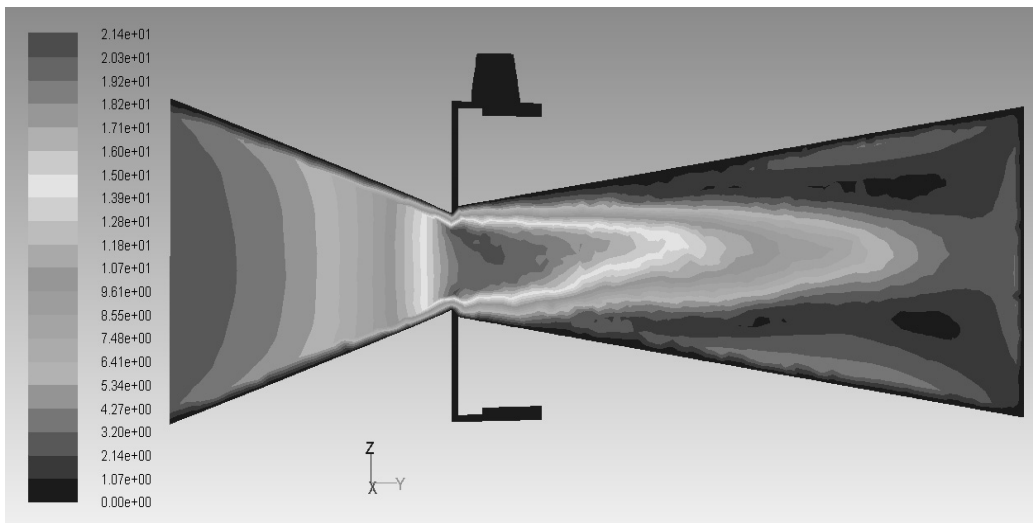


Fig.15 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 4L)

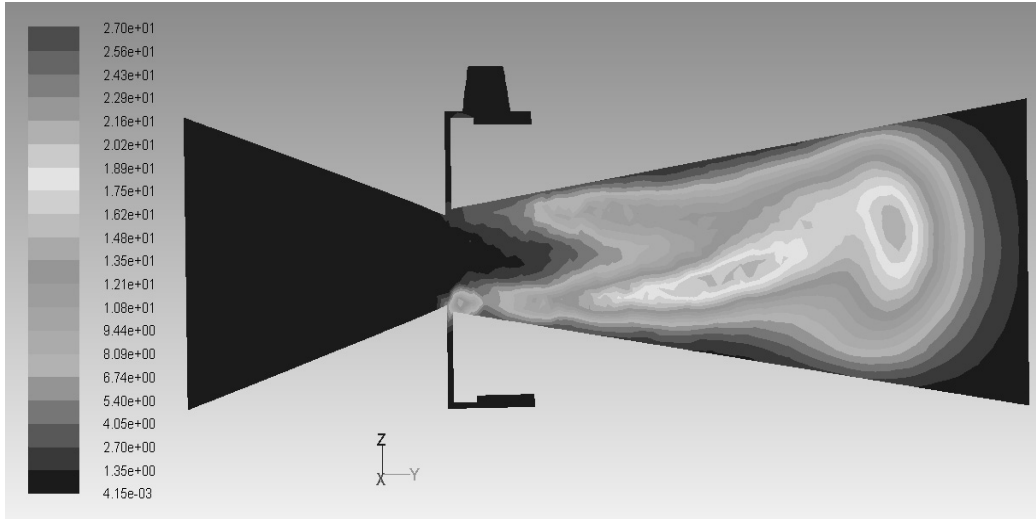


(a) Pressure

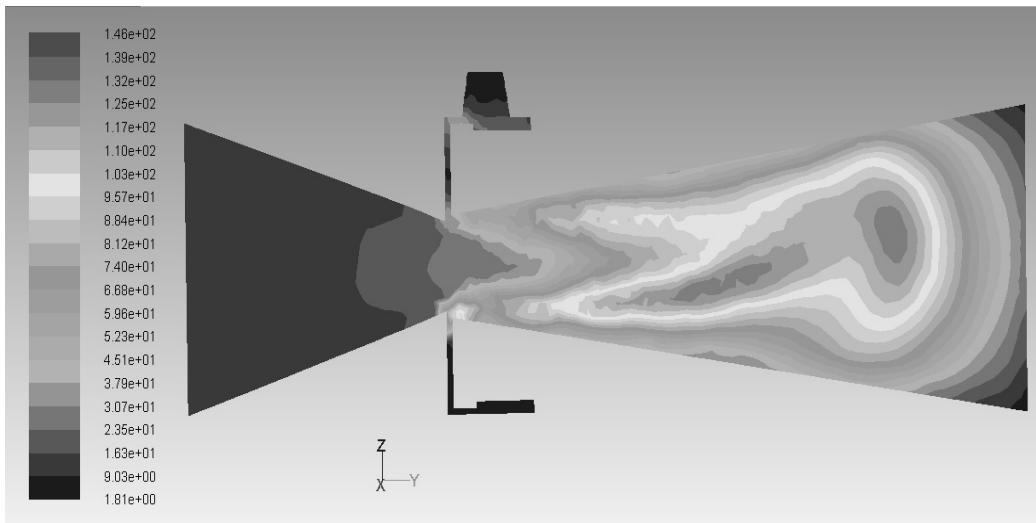


(b) Flow velocity

Fig.16 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 4L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.17 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 4L)

### 3) 모세관이 없는 Ejector의 산소주입량이 6L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 6L하였을 경우, 측정된 압력 값은 66.50kPa이고, 유속 값은 1.57m/s이었다. 이 때의 출력단의 유량은 4.00L/s, 압력은 107.50kPa, 유속은 21.59m/s으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류 정도는 최소 1.70%, 최대 142.92%, 평균 50.76%으로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 28.35ppm이 확인되었다.

Table 8 Environmental condition of Ejector 6L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
	6L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.10	Flow rate (L/s)
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	1.57	Flow velocity (m/s)	21.59
	Pressure (kPa)	194.50	Pressure (kPa)	66.50	Pressure (kPa)	107.50

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	용존산소량 (ppm)
	6L	Min.		
	Max.	142.92		
	Ave.	50.76		

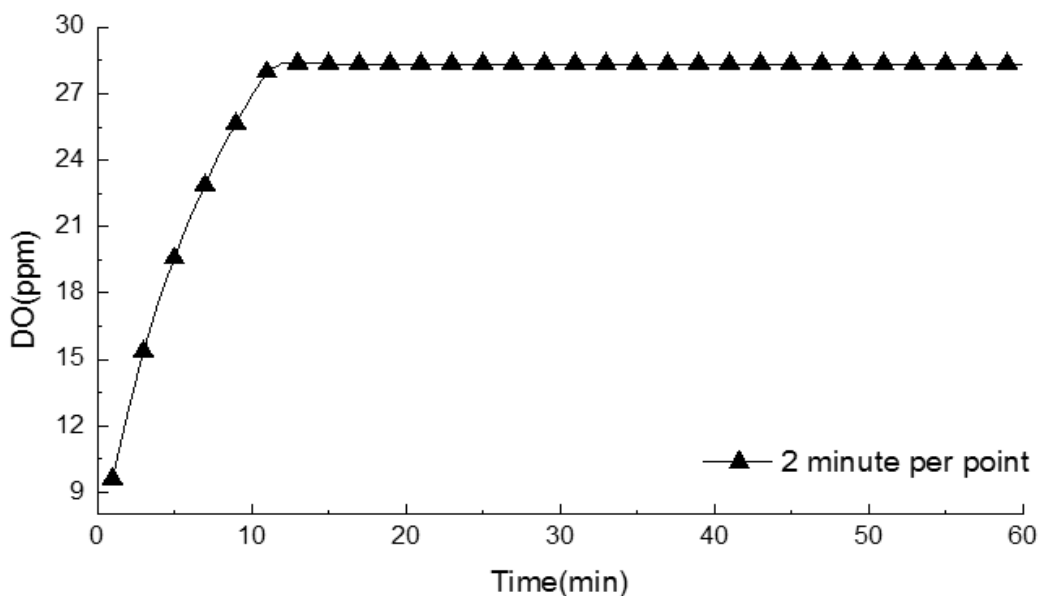
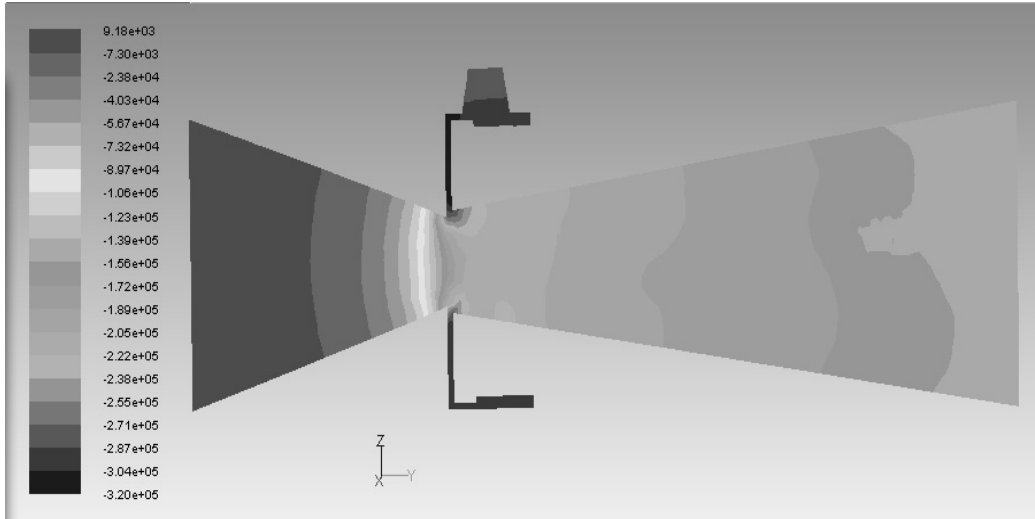
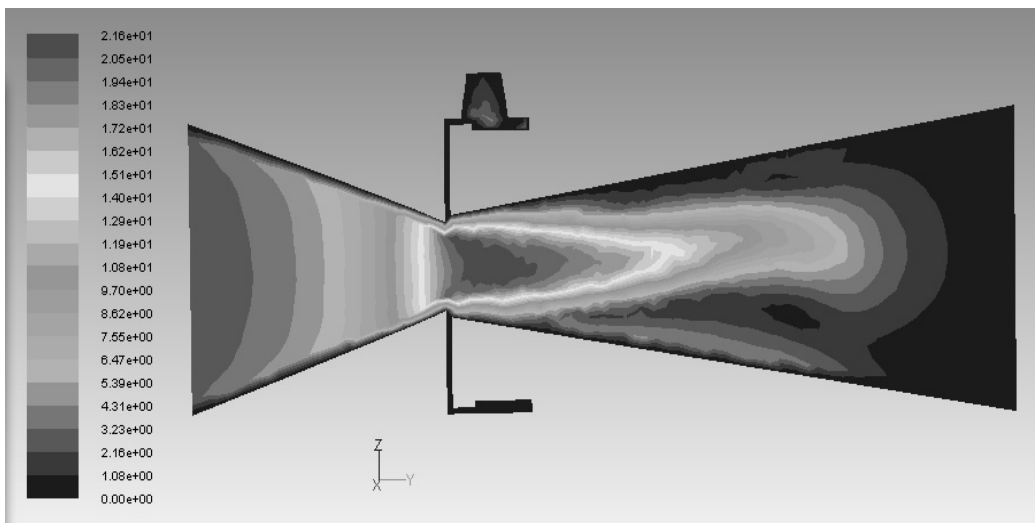


Fig.18 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 6L)

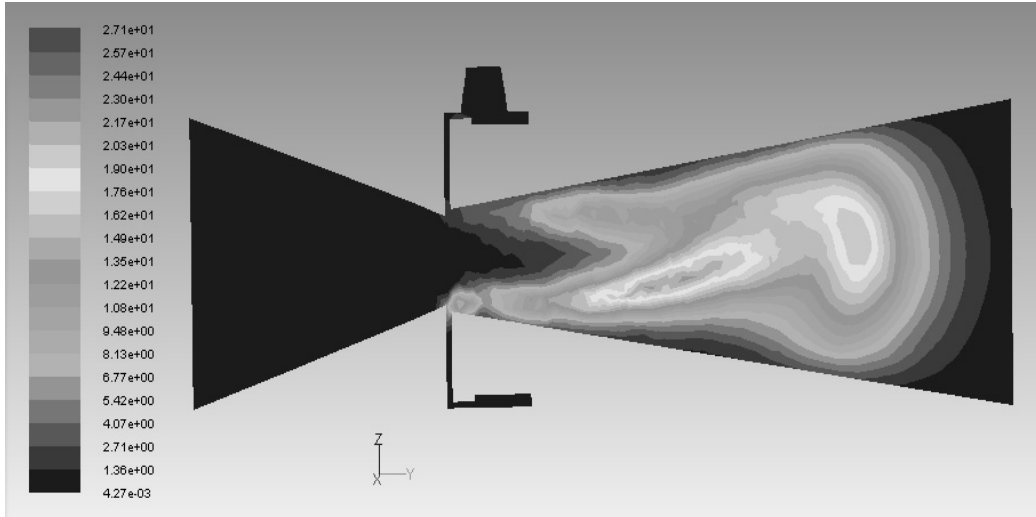


(a) Pressure

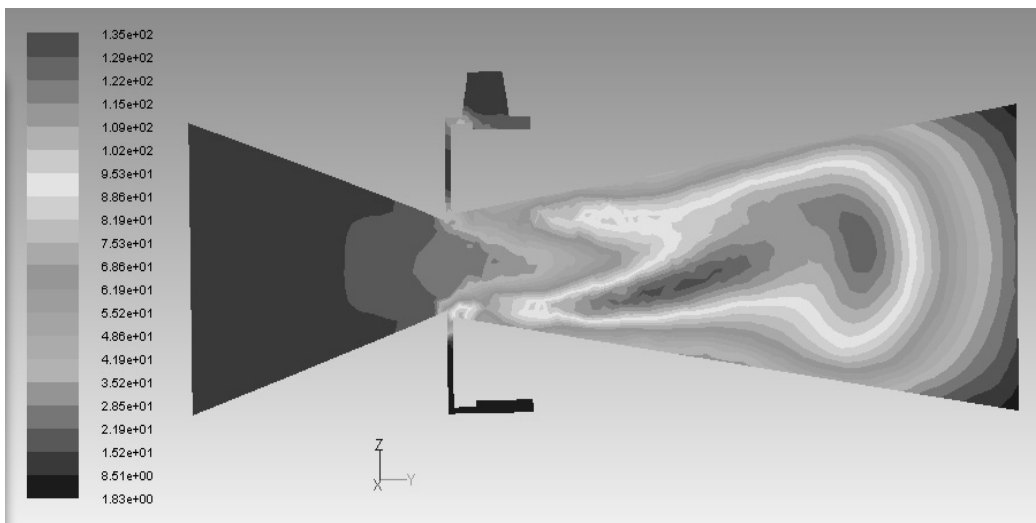


(b) Flow velocity

Fig.19 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 6L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.20 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 6L)

#### 4) 모세관이 없는 Ejector의 산소주입량이 8L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 8L하였을 경우, 측정된 68.80kPa압력 값은 108.00kPa이고, 유속 값은 2.10m/s 이었다. 이 때의 출력단의 유량은 5.20L/s, 압력은 68.80kPa, 유속은 21.56m/s으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류정도는 최소 1.81%, 최대 135.41%, 평균 49.53%으로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 28.42ppm이 확인되었다.

Table 9 Environmental condition of Ejector 8L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
	8L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.13	Flow rate (L/s)
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	2.10	Flow velocity (m/s)	21.56
	Pressure (kPa)	192.50	Pressure (kPa)	68.80	Pressure (kPa)	108.00

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	용존산소량 (ppm)
	8L	Min.		
	Max.	135.41		
	Ave.	49.53		

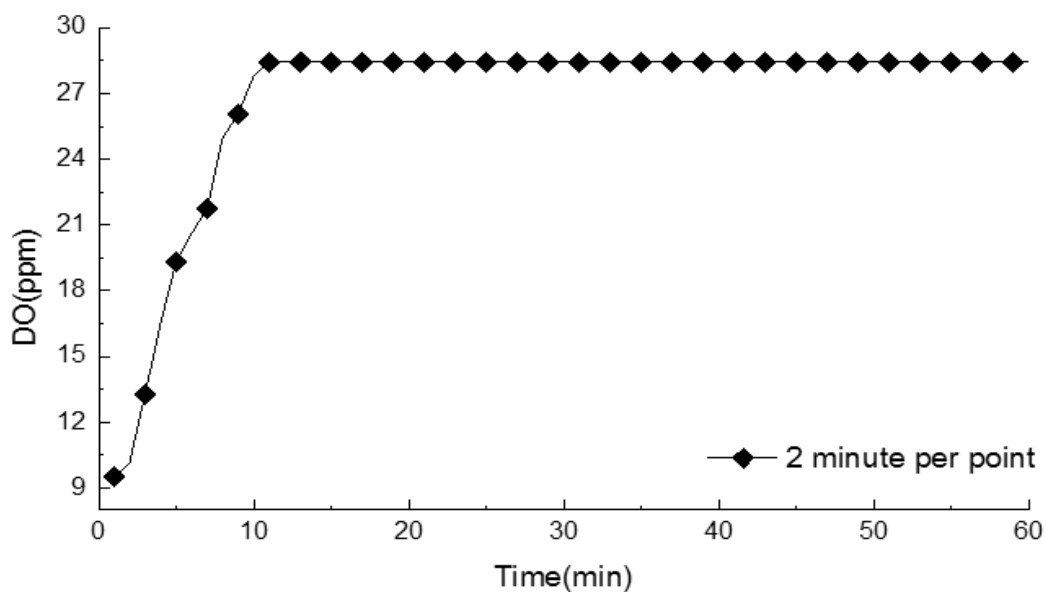
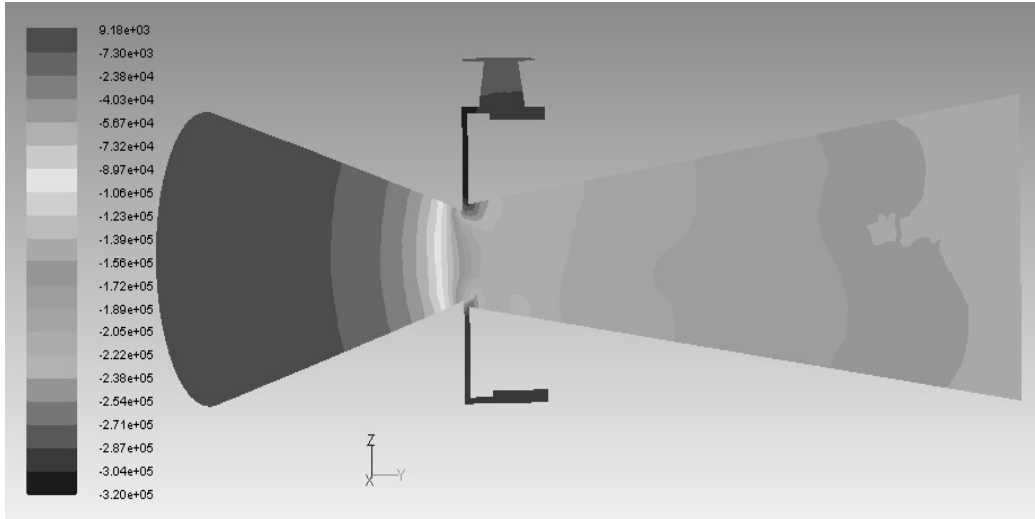
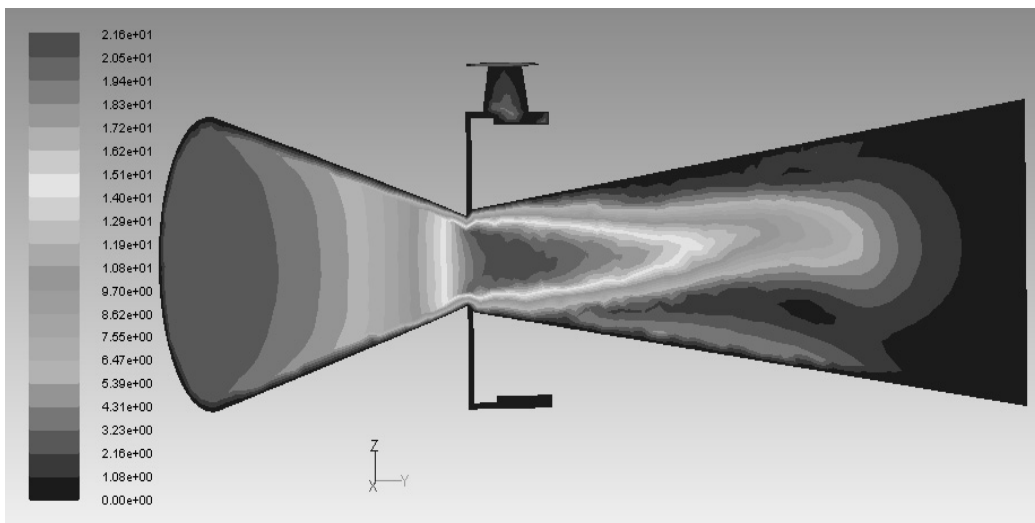


Fig.21 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 8L)



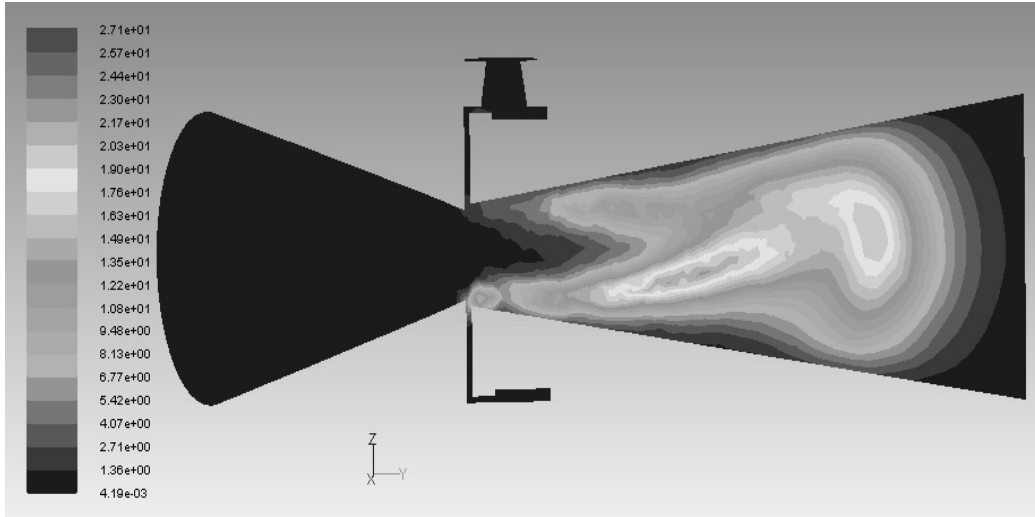


(a) Pressure

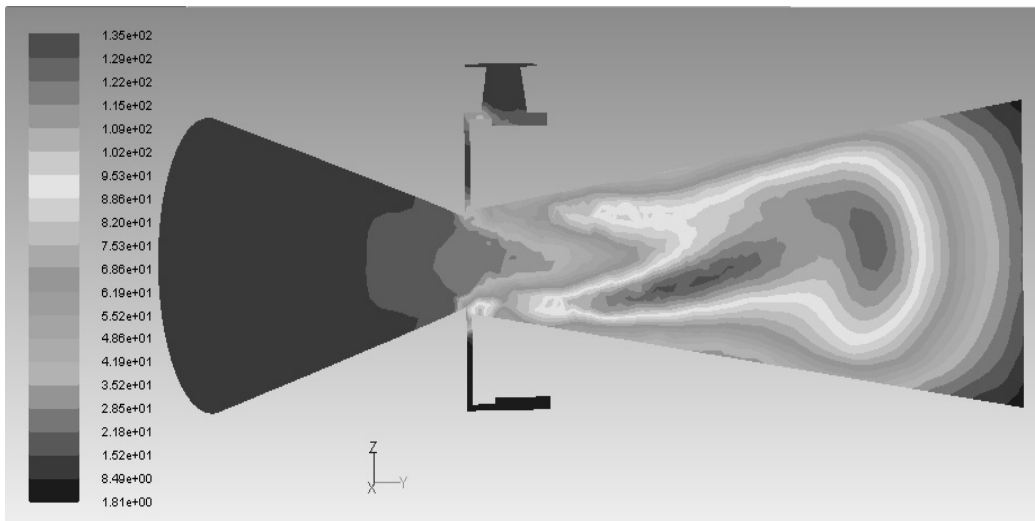


(b) 유속

Fig.22 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 8L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.23 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 8L)

### 5) 모세관이 없는 Ejector의 산소주입량이 10L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 10L하였을 경우, 측정된 압력 값은 68.80kPa이고, 유속 값은 21.56m/s이었다. 이 때의 출력단의 유량은  $4.06m^3/s$ , 압력은 107.80kPa, 유속은 21.58m/s으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류정도는 최소 1.77%, 최대 136.38%, 평균 49.22%으로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 28.42ppm이 확인되었다.

Table 10 Environmental condition of Ejector 10L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
	10L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.16	Flow rate (L/s)
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	2.62	Flow velocity (m/s)	21.58
	Pressure (kPa)	197.20	Pressure (kPa)	71.80	Pressure (kPa)	107.80

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy ( $m^2/s^2$ )	용존산소량 (ppm)
	10L	Min.		
	Max.	136.38		
	Ave.	49.22		

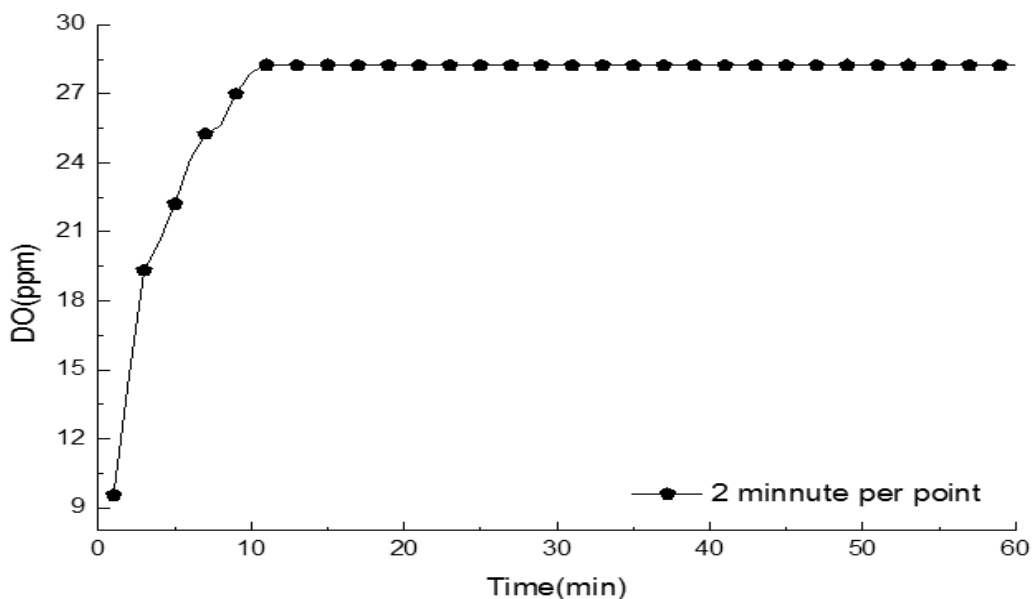
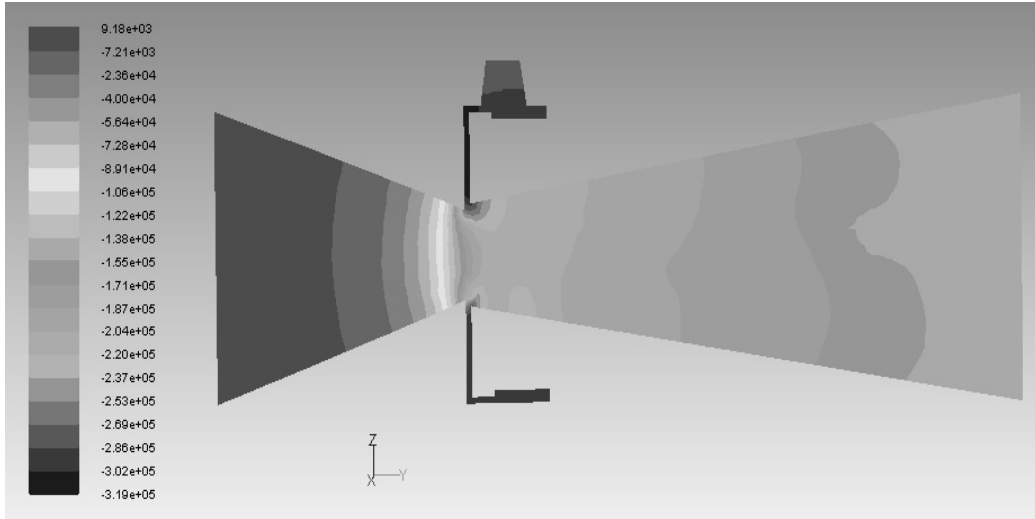
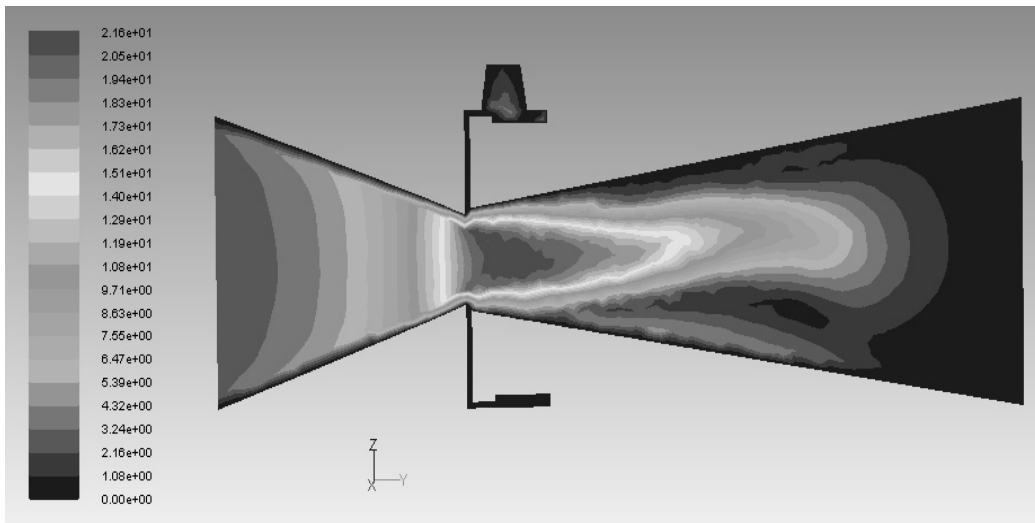


Fig.24 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector without capillary (the amount of injected oxygen : 10L)

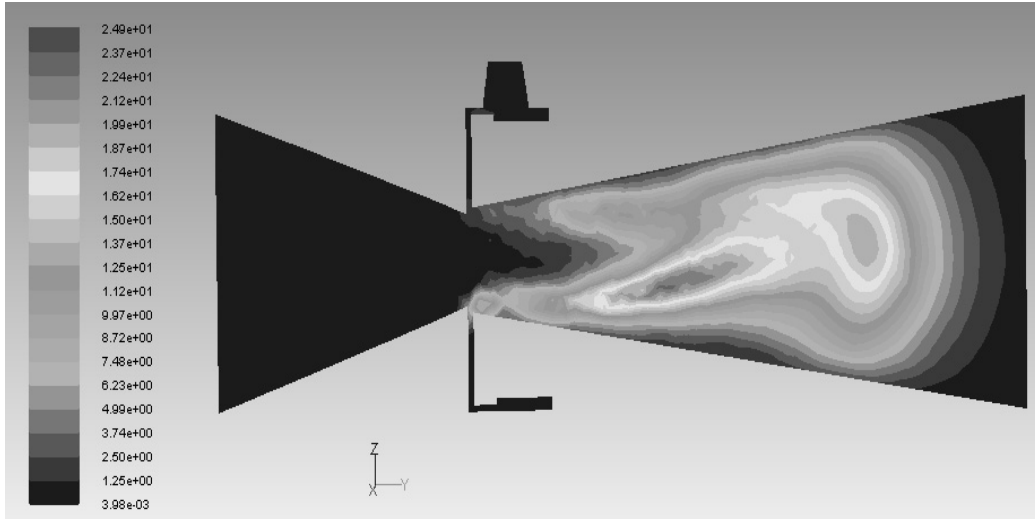


(a) Pressure

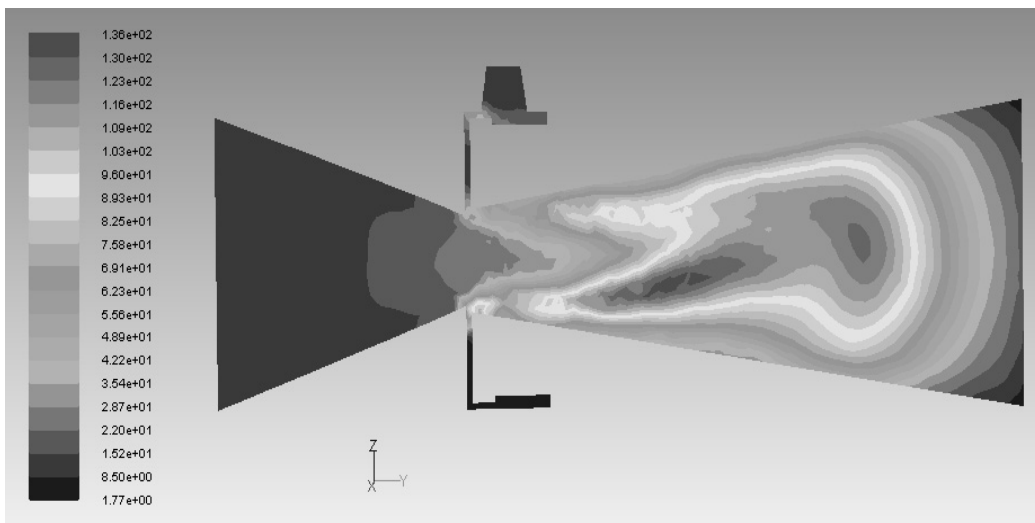


(b) Flow velocity

Fig.25 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Pressure and Flow Velocity : 10L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.26 The CFD simulation result of Ejector without capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 10L)

6) 직선 모세관이 있는 Ejector의 산소주입량이 2L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 2L하였을 경우, 측정된 압력 값은 56.70kPa이고, 유속 값은 0.52m/s 이었다. 이 때의 출력단의 유량은 3.90L/s 압력은 108.20kPa, 유속은 33.03m/s 으 로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류 정도는 최소 2.75%, 최대 626.11%, 평균 225.01%으로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통 하여 얻어진 값으로 27.04ppm이 확인되었다.

Table 11 Environmental condition of Capillary Ejector 2L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
2L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.03	Flow rate (L/s)	3.93
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	0.52	Flow velocity (m/s)	33.03
	Pressure (kPa)	194.60	Pressure (kPa)	56.70	Pressure (kPa)	108.20

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	용존산소량 (ppm)
2L	Min.	2.75	11.35	27.04
	Max.	626.11		
	Ave.	225.01		

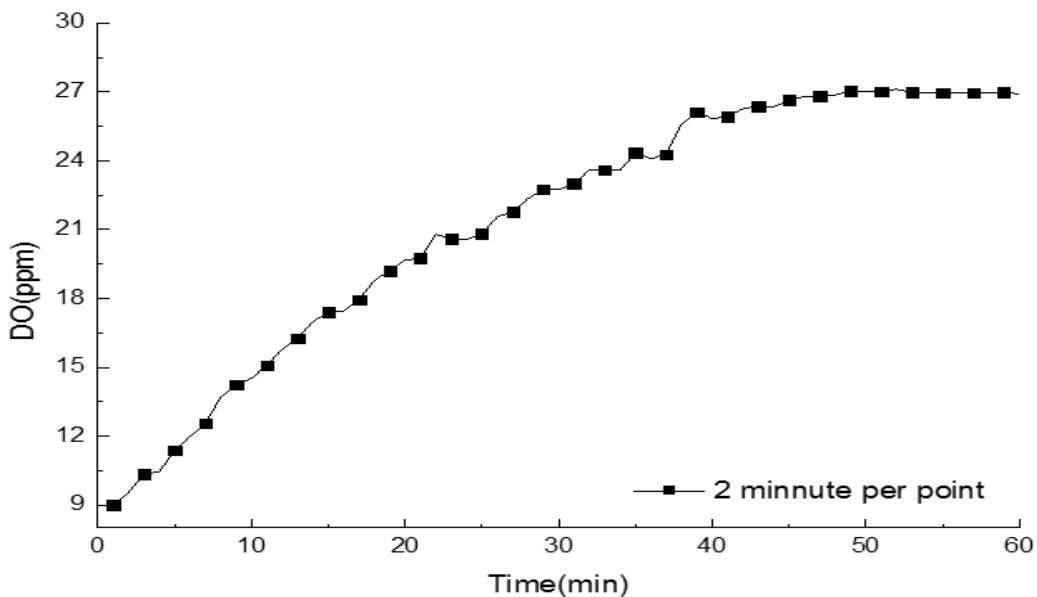
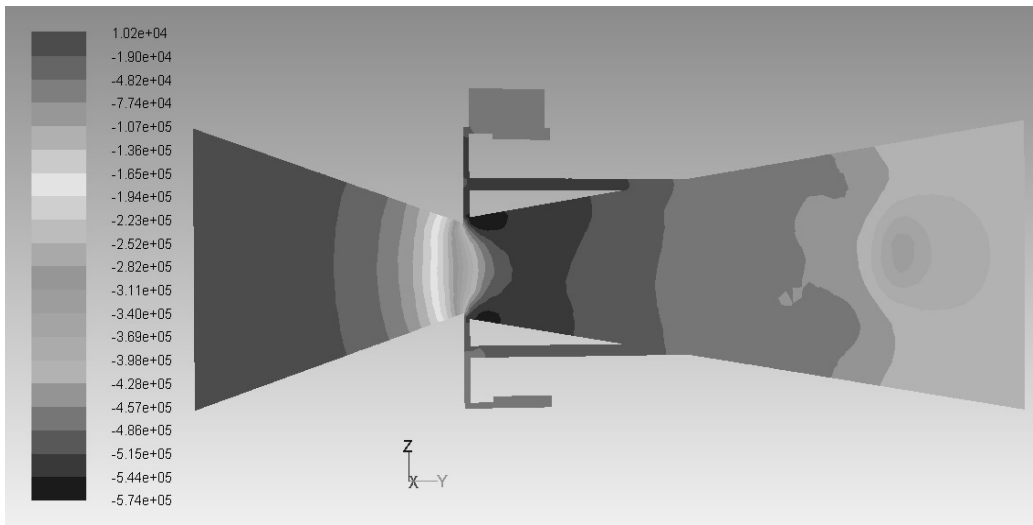
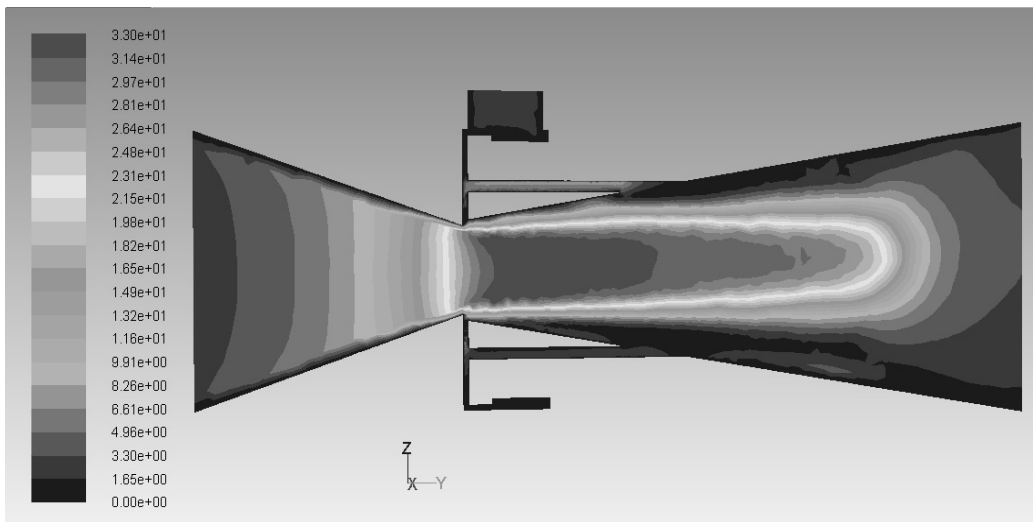


Fig.27 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 2L)

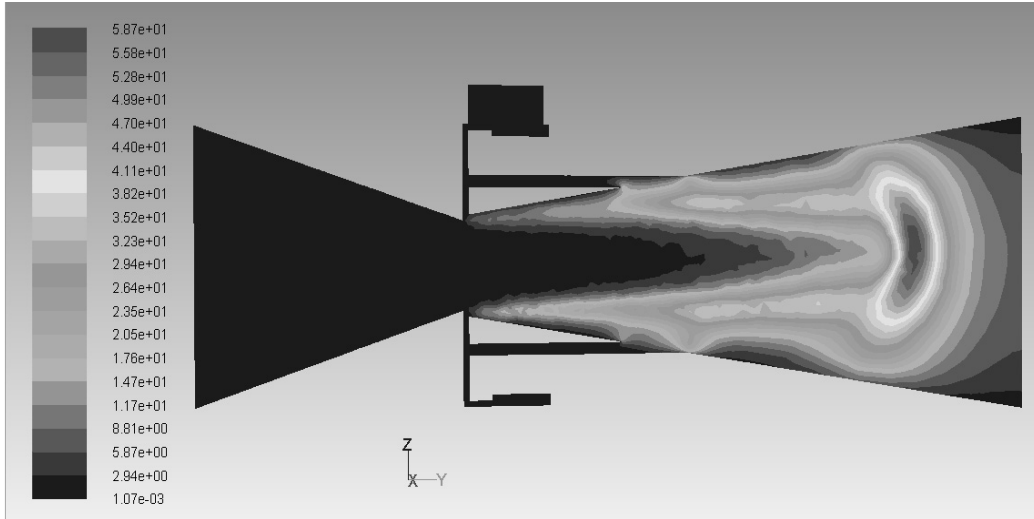


(a) Pressure

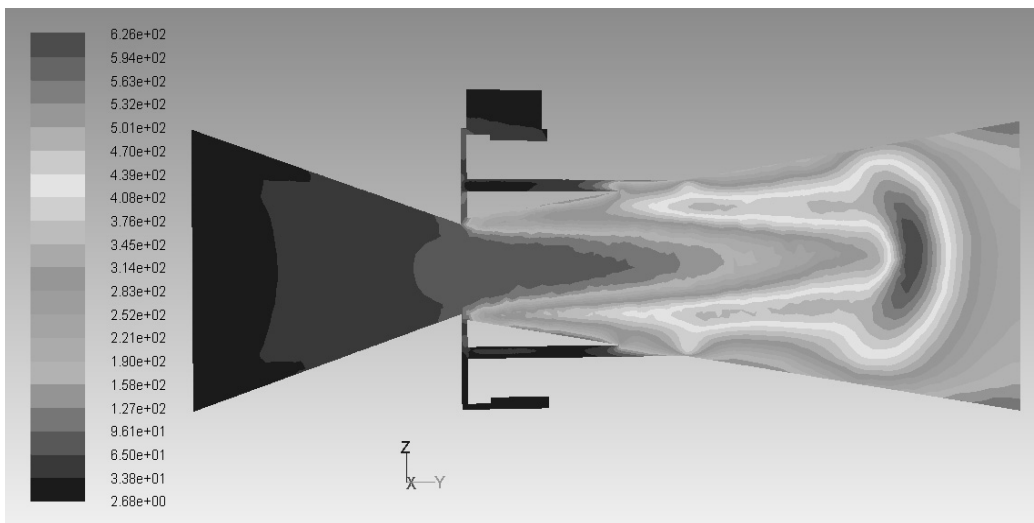


(b) Flow velocity

Fig.28 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 2L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.29 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 2L)



7) 직선 모세관이 있는 Ejector의 산소주입량이 4L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 4L하였을 경우, 측정된 압력 값은 63.60kPa이고, 유속 값은 1.0479m/s 이었다. 이 때의 출력단의 유량은 3.9L/s, 압력은 108.00kPa, 유속은 33.04m/s으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류 정도는 최소 2.59%, 최대 625.64%, 평균 223.09%으로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 26.63ppm이 확인되었다.

Table 12 Environmental condition of Capillary Ejector 4L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
	4L	Flow rate (L/s)	3.9	Flow rate (L/s)	0.06	Flow rate (L/s)
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	1.05	Flow velocity (m/s)	33.04
	Pressure (kPa)	194.30	Pressure (kPa)	63.60	Pressure (kPa)	108.00

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	용존산소량 (ppm)
	4L	Min.		
	Max.	625.64		
	Ave.	223.09		

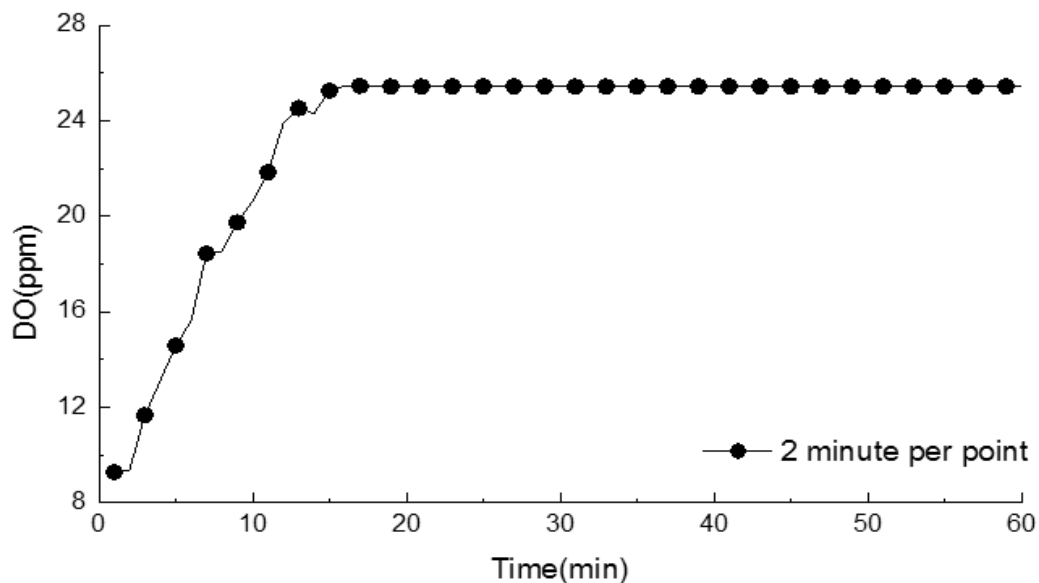
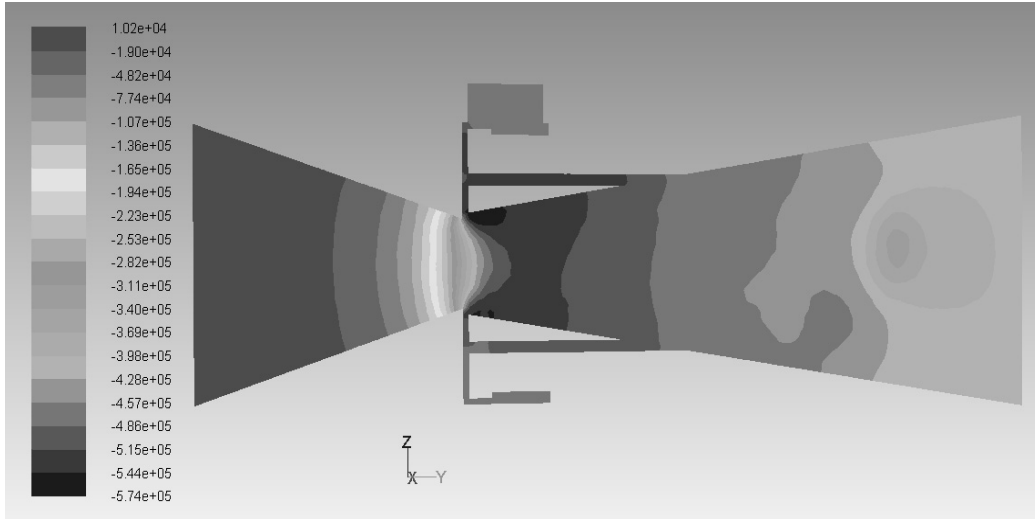
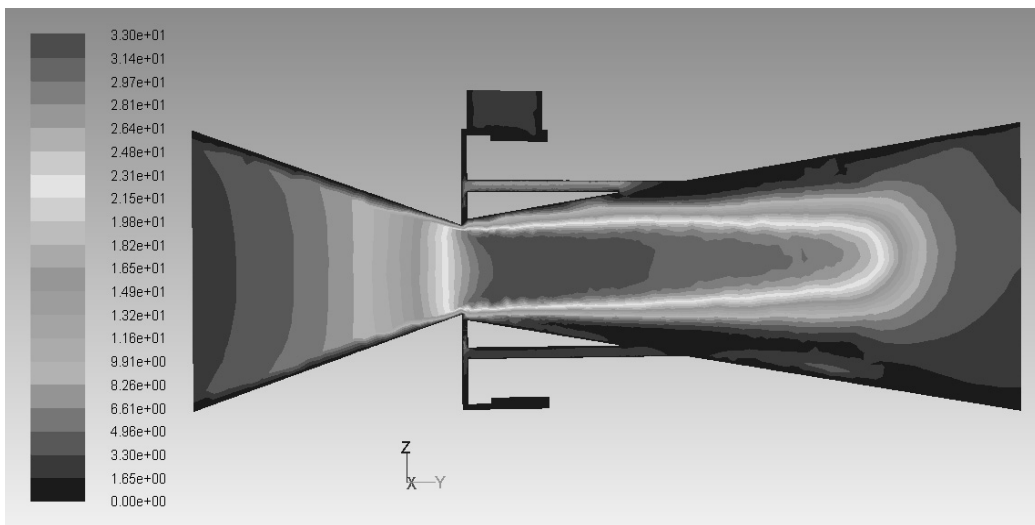


Fig.30 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 4L)

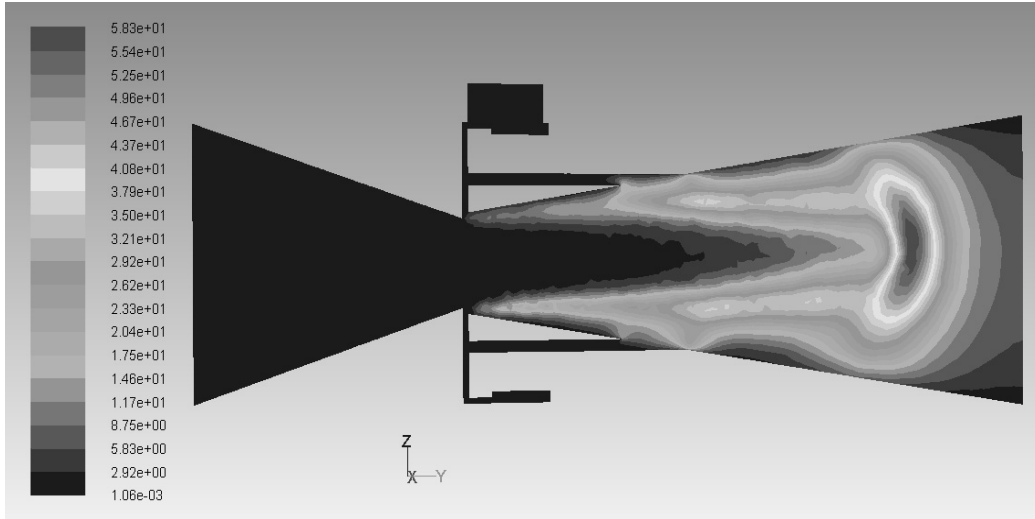


(a) Pressure

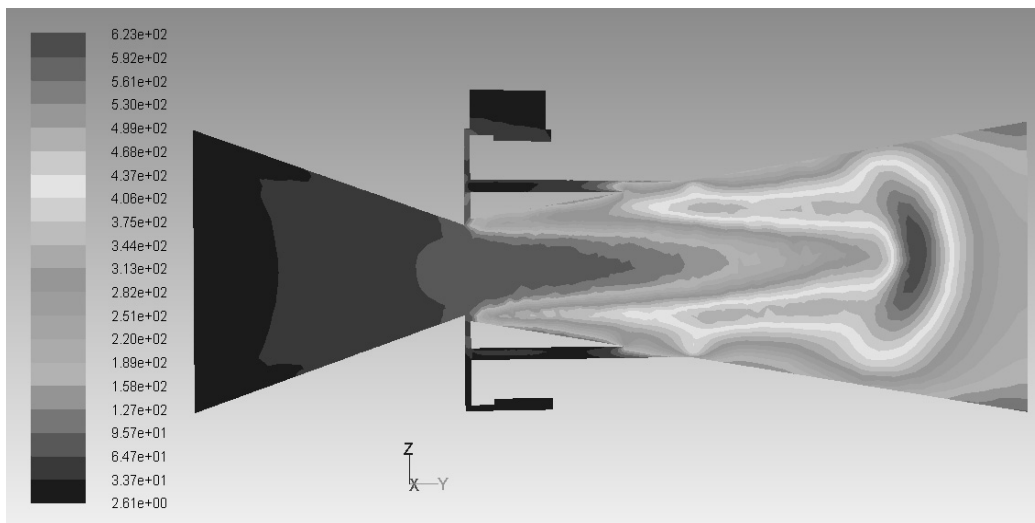


(b) Flow velocity

Fig.31 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 4L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.32 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 4L)

8) 직선 모세관이 있는 Ejector의 산소주입량이6L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 6L하였을 경우, 측정된 압력 값은  $66.50kPa$ 이고, 유속 값은  $1.57m/s$ 이었다. 이 때의 출력단의 유량은  $4.00L/s$ , 압력은  $107.50kPa$ , 유속은  $33.06m/s$ 으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류 정도는 최소 2.58%, 최대 623.66%, 평균 221.08%로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 27.43ppm이 확인되었다.

Table 13 Environmental condition of Capillary Ejector 6L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
6L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.10	Flow rate (L/s)	4.00
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	1.57	Flow velocity (m/s)	33.06
	Pressure (kPa)	194.50	Pressure (kPa)	66.50	Pressure (kPa)	107.50

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy ( $m^2/s^2$ )	용존산소량 (ppm)
6L	Min.	2.58	11.04	27.43
	Max.	623.66		
	Ave.	221.08		

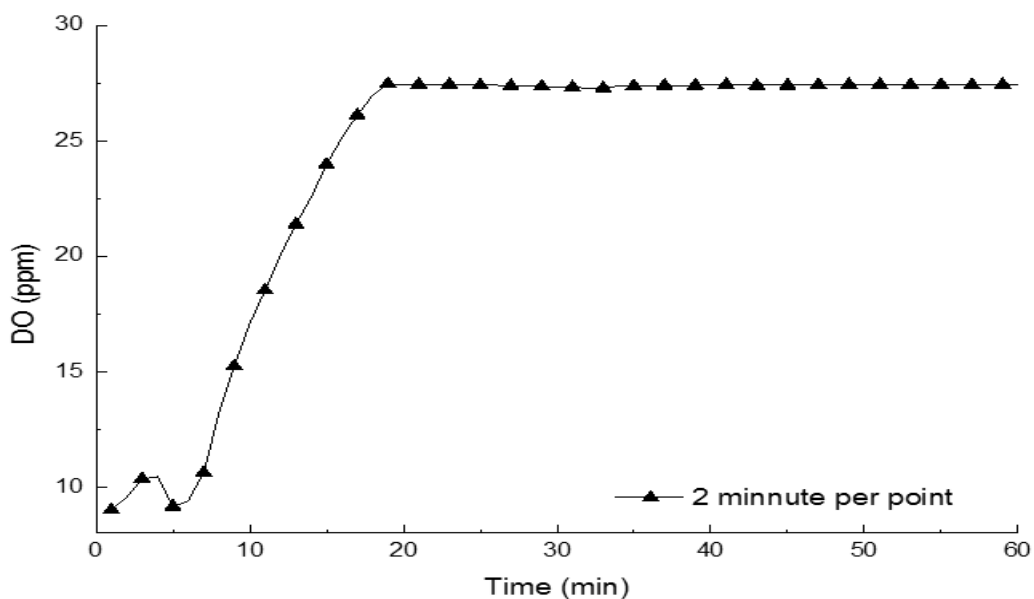
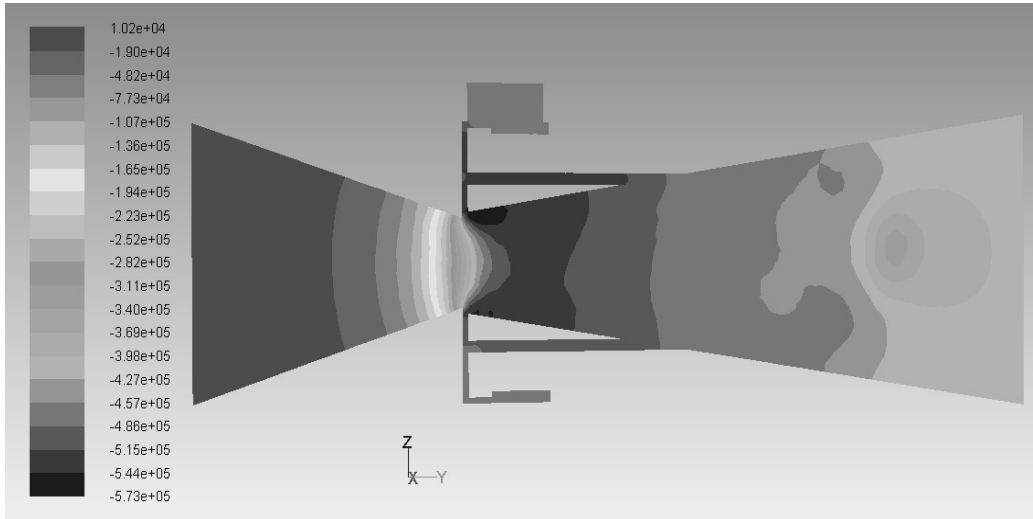
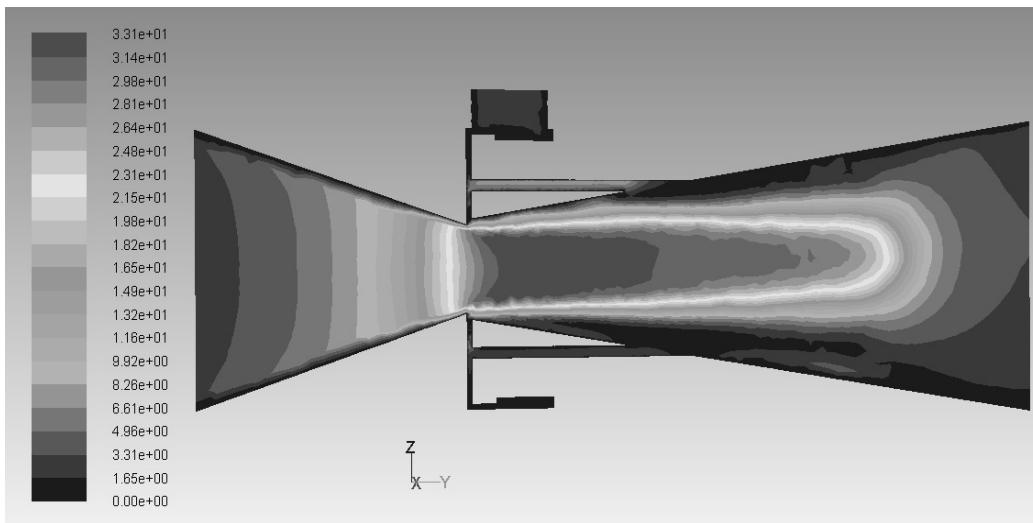


Fig.33 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 6L)

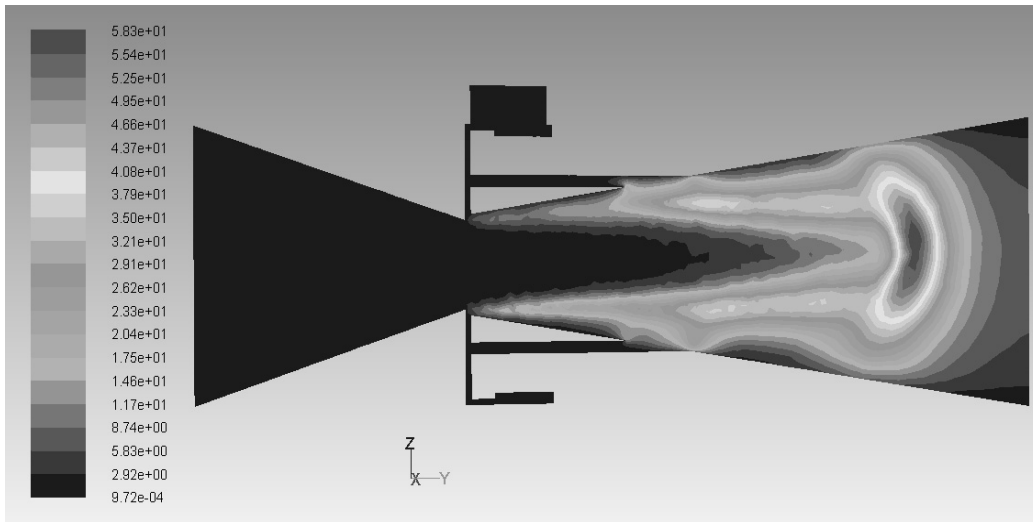


(a) Pressure

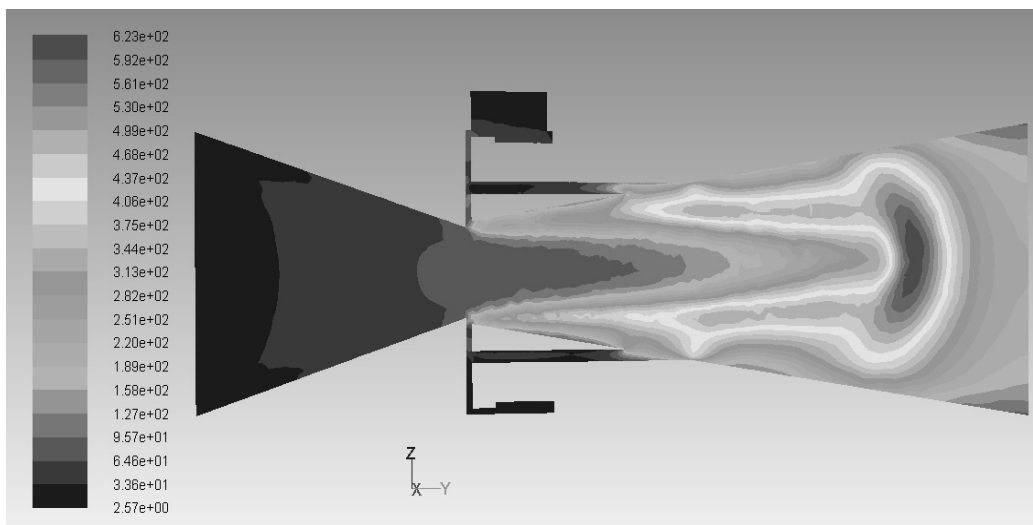


(b) Flow velocity

Fig.34 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 6L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.35 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 6L)

9) 직선 모세관이 있는 Ejector의 산소주입량이 8L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 8L하였을 경우, 측정된 압력 값은  $68.80kPa$ 이고, 유속 값은  $2.10m/s$ 이었다. 이 때의 출력단의 유량은  $4.03L/s$ , 압력은  $108.00kPa$ , 유속은  $33.09m/s$ 으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류 정도는 최소 2.61%, 최대 621.76%, 평균 192.50%로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 27.41ppm이 확인되었다.

Table 14 Environmental condition of Capillary Ejector 8L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
8L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.13	Flow rate (L/s)	4.03
	Flow velocity (m/s)	2.922	Flow velocity (m/s)	2.096	Flow velocity (m/s)	33.091
	Pressure (kPa)	192.5	Pressure (kPa)	68.8	Pressure (kPa)	108

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy ( $m^2/s^2$ )	용존산소량 (ppm)
8L	Min.	2.609	10.838	27.41
	Max.	621.757		
	Ave.	218.483		

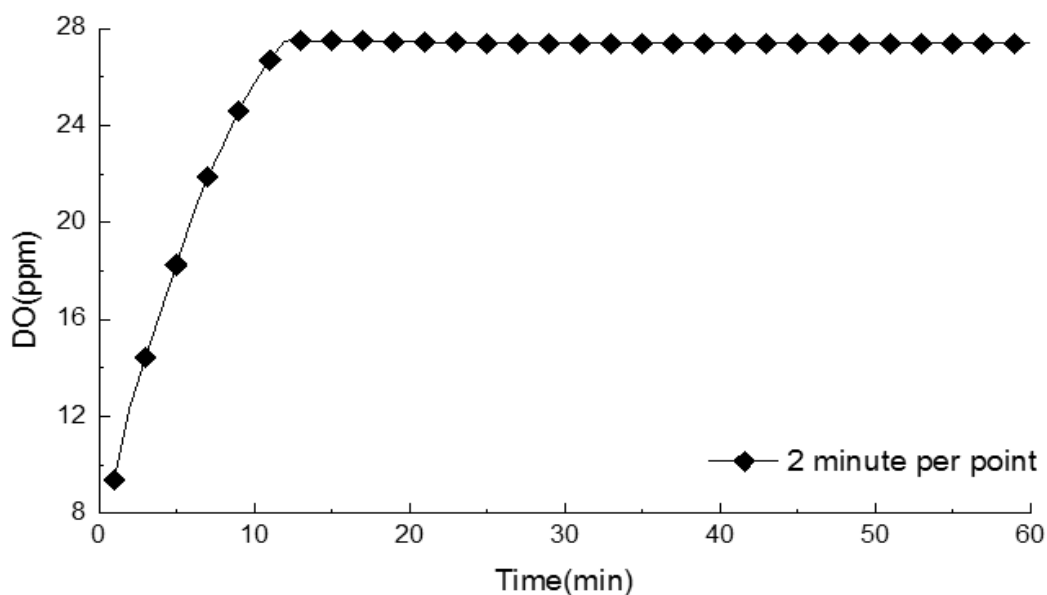
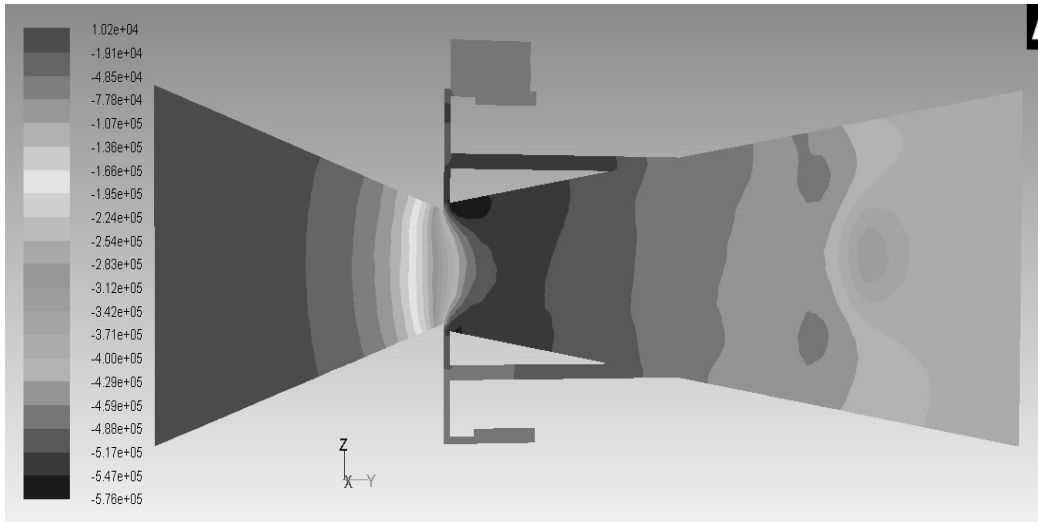
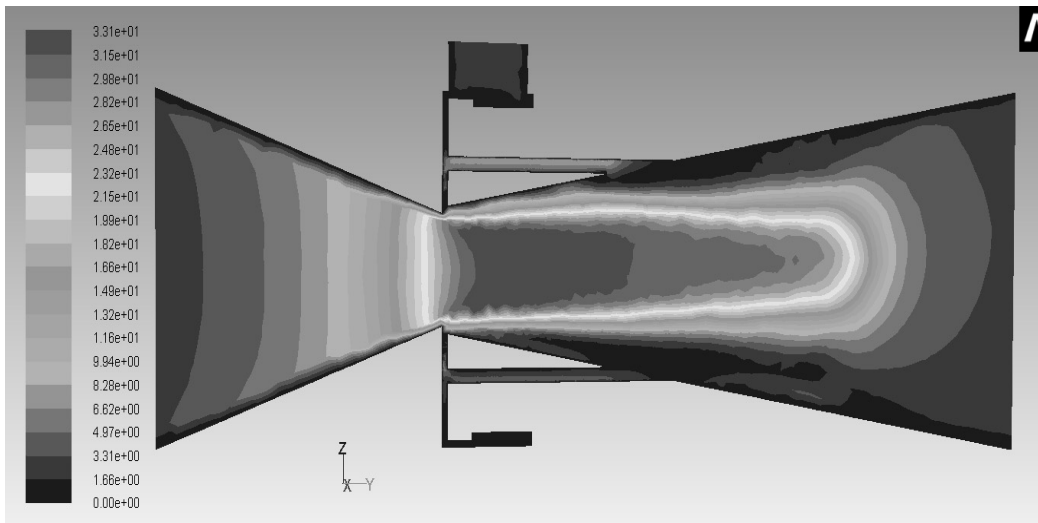


Fig.36 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 8L)



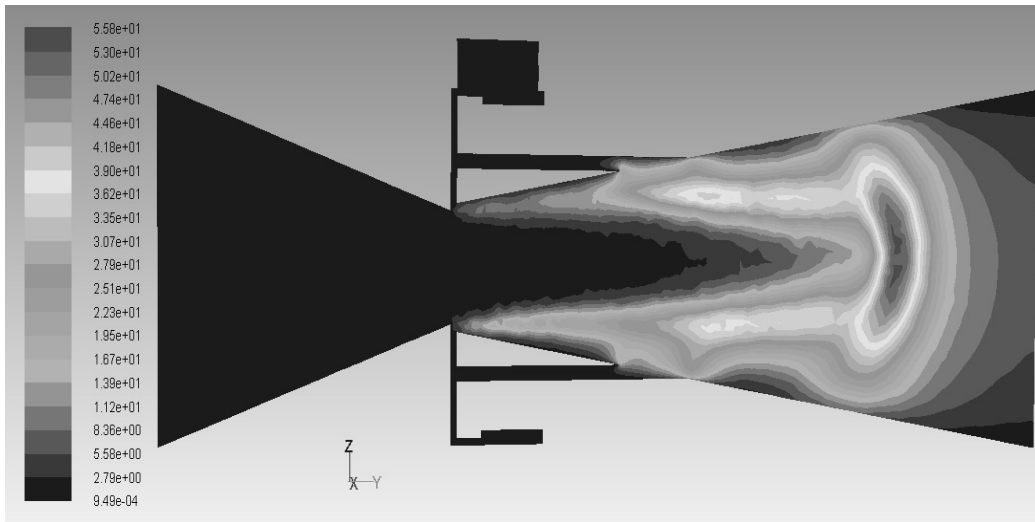
(a) Pressure



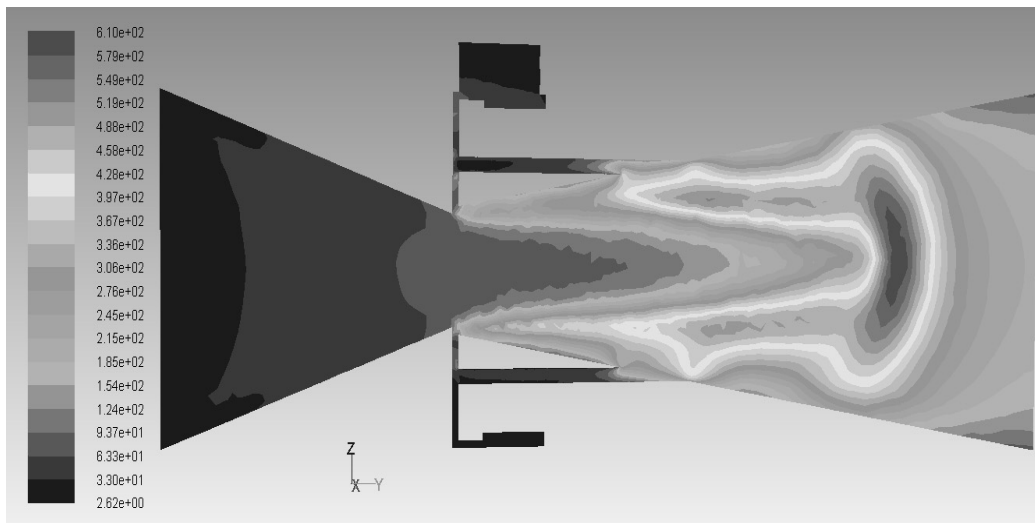
(b) Flow velocity

Fig.37 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 8L)





(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.38 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 8L)

10) 직선 모세관이 있는 Ejector의 산소주입량이 10L인 경우

이젝터 상부의 산소주입량을 10L하였을 경우, 측정된 압력 값은  $71.88kPa$ 이고, 유속 값은  $2.62m/s$ 이었다. 이 때의 출력단의 유량은  $4.06L/s$ , 압력은  $107.80kPa$ , 유속은  $33.12m/s$ 으로 측정되었다. FLUENT 시뮬레이션을 구동결과 이젝터 내부유체 유동장 영역에서의 난류정도는 최소 2.62%, 최대 611.34%, 평균 215.77%로 산출되었다. 용존도는 실제 실험을 통하여 얻어진 값으로 27.71ppm 이 확인되었다.

Table 15 Environmental condition of Capillary Ejector 10L Oxygen dissolution Experimental

Oxygen flow rate	Input(water)		Input(O2)		Output	
10L	Flow rate (L/s)	3.90	Flow rate (L/s)	0.16	Flow rate (L/s)	4.06
	Flow velocity (m/s)	2.92	Flow velocity (m/s)	2.62	Flow velocity (m/s)	33.12
	Pressure (kPa)	197.20	Pressure (kPa)	71.80	Pressure (kPa)	107.80

Oxygen flow rate	Turbulence Intensity (%)		Turbulence Average Kinetic Energy ( $m^2/s^2$ )	용존산소량 (ppm)
10L	Min.	2.62	10.61	27.71
	Max.	611.34		
	Ave.	215.77		

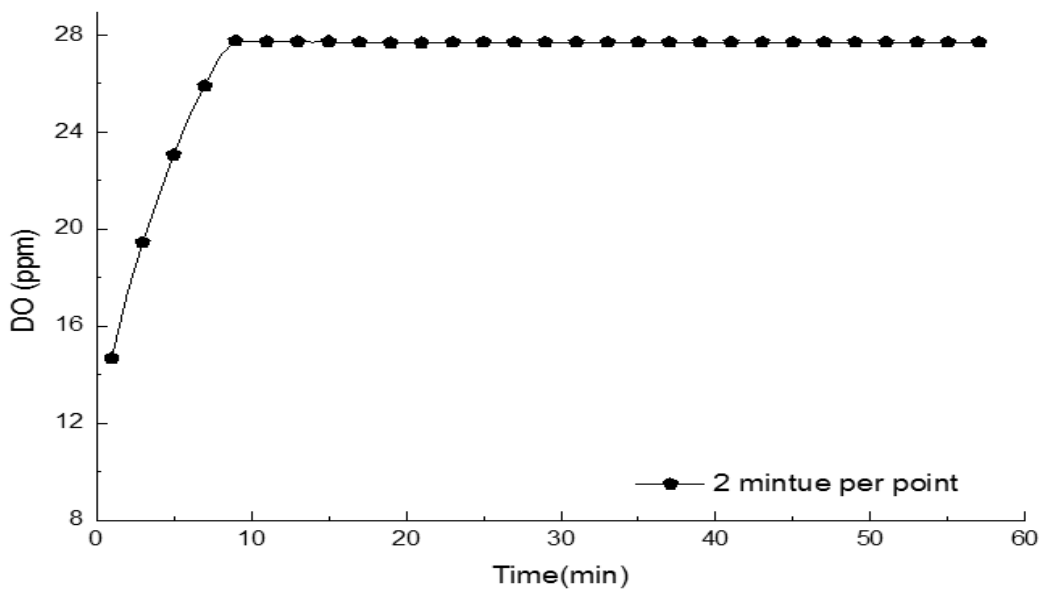
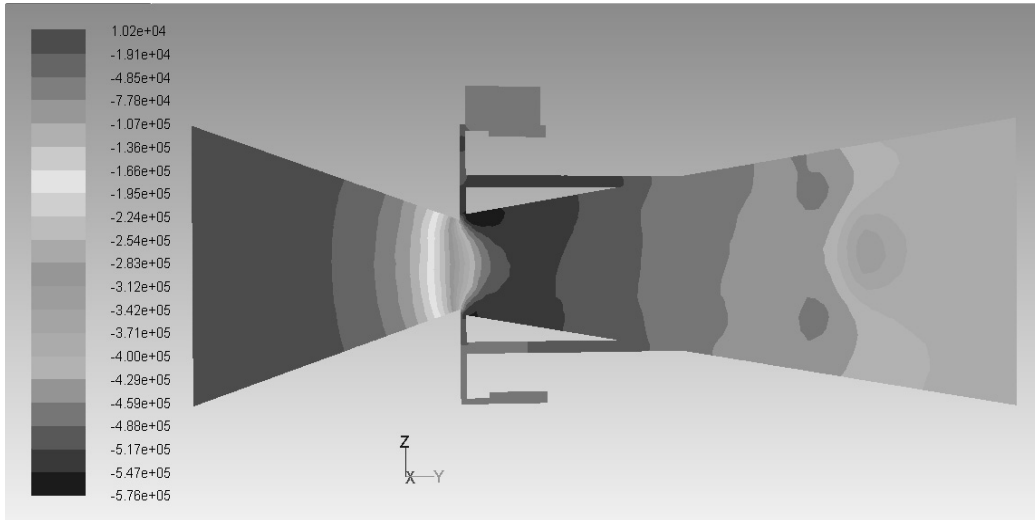
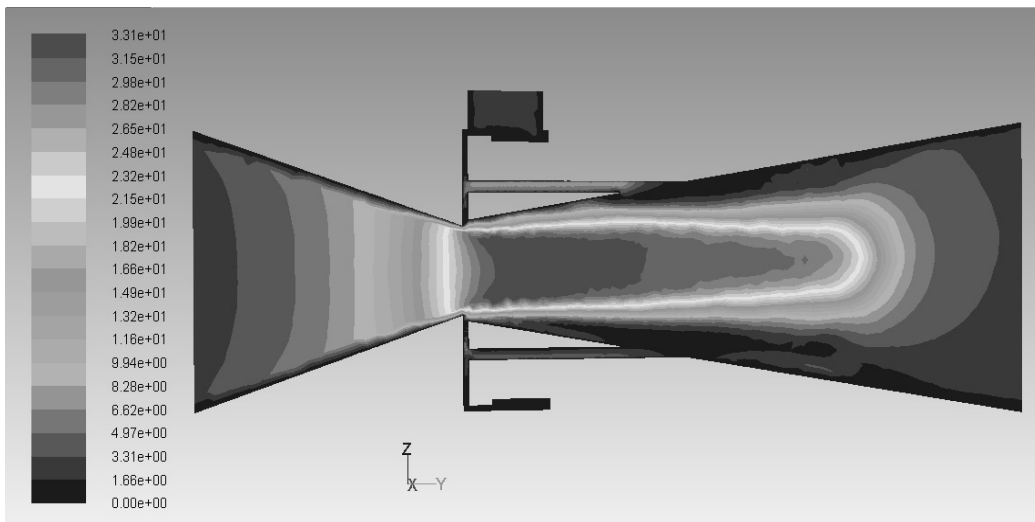


Fig.39 dissolved oxygen amounts of sea water after passing through the ejector with capillary (the amount of injected oxygen : 10L)

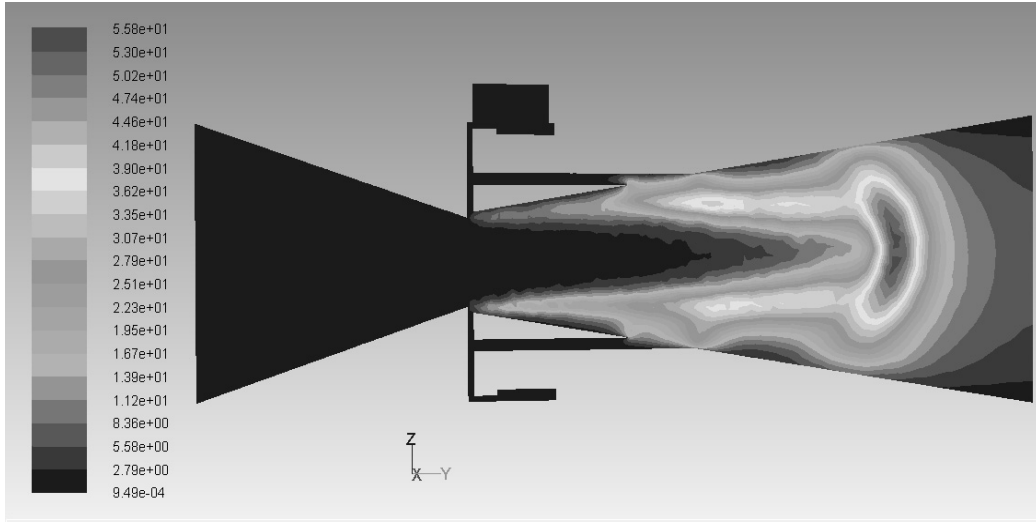


(a) Pressure

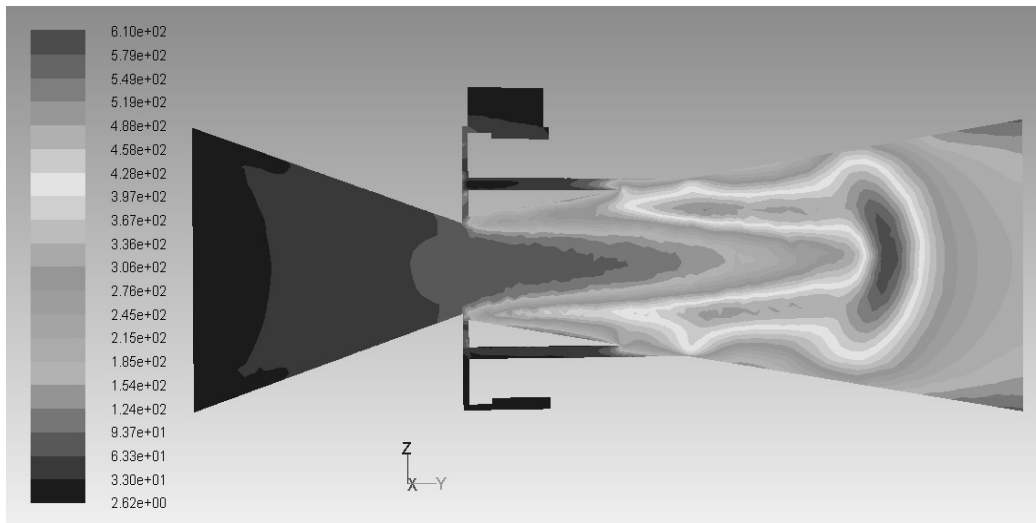


(b) Flow velocity

Fig.40 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Pressure and Flow Velocity : 10L)



(c) Turbulence Kinetic Energy



(d) Turbulence Intensity

Fig.41 The CFD simulation result of Ejector with capillary (Turbulence Energy and Turbulence Strength : 10L)

### 11) CFD 시뮬레이션 결과에 따른 고찰

모세관이 없는 이젝터의 경우 미립화 간극에서 압력의 불안정한 상태를 나타내어 난류 생성에 지장을 주고 있으며 이러한 영향으로 난류 생성 에너지 형태가 고르지 못하였다. 모세관 최초입구에서 점성율이 발생하며 모세관 배출구에서 용해수가 난류와 충돌하여 이중 난류를 발생 시키는 것으로 판단된다. 모세관이 있는 이젝터의 난류 발생 형태가 모세관이 없는 이젝터의 난류 발생 형태보다 균일한 형태를 가지고 있음으로 산소의 유입이 균등할 시 난류를 이용한 효율적 용해가 가능할 것으로 보인다.

Table 16 Flow Analysis result of Ejector without Capillary and Ejector with Capillary (CFD)

Oxygen flow rate (L/min)	Turbulence Intensity (%)			Turbulence Average Kinetic Energy ( $m^2/s^2$ )	Dissolved oxygen rate (ppm)	Flow velocity (m/s)	
	Min.	Max.	Ave.				
Without capillary Ejector	2	1.84	147.46	52.86	5.23	27.33	21.58
	4	1.76	144.84	51.05	5.04	26.63	21.58
	6	1.70	142.92	50.76	4.92	28.35	21.59
	8	1.81	135.41	49.53	4.74	28.42	21.56
	10	1.77	136.38	49.22	4.71	28.23	21.58
With capillary Ejector	2	2.75	626.11	225.01	11.35	27.04	33.03
	4	2.59	625.64	223.09	11.20	26.63	33.04
	6	2.58	623.66	221.08	11.04	27.43	33.06
	8	2.61	621.76	218.48	10.84	27.41	33.09
	10	2.62	611.34	215.77	10.61	27.71	33.12

난류의 발생 현상과 발생 형태를 가시화 되어진 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 이젝터 내부의 발생현상을 예상하였다. 10L이하 산소공급 시 대기압보다 낮은 압력 상태가 유지되고 있는 것을 확인 하였으며 콤프레셔와 같은 기체 주입 동력이 별도로 필요로 하지 않음을 알 수 있다. 다음은 각각 이젝터의 산소 공급량에 따른 시뮬레이션 300회를 진행한 후 최종 결과 수치를 추출하여 나타낸 표 Table 16이다.

산소의 과포화가 10~15분 사이에 도달함으로 용존도의 최대 시간을 15분을 기준으로 하였다. Fig.42와 Fig.43은 기존에 취수가 가지고 있는 산소의 양에 대하여 증가하고 있는 산소 용존도를 나타내고 있다. 수조 내에 3톤의 취수가 수용되며 용해수가 3톤에 도달 하는 시점까지의 용존 된 비율을 계산하여 취수가 기존에 가지고 있는 산소에 대한 상승 DO를 나타낸다. 모세관이 있는 이젝터는 모세관이 없는 이젝터 보다 안정적인 용존 상승 정도를 나타내고 있다. 시뮬레이션을 실행한 형상의 실증 실험 측정 데이터화 하여 Fig.42와 Fig.43 과 같이 용존도 E는 다음식으로 도출하였다. 도출하였다.

$$E = \frac{(A - B) \times 100}{(C + D)} \quad (3.1)$$

여기서 A: 최초 취수가 가지고 있는 ppm , B: 누적측정 된 DO 수치 ppm , C: 공급되는 취수의 누적 유량 , D: 산소의 밀도와 공급된 산소의 총량 , E: 취수3톤 내에 산소 총급량에 대한 용존도 이다.

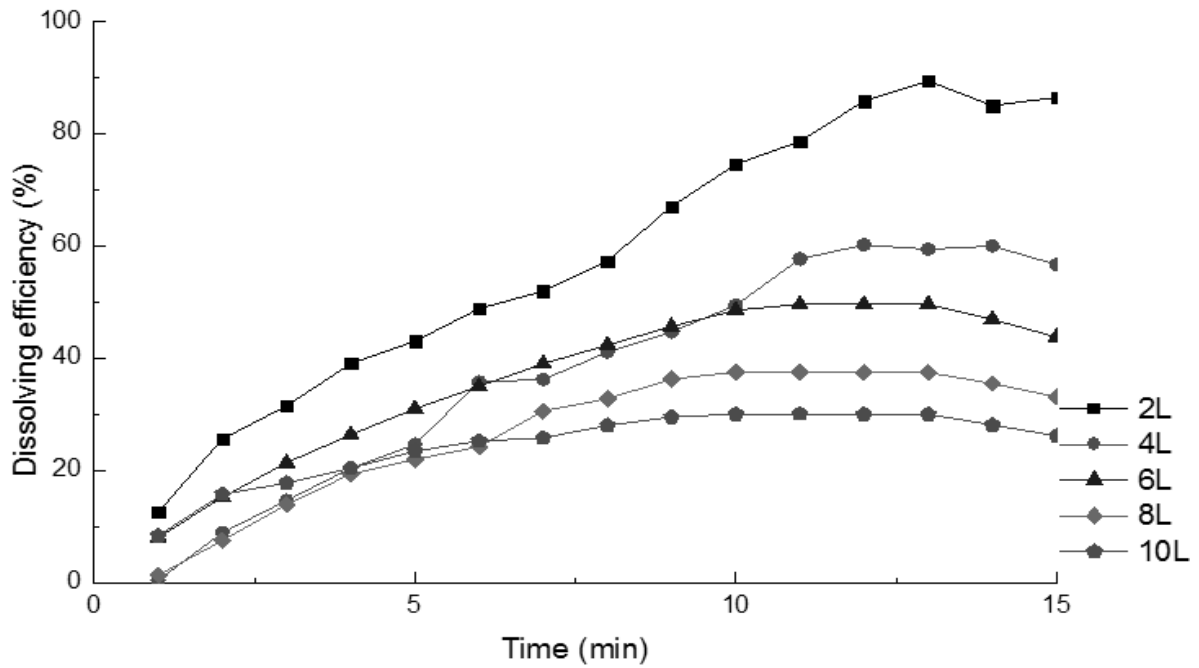


Fig.42 Dissolution rate for Ejector oxygen supply without Capillary

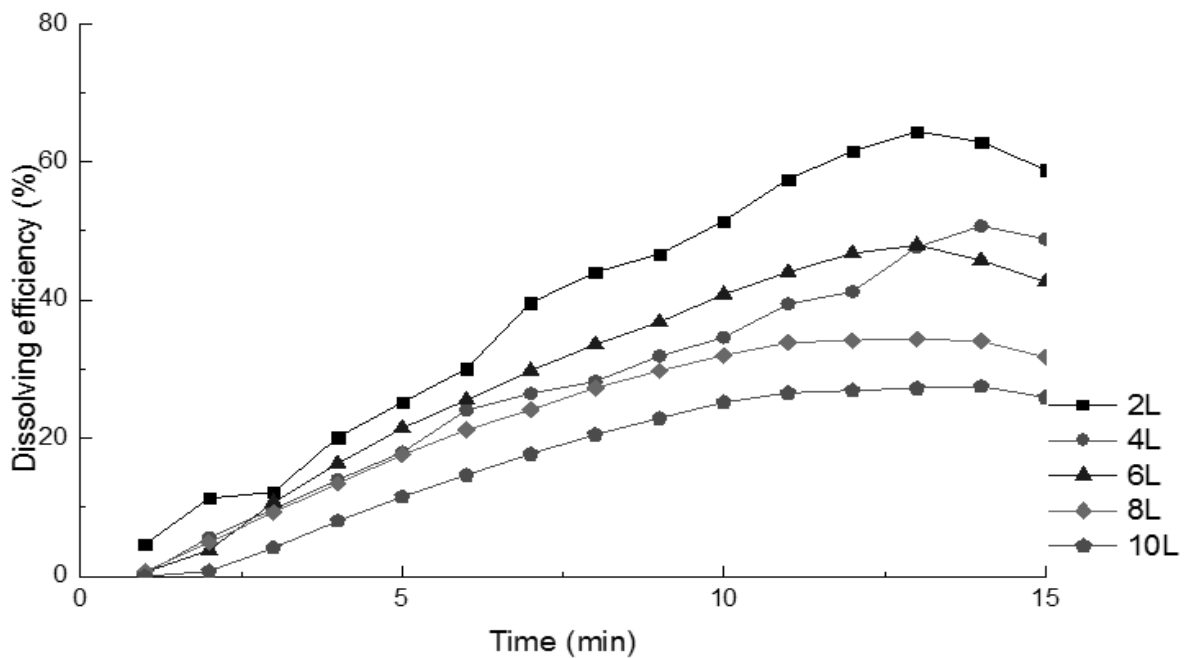


Fig.43 Dissolution rate for Ejector oxygen supply with Capillary

CFD 시뮬레이션 결과 값과 실증 데이터 자료를 통하여 산소가 취수에 공급되는 유량과 용해수 내에서 측정된 산소의 ppm 데이터를 토대로 용해수의 시간당 효율성을 분석하였다. 취수 공급량이 수조 최대 수용치 3톤을 도달 하는데 소모되는 시간이 15~17분이며 효율 계산은 취수에 분당 공급되고 있는 산소량과 수조 내에서 측정되는 산소 ppm치수를 백분율로 계산하여 표기하였다.

분당 2L 산소공급의 경우 최대치에 도달하는 시간이 최장시간이며 수조 내의 용해수 확산 량이 공급량과 큰 차이가 없으므로 2L 산소 공급이 가장 높은 효율을 보여주고 있다. 산소가 용해된 상태로 수조에 확산되는 효율은 ppm의 수치가 높아질수록 과포화 상태에 도달함으로써 효율이 지속적으로 감소하며 Fig.42과 Fig.43에 반대되는 결과를 나타내었다. 시뮬레이션을 실행한 형상의 실증 실험 측정 데이터를 계산하여 Fig.44와 Fig.45 같이 용존 효율I를 다음 식으로 도출하였다.

$$I = \frac{F - G}{H} \quad (3.2)$$

여기서 F: 분당 측정되는 산소 ppm, G: 측정 이전의 기록된 산소ppm 데이터, H: 분당 취수에 공급 되어진 산소 mg, I: 산소 용해 효율 이다.



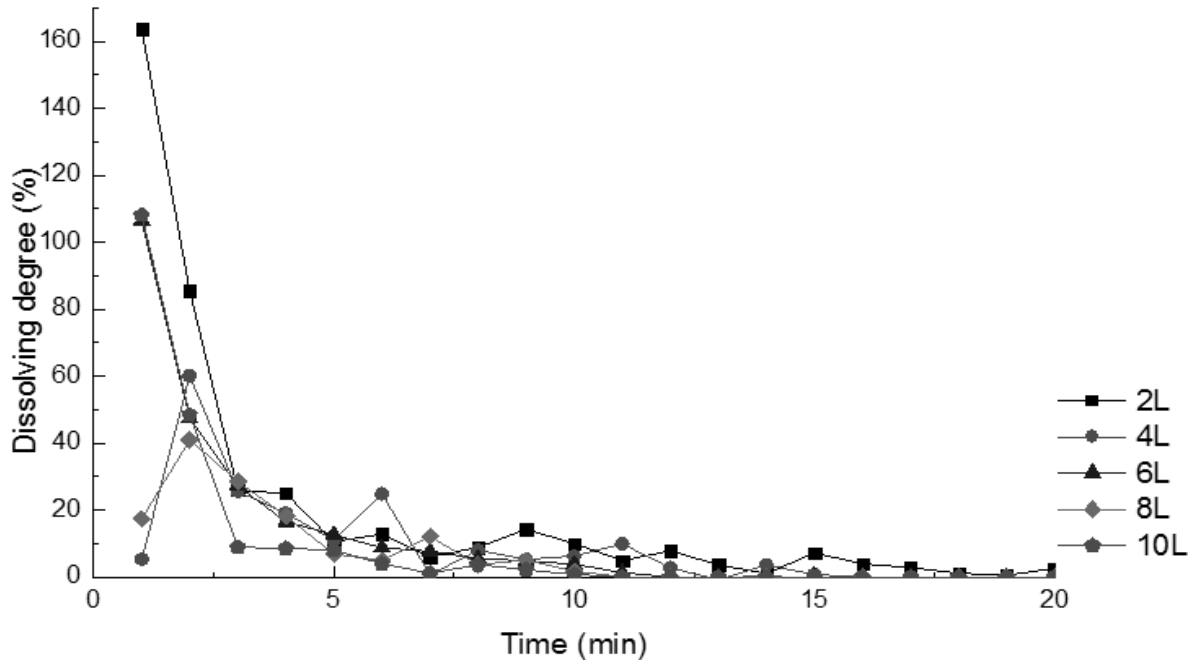


Fig.44 Production Efficiency of Ejector without Capillary

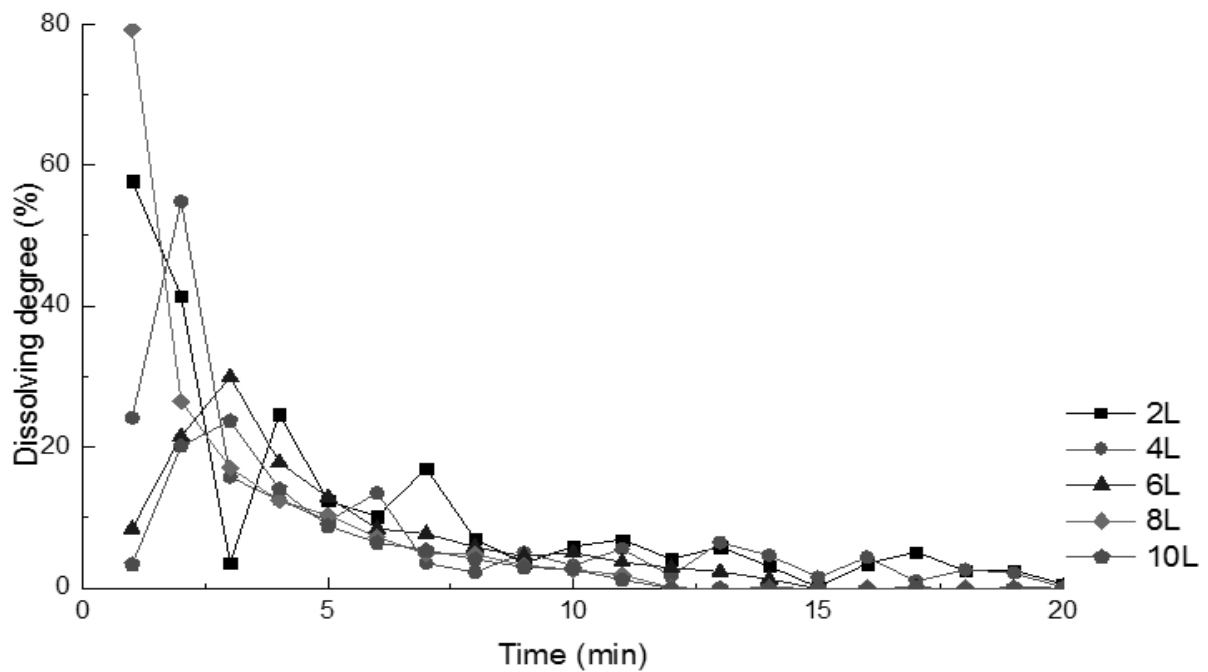


Fig.45 Production Efficiency of Ejector with Capillary

## 제 4 장 Ejector 실증 실험

### 1. 고농도 기체 용해수 생산 실증실험

#### 1) 용해수 생산 시스템 설계

본 기술개발에서 개발한 간극 및 다수의 기체유입 통로를 가진 이젝터의 활용성과 응용성을 확보하기 위하여 도내에 쉽게 발굴할 수 있는 육상양식장을 대상으로 산소 용해수 시스템을 구축하였다.

테스트 베드(양어장) 장소의 대기압과 수온, 취수의 상온 산소 농도, 취수 온도 등 환경 조건을 측정하여 테스트 전 사전 기록함. 테스트 베드 운용 시 배관 내부에 발생하는 압력과 산소량, 취수 유량, 유속을 측정하여 배관 내부 상태를 기록 및 이상여부 점검하였다.

개발된 산소용해 이젝터는 Fig46에서 보는 바와 같이 기본적으로 양수 펌프와 이젝터, PVC관, 산소 공급기로 구성되어 있으며 내경 50mm의 관을 사용하여 이젝터 취수구와 토출구 단면적을 일치시킴으로써 장치 내부에 저항이나 장치 이외의 난류 발생을 최소화 하였다.

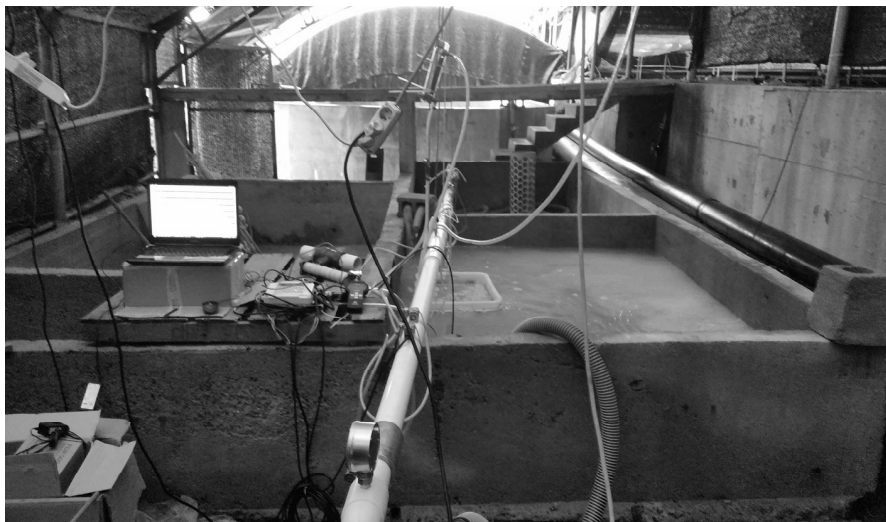


Fig.46 Test bed for demonstration experiment

이젝터 실험 장치를 약 한 시간 작동시킴으로 산소가 3톤가량의 취수에 용해되는 데 걸리는 시간과 환경조건을 기록하였다. 한 시간 내에 과포화 상태가 도달 하여도 이젝터 내부의 상태를 측정 및 기록하기 위하여 상태를 유지하였다.

추가적으로 실험 시 수조 내 광어 두 마리를 방생하여 생물체 호흡에 악영향을 미치는지 확인하였다. 3일 동안 방치 결과 산소 용해수가 어류의 수조 내에서 성장하는 데에 악영향을 주지 않는 것으로 보인다.

## 2) 계측장비에 대한 신뢰성 검증

개발된 산소용해장치의 현장 설치와 필요한 설비 및 안전장치의 구축을 마치고 장치의 성능 및 효율을 확인하기 위한 실험을 수행하였음. 테스트 베드는 제주도 조천읍 북촌리 소재의 한라양식장에 개발 장치를 설치하였다.

Fig.47과 Fig.48은 장비의 신뢰성을 검증하기 위한 초음파 유량계 측정 데이터이며 정상적인 작동을 있는 것을 확인하였다. Fig.49은 장비의 신뢰성 검증을 위한 압력 게이지 측정 데이터이다. 정상적인 작동을 하고 있으며 데이터 기록 시 엑셀파일로 저장이 되도록 하였다. 모니터 상의 게이지 데이터가 0일 경우는 게이지가 작동되지 않는 상태이며 변동이 발생하는 순간부터 게이지가 작동하기 시작한 시점이다.

테스트 시 유량과 유속이 일정하게 유지되었으며 눈에 보이는 누수가 없으며 그래프로 판단하였을 때 파이프 내부에 불필요한 난류 발생과 파이프 내부 균열이 없는 것을 확인하였다. Fig.50은 DO 측정기의 정상 작동을 확인하기 위한 테스트 후 데이터를 수집한 결과이다. ppm 변화에 1초단위로 측정 하게 설정하였으며 기록은 최소단위 1분으로 설정 하였다. 최초 시작을 100%로 설정하여 ppm과 용존률을 동시에 볼 수 있도록 설정하였다.

산소용해 이젝터가 용해수 생산에 적합한지 판단하기 위한 성능 실증 실험을 실행하였다. 파이프 내부의 압력과 유량, 유속이 측정 동시에 기록되도록 하였으며 DO 측정기(산소용해도)의 경우 측정기의 특성상 1분에 한번 씩 기록이 된다. 상황에 따라 측정해야하는 위치가 바뀔 수도 있기 때문에 특정 장소에 고정하지 않은 상태로 측정 기록 하였다. 실험을 하기 앞서 실험 장비가 전송하는 데이터의 신뢰성을 위하여 다음과 같은 테스트를 실시하였다. 이젝터 자리에 일반 파이프를 장착하여 취수 시 누수 확인 및 압력계, 유량계, DO측정기의 정상작동을 확인할 수 있었다.

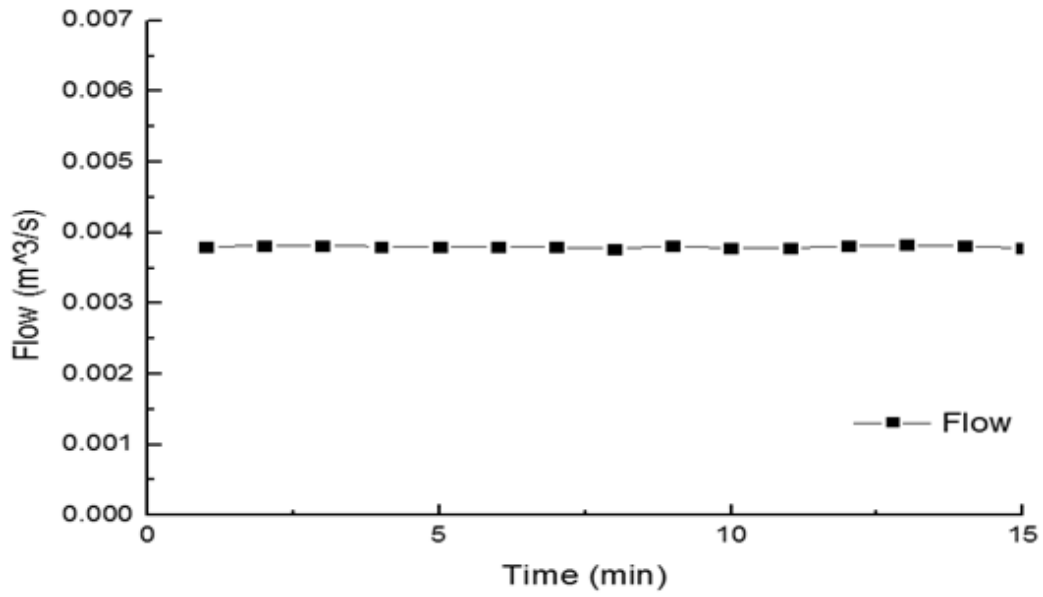


Fig.47 Test result of Ultrasonic flowmeter flow measurement

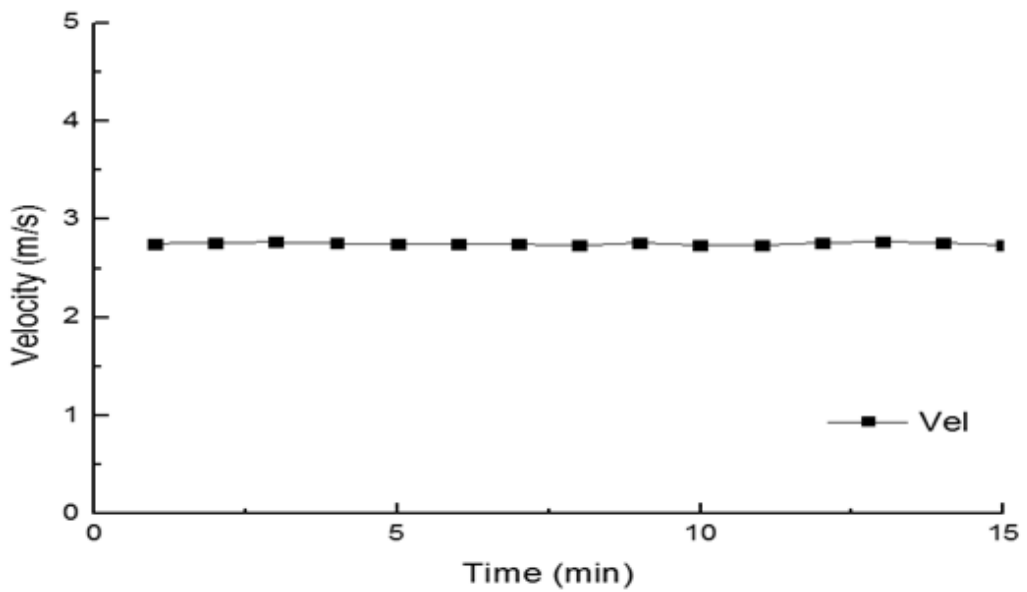


Fig.48 Test result of Ultrasonic flowmeter flow rate measurement

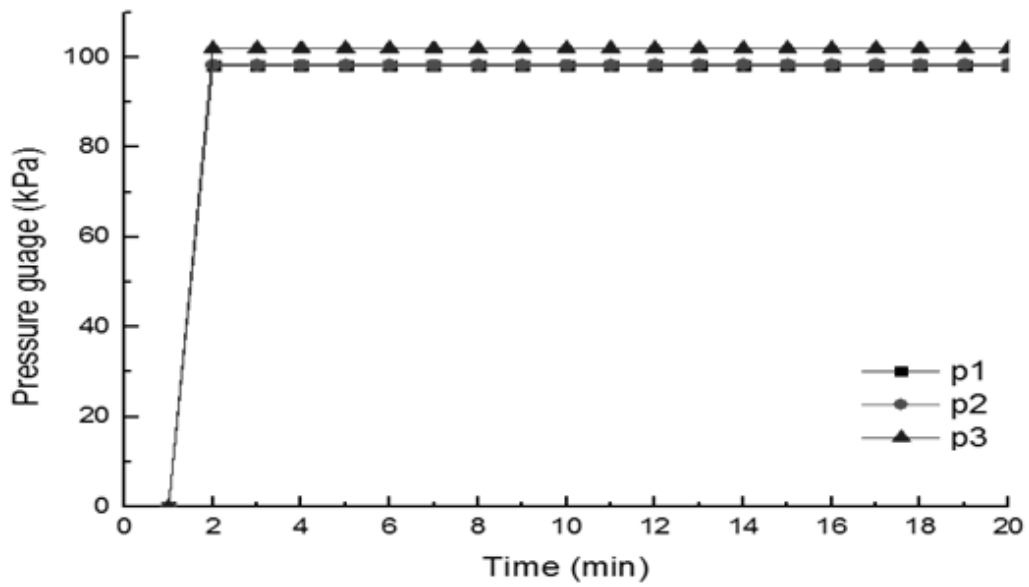


Fig.49 Test result of Pressure gauge operating condition

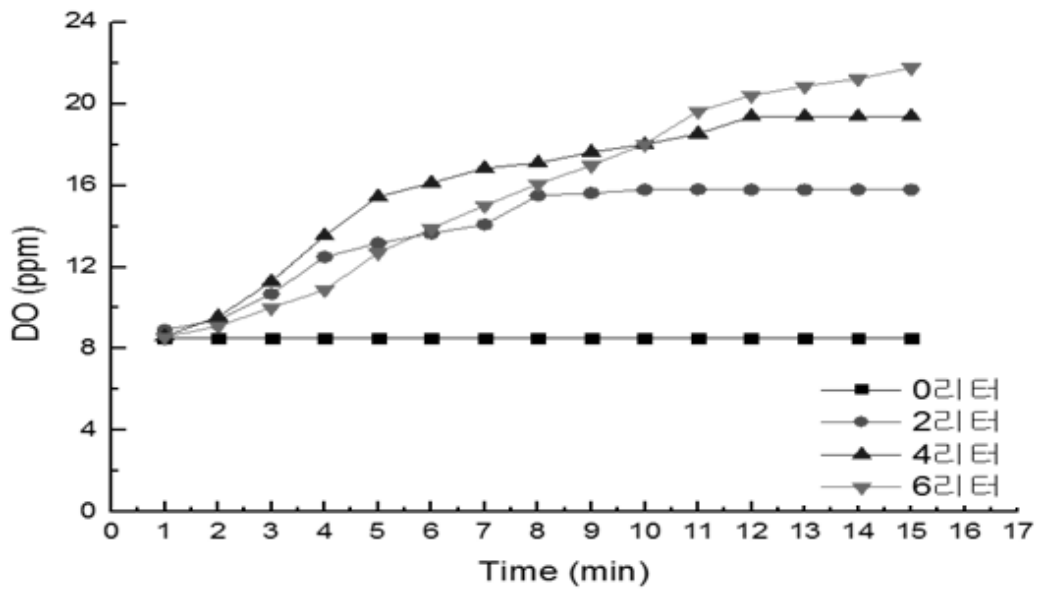


Fig.50 Test result of DO meter data Transmit-Receive

### 3) 용해수 DO 측정 실험

2리터 단위로 산소 공급을 올려주어 총 다섯 번의 실험을 실시하였다. 산소의 공급량에 따른 최대 25ppm이 초과하였으며 실험결과 산소의 공급량은 ppm 최대 기록 치에 영향을 주지 못하나 최대 포화도를 달성하는 시간에 지장을 주는 것으로 확인되었다. 내부 모세관이 없는 이젝터와 동일한 환경 조건에서 내부 모세관이 이젝터에 미치는 영향과 추가 난류를 일으키는지에 관한 실험을 실행하였다. 이젝터 내부에 모세관 형상을 적용하였을 때 변하는 DO 수치와 효율의 변화를 기록 및 측정하였다.

Table 17 Experimental conditions for DO measurement experiment

Ejector	대기압력 (kPa)	수온 (°C)	Flow rate (m3/sec)	산소 공급량 (m3/sec)
Without capillary Ejector (Gap 1.0mm)	101.3	18~21	0.39	0.002
				0.004
				0.006
				0.008
				0.01
Without capillary Ejector (Gap 1.5mm)				0.002
				0.004
				0.006
				0.008
				0.01
With capillary Ejector(Gap 1.5mm)				0.002
				0.004
				0.006
				0.008
				0.01

실험 후 분석결과 이젝터에 주입되고 있는 산소가 감압으로 인하여 빨리 들어가는 현상이 발생 하였다. 이러한 현상으로 인해 기체 공급 파이프 내부 압력이 101.3kPa이 되지 않는 이상 기체를 무제한으로 공급이 가능할 것으로 예상 된다.

실험장치 운용을 멈추고 난 다음 1시간을 지켜본 결과 용해수의 상태가 유지되는 것처럼 뿌옇게 보이는 현상이 발생하였다. 1시간 후 수치는 조금 내려간 것으로 측정되었으나 감소한 수치가 미미하기 때문에 용해 정도를 확인 할 수 없어 이 후 실험에서 작동을 멈추고 장시간 노출 테스트를 실행 하였다.

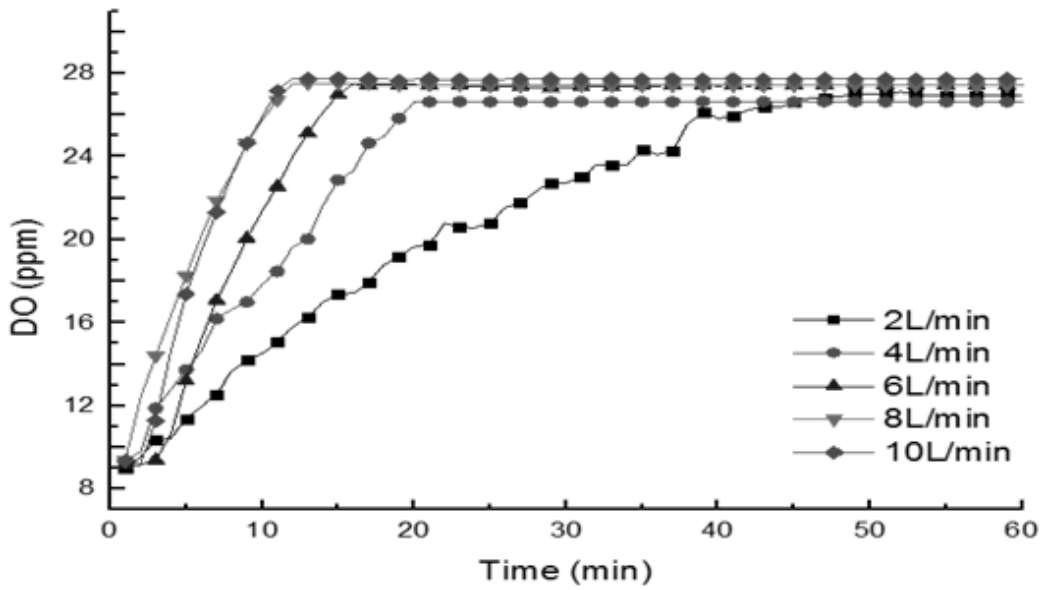


Fig.51 DO numerical rise data of Ejector without Capillary

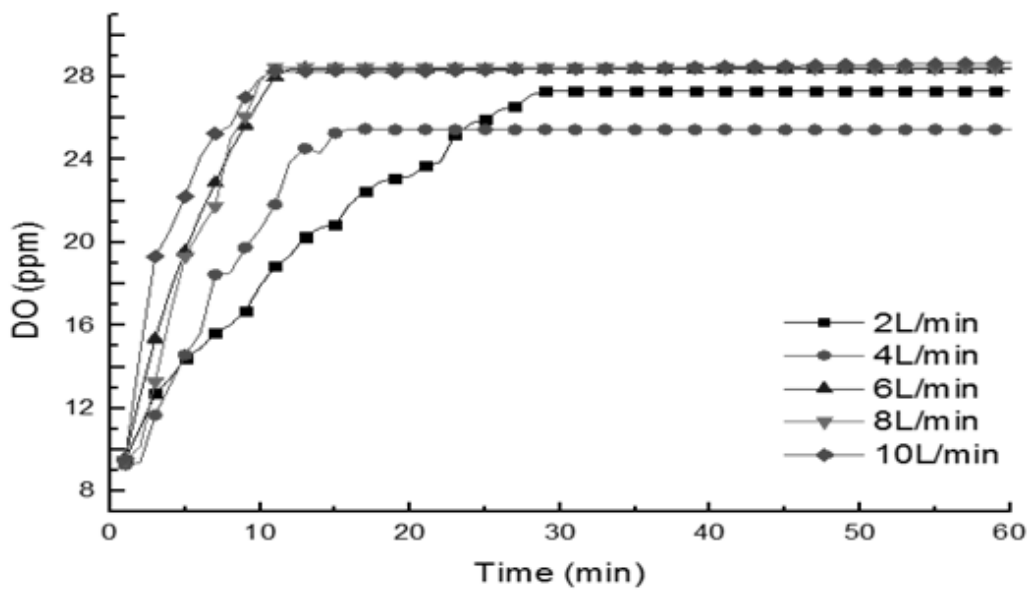


Fig.52 DO numerical rise data of Ejector with Capillary

## 2. 산소 이탈 및 소실 실험

개발된 생산 시스템을 이용하여 생산한 용해수를 소실 현상이나 산소 용해율을 비교하기 위하여 데이터화 하였다. 과포화 상태에 도달하는 시점부터 이젝터의 작동을 중지하여 대기에 하루 동안 노출 시켜 보았다.

노출상태에서 용존이 잘 이루어지지 않은 산소의 경우 12시간정도 용존 상태에 있으나 간극의 역할로 인하여 미세 산소가 수중에 잘 녹아 있기 때문에 하루가 지난 후에도 20ppm 이상을 유지 할 수 있었다. 모세관이 없는 이젝터와 비슷한 수치까지 상승하였으며 소실 실험도 ppm이 비슷하게 감소하였다. 모세관이 없는 이젝터와 모세관이 있는 이젝터가 하루 동안 펌프가 멈춘 상태에서 용해수를 대기에 노출시킨 소실실험을 실행한 결과 2L와 4L의 경우 수치가 낮은 상태에서 시작하여 하락 수치가 6, 8, 10L보다 낮은 결과가 도출되었으나 하락 각도가 수직 평행한 것을 알 수 있다. 이와 같은 데이터를 통하여 용존 산소의 용해 최대치는 공급되는 산소량에 지장을 받지 않으며 과포화 상태를 만들기 위한 시간에만 영향을 끼치게 된다. 용존 산소의 소실 현상을 추가적으로 3일 동안 측정하였을 때 Fig.55에서 볼 수 있듯이 최저 15ppm이 유지되었으며 간극의 역할로 기체가 미립화 됨에 따라 용액 내부에 장시간 용존 되는 것을 볼 수 있었다.

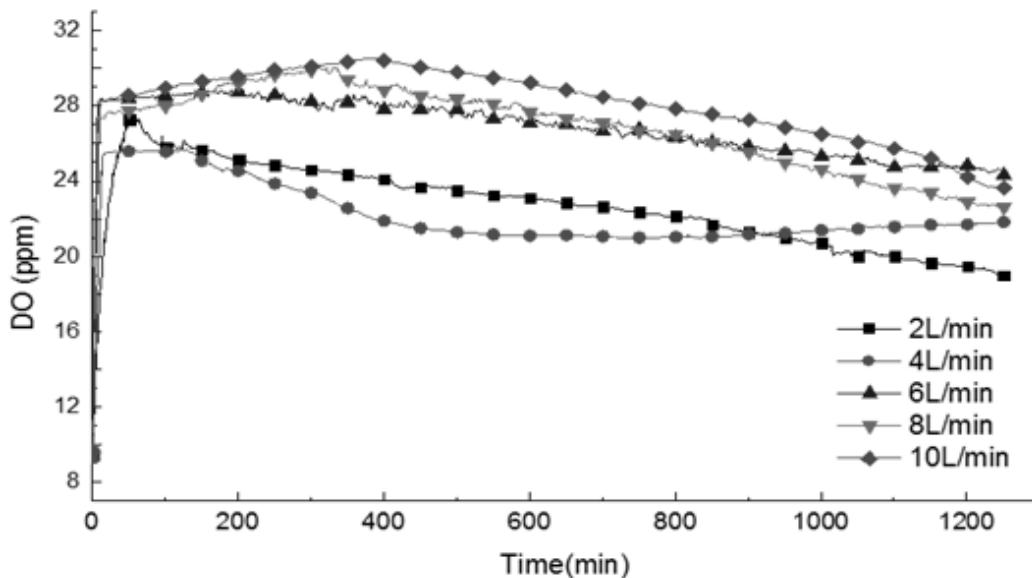


Fig.53 Internal oxygen vaporization Experiments on dissolved water produced by an ejector with capillary



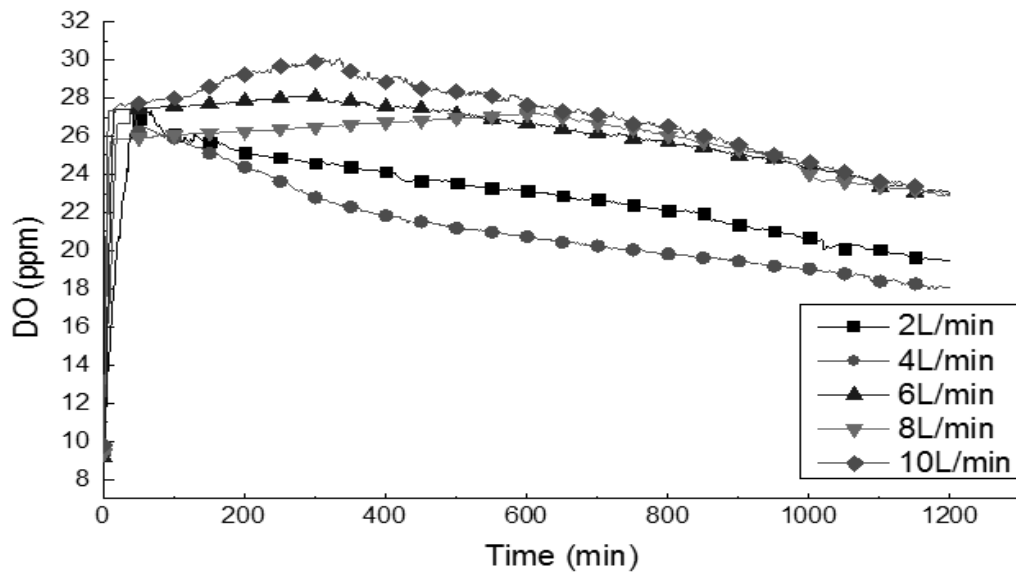


Fig.54 Internal oxygen vaporization Experiments on dissolved water produced by an ejector without capillary

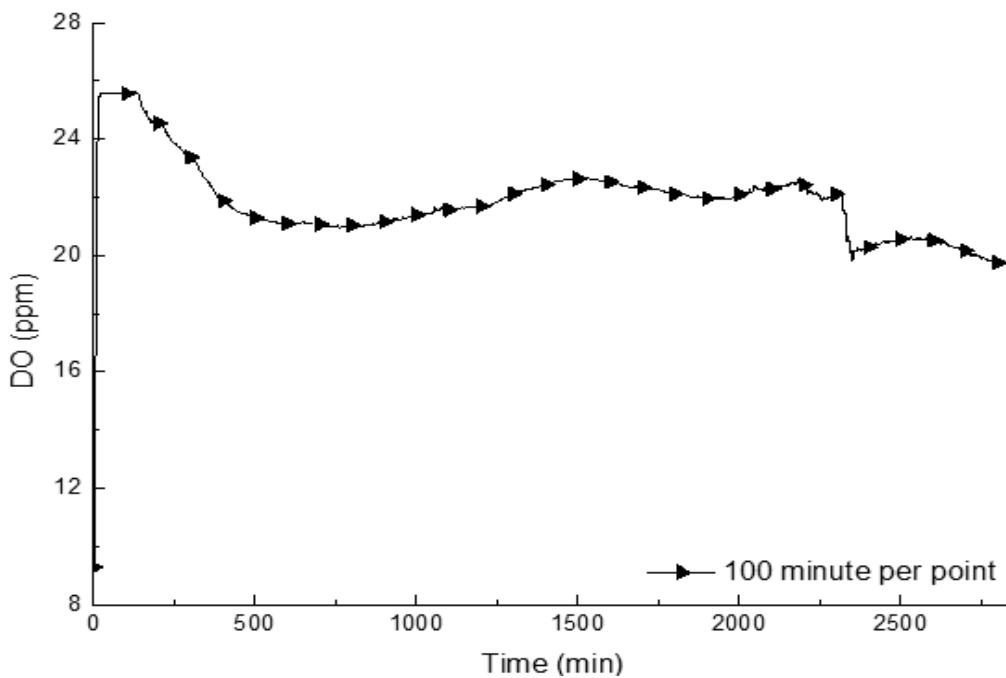


Fig.55 Data for vaporization and oxygen dissolution observation

### 3. 모세관의 유무에 따른 DO 상승도 및 효율성 비교

#### 1) 모세관의 유무에 따른 DO 상승

모세관이 있는 이젝터와 모세관이 없는 이젝터를 설치하여 분당 2, 4, 6, 8, 10리터의 산소를 공급하여 실험하였다. 서로 다른 이젝터의 환경이 거의 일치 되는 조건에서 실험하여 모세관의 유무에 따른 DO상승도를 비교하였다. 모세관이 있는 이젝터와 모세관이 없는 이젝터의 DO 최대치는 거의 비등한 수치를 보이고 있으며 실험 시 물의 온도, 대기압의 변동, 산소 농도 오차 등 소량의 변수가 있어 산소의 용존 능력이 저하 되는 경우가 발생하기도 하였다.

모세관이 있는 이젝터와 없는 이젝터를 설치하여 2, 4, 6, 8, 10리터의 산소를 공급하여 실험 하였다. 실험 시 물의 온도나 대기압의 영향, 산소의 농도 오차 등 소량의 저해 변수가 발생하였다. 산소 10리터를 공급하는 실험은 모세관이 없는 이젝터의 ppm이 더 높게 나왔으며 최대 용해치 도달 시간도 모세관이 없는 이젝터가 더 빨랐다. 평균적으로 2, 6, 8리터 실험을 하였을 때 모세관이 없는 이젝터가 더 좋은 효율을 보였으나 실제 그래프 형태를 보았을 때 모세관이 없는 이젝터는 일정하지 못한 상승 형태를 보여주고 있으며 모세관이 있는 이젝터는 비교적 고르게 상승하고 있는 형태를 볼 수 있었다.

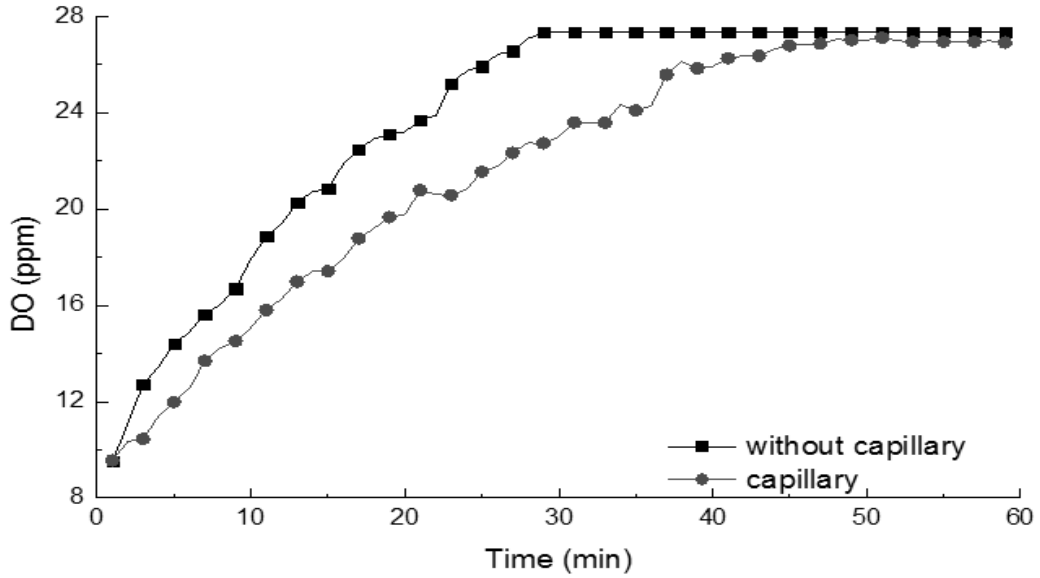


Fig.56 DO measurement data during supply to 2L oxygen per minute

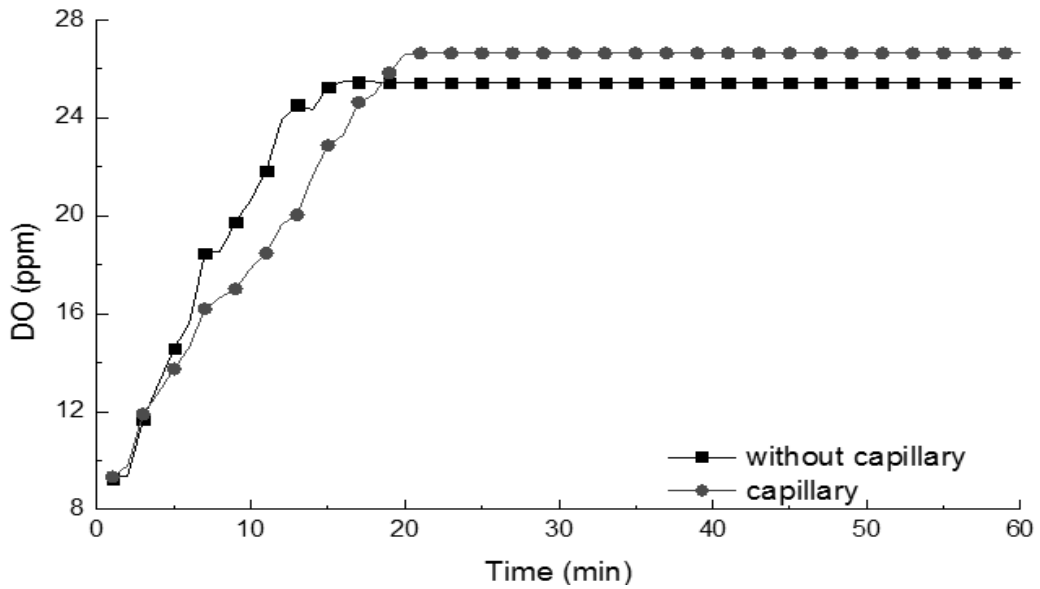


Fig.57 DO measurement data during supply to 4L oxygen per minute

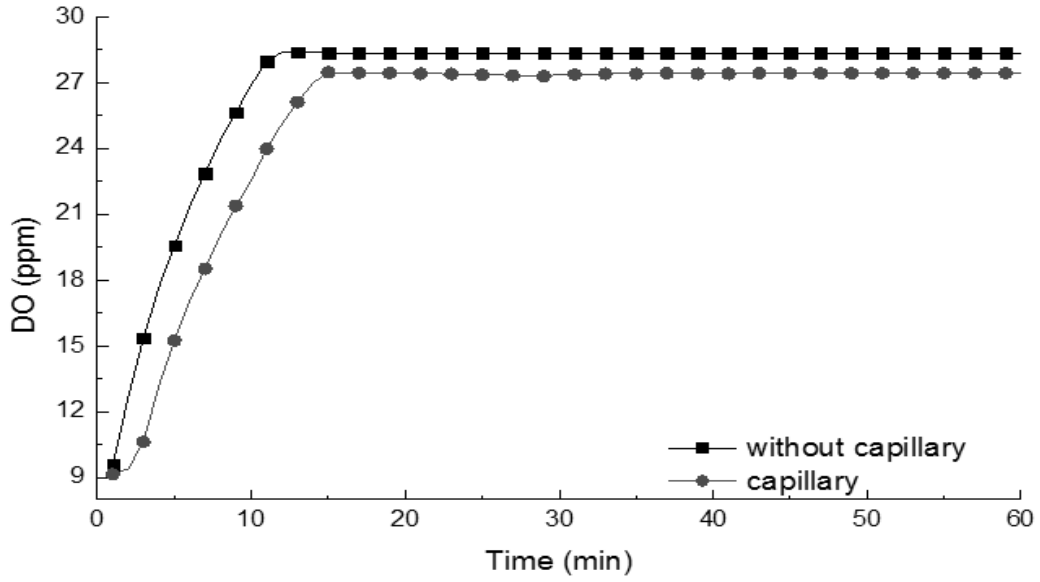


Fig.58 DO measurement data during supply to 6L oxygen per minute

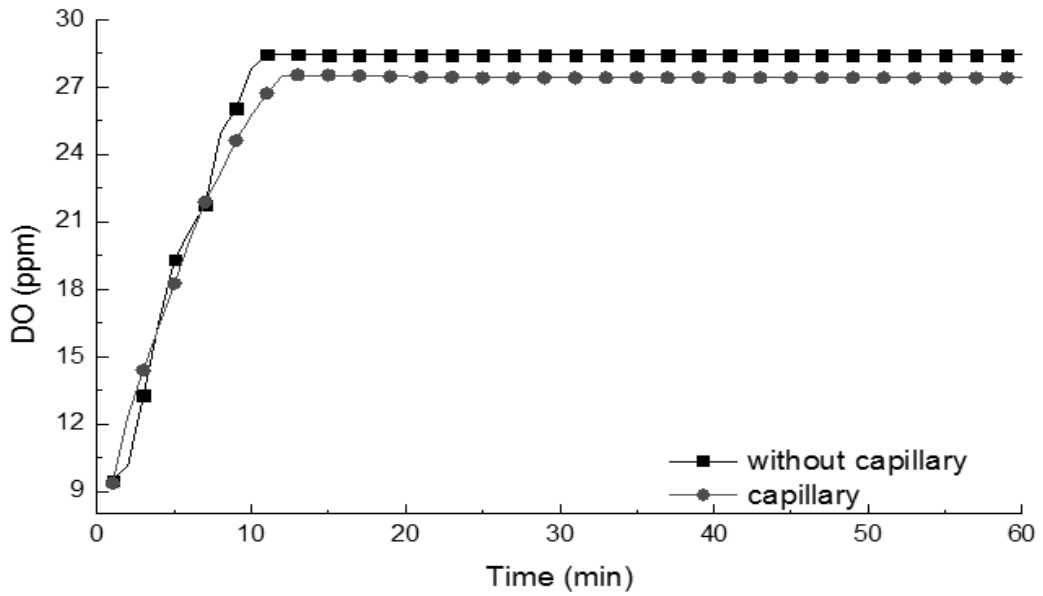


Fig.59 DO measurement data during supply to 8L oxygen per minute

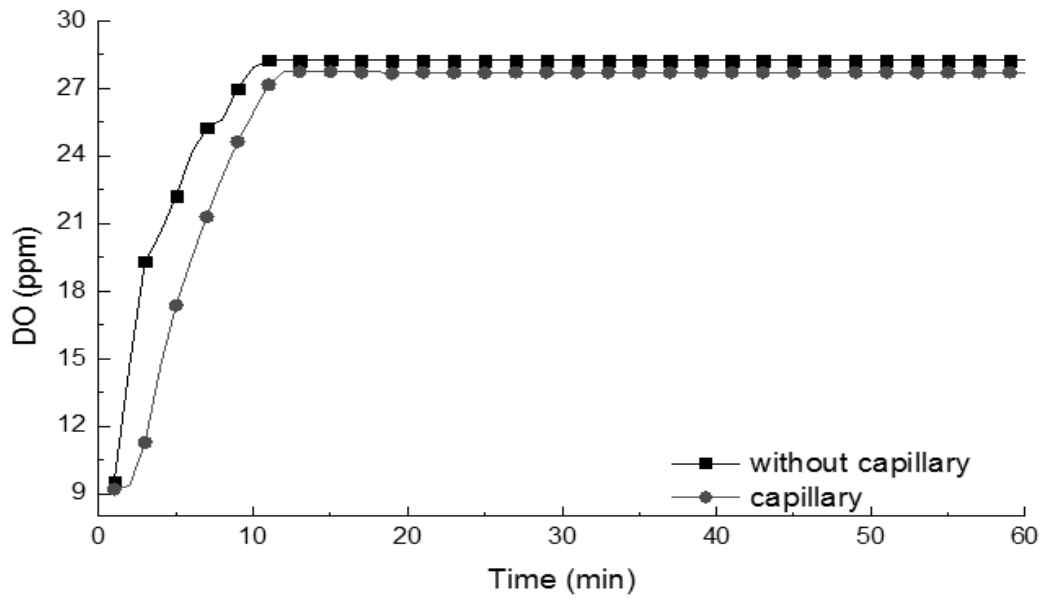


Fig.60 DO measurement data during supply to 10L oxygen per minute

## 2) DO 수치에 따른 용해 효율성

DO 효율계산은 수조 크기가 3톤이며 펌프가 수조 내에 최대 수용되는 취수량을 공급해주는 시점까지 측정하였다. 분당 산소의 증가량과 취수의 증가량을 계산하여 질량에 따른 백분율을 구하여 비교하였다.

취수가 3톤 이후로 부터는 수조의 제한적 크기에 따라 약 15분부터 강제 배수가 된다. 배수되기 전까지의 용해율을 계산해본 결과 산소 2리터 공급 시 가장 높은 효율을 보여주고 있는 반면에 10리터의 경우 산소 공급량에 비해 극히 저조한 용해율을 보인다. 산소의 공급량이 적으면 용해 한계점까지 도달하는 시간이 길지만 용해 성능은 뛰어난 것으로 보이며 이러한 실험을 통해 분당 0~10L의 산소량은 효율에 반비례하다는 것을 알 수 있었다. 용해율 상승에 대해서는 모세관이 있는 이젝터가 모세관이 없는 이젝터에 비하여 낮은 성능을 보이고 있으나 그래프 형태를 파악 하였을 시 상승 정도가 균형적이면서 안정적인 용해율의 상승을 나타낸다.

난류 시뮬레이션에서 도출된 결과와 비교해 보았을 때 모세관이 없는 이젝터는 난류발생과 난류형태가 불안정하였으며 실증 실험 결과에서도 모세관이 없는 이젝터의 DO상승과 용해 효율이 불균형적으로 나타남을 알 수 있었다. 반대로 모세관이 있는 이젝터의 경우 DO수치와 상승 시간이 모세관이 없는 이젝터 보다 미미한 차이로 저조한 편이나 난류의 형상이 일정한 형태를 유지하고 있었으며 실증 실험에서 DO상승과 효율이 균형적이다. 결과적으로 6~10L의 산소를 10분간 공급하여 최대 용해도에 도달한 후 산소공급을 분당 2L로 감소시킴으로 장시간 산소 용해율을 유지할 수 있다.

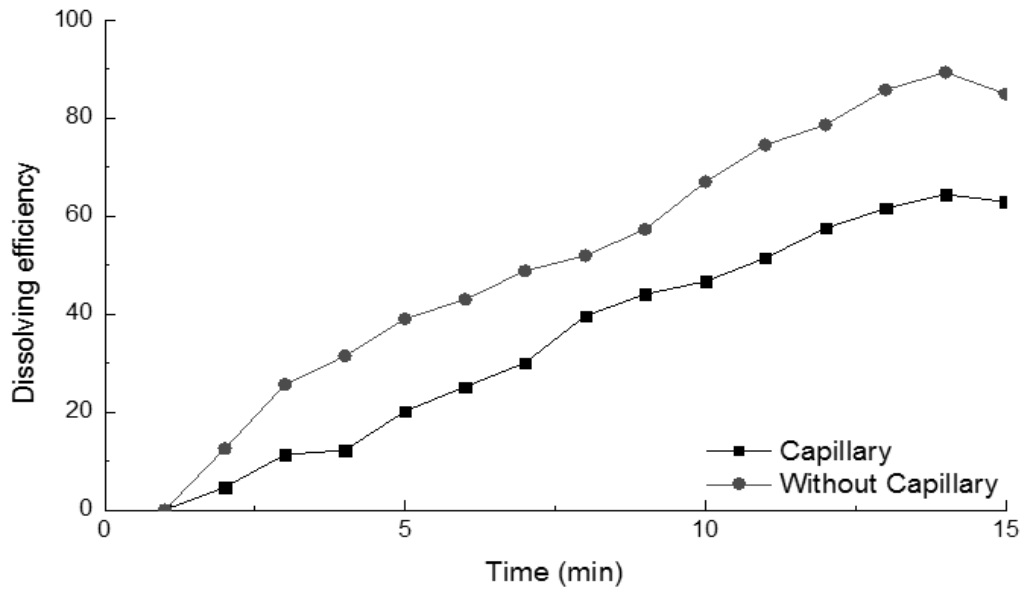


Fig.61 Dissolution data during supply to 2L oxygen per minute

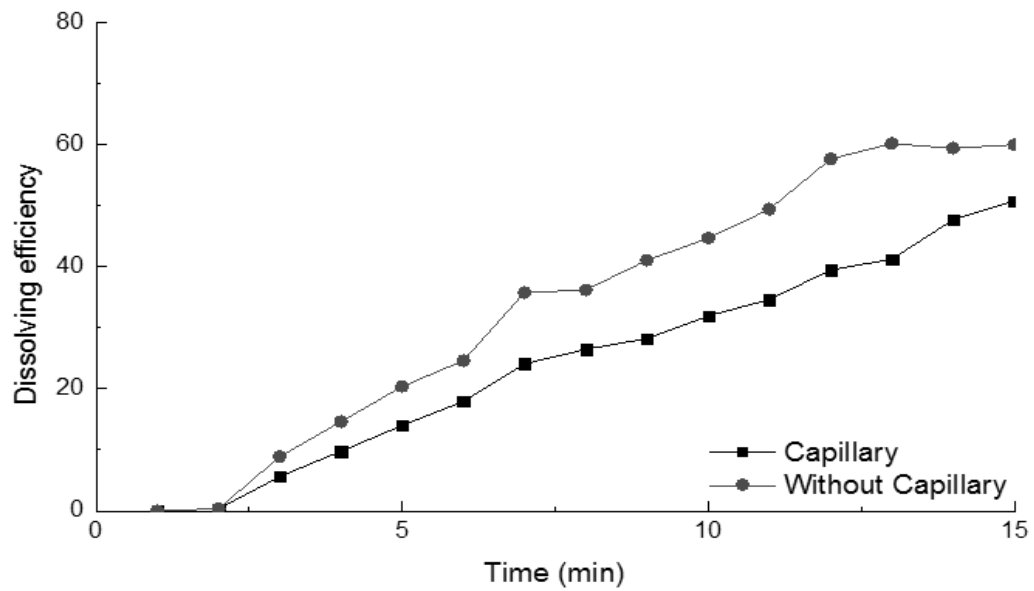


Fig.62 Dissolution data during supply to 4L oxygen per minute

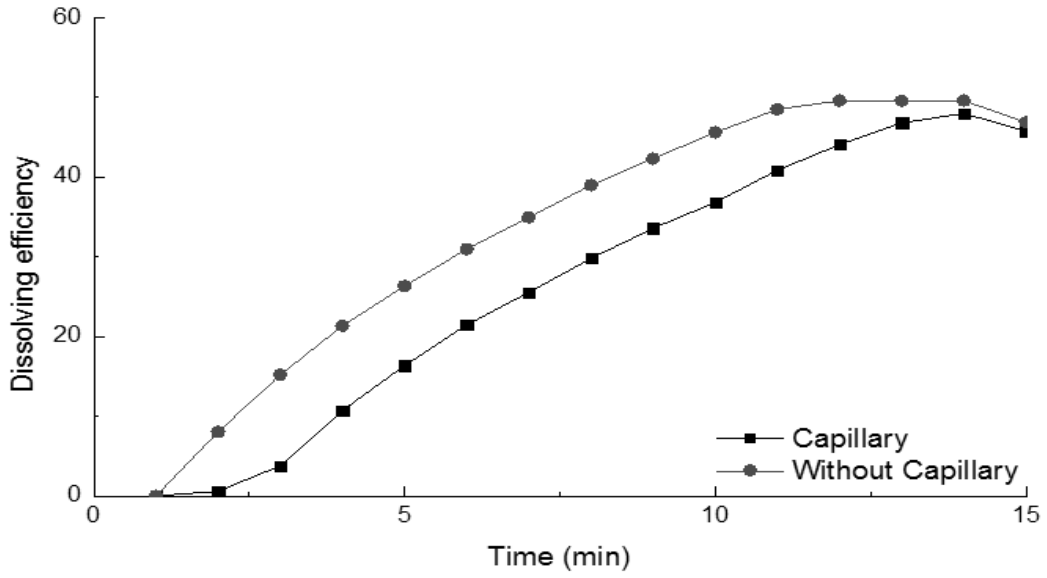


Fig.63 Dissolution data during supply to 6L oxygen per minute

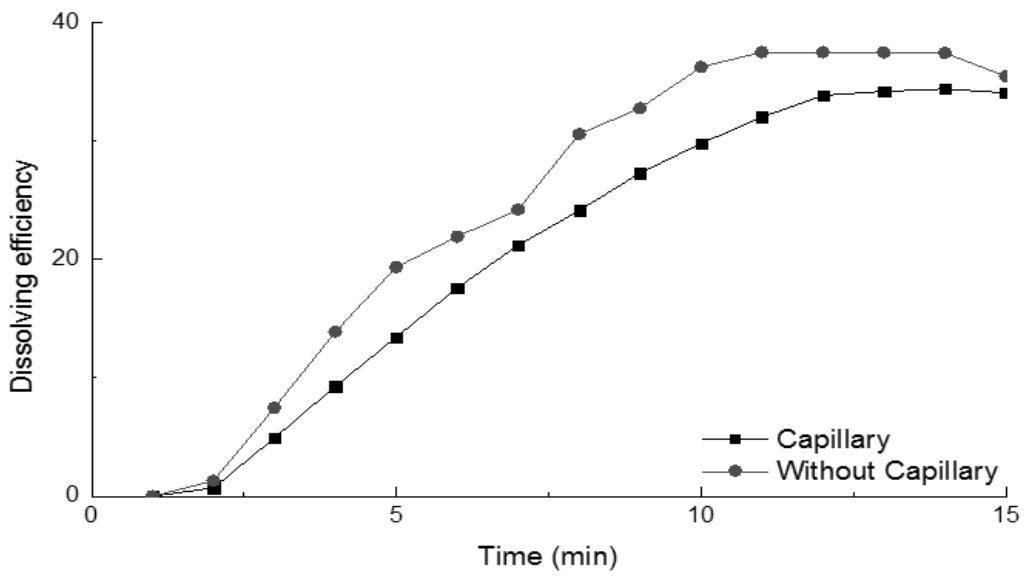


Fig.64 Dissolution data during supply to 8L oxygen per minute



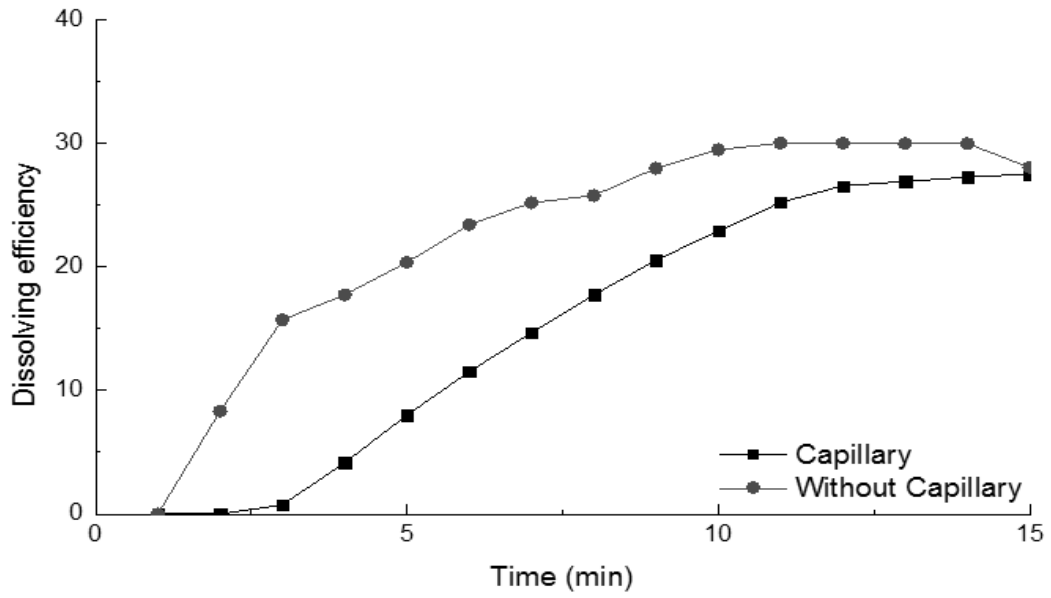


Fig.65 Dissolution data during supply to 10L oxygen per minute

## 제 5장 결론

본 연구에서는 압력 차를 이용하여 외부에서 별도로 가해지는 인위적 압력 없이 기체 용해 장치 내부로 기체를 투입하여 고농도 용해수를 생산할 수 있는 기체 유입 간극 및 통로를 가진 이젝터 형상을 개발하고 특성을 분석하였다. 벤츄리 형태의 특징과 난류 발생의 특성을 응용하여 형상만을 이용한 최적용량설계에 대한 연구를 수행하였다.

베르누이 방정식과 레이놀즈 방정식을 이용하여 소형 이젝터 내부에 난류와 확산 조건을 적용하기 위한 형상을 설계 할 수 있었다. 이를 토대로 3D 모델링을 하였다. 3D 모델링을 통하여 CFD 시뮬레이션을 실행하였고 현재 개발된 이젝터 형상을 도출하였다. 이젝터 내부에서 유체 이송으로 인한 감압 현상, 난류에 의한 물의 응력 파괴, 간극을 통한 산소의 미세화를 통하여 기존 용해수 생산 시스템보다 경제적이면서 적용범위가 넓은 제품을 개발하였다. 실증 실험을 통해 인증 해석한 이젝터에 의하여 분당 2~10L의 산소 공급만으로 25ppm~29ppm에 도달 할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

이와 같은 최적 설계된 결과물을 개발함으로 수산업 분야뿐만 아니라 양액재배, 폐수처리, 운송업이 좀 더 개선되어 생산량 증대로 인한 관련 업체들의 사업 활성화부터 넓게는 공업 분야의 공정과정에 오폐수 처리를 통한 오염 확산을 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 아울러 소규모 사업장이나 수중 생물의 이송, 양식업 관련하여 용해수의 이용이 손쉬워짐으로 생산 시장의 활성화 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 향후 양액이나 의료, 반도체 기술 분야에도 적용 가능 할 것으로 예상되며 관련 응용기술에 대한 파급효과를 기대할 수 있으리라 예상된다.

## 참고 문헌

- [1] 국내. 황정옥 기자, 중앙일보 (2015), “[커버스토리] 세계적인 물 부족 문제 해결책을 찾아서”, 4월 19일
- [2] 국내. 한민수, 이연구, 윤현석, 손진원, 김의수, 조은희 (2005), 주식회사 대성 이엔비 “양질의 상수원 수 확보 및 유지관리기술 산소용해수와 미생물제재를 이용한 호소 및 자정력 복원기술”, 환경부, 경기도, “산소용해수와 미생물제재를 이용한 호소 및 폐수역의 자정력 복원기술”최종보고서
- [3] 국내. 웨이스건설 (2009), “신개념의 용존산소 용해시스템”, 웨이스 건설 홈페이지 자료실-에너지절감 , (2015-9-12 방문) [http://www.face0.com/bbs\\_no/zboard.php?id=room03](http://www.face0.com/bbs_no/zboard.php?id=room03)
- [4] 국내. 저자없음, DICER (환경 R&D 연구정보시스템), “산기식 포기조의 설계”, 전문연구 DB, 환경 지식서비스 (2015-9-14 방문) [https://www.dicer.org:8444/home/board/tech\\_design/view.do](https://www.dicer.org:8444/home/board/tech_design/view.do)
- [5] 국내, 환경부 하수도과 (2001) “하수종말처리시설 기계설비공사 설계지침”, 과천, 환경관리공단 <http://me.go.kr> (환경부 홈페이지)-DB-환경자료실-단행본원문에 원문 게재, pp176 ~ 240 (2015-9-15방문)
- [6] 국외특허, 임세기 (1998) “가압식 산소 용해방법”, 일본 1998.01.22. 특허등록 1003067900000
- [7] Victor L.Streeter, E.Benjamin Wylie, Keith W.Bedford (2000), “Venturi metter, Bernoulli’s equation”, Fluid Mechanics, McGraw-Hill, NewYork, pp 203~208
- [8] Victor L.Streeter, E.Benjamin Wylie, Keith W.Bedford (2000), “Laminar flow amd Turbulent flow” Fluid Mechanics, McGraw-Hill, NewYork pp261~286
- [9] 김지용(2011), (주)태성에스엔이, FLUENT Basic ,도서출판 계림 , 서울 성동구 pp18~40
- [10] 김지용(2011), (주)태성에스엔이, FLUENT Turbulence,도서출판 계림, 서울 성동구 pp18~40
- [11] 김가람, “마이크로버블 생성 및 이론 비교특징”, 2013-04-12, (주)오투엔, <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=isteel9606&logNo=120187844288&parentCategoryNo=95&categoryNo=&viewDate=&isShowPopularPosts=true&from=search>
- [12] 임지영, 김현식, 박대석, 조영근, 송승준, 박수영, 김진한, “마이크로버블 공급에 의한 폭기조내 교방과 용존산소 분포 특성”, 한국산화기술학회 논문지, 2016년, 17권 5호(통권131호) pp.251-259
- [13] 한무영, 박용효, 광동희, 전경훈(2001) “기포의 입자의 크기가 DAF 효율에 미치는 영향”, 상하수도학회지, 제 16권 제 3호지, pp.197 ~ 202
- [14] 윤정의, “다공성 재질의 목을 가진 벤츨리 관 공기방울 발생장치의 설계를 위한 유동해석”, 대한기계학회논문집 B권 제40권 제10호 (통권 제373호), 2016.10, 667-672 (6 pages)