

최종연구보고서

# 홍삼 가공공정의 자동세척기 개발

(Development of automatic washing machine in  
manufacture process of red ginseng)

연구기관

한국기계연구원

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “홍삼 가공공정의 자동세척기 개발” 과제의 최종보고서로 제출  
합니다.

2001. 12. 23.

주관연구기관명 : 한국기계연구원

총괄연구책임자 : 송 치 성

연 구 원 : 나 은 수

연 구 원 : 김 병 덕

연 구 원 : 황 낙 순

연 구 원 : 노 규 석

연 구 원 : 백 영 수

연 구 원 : 김 성 철

# 요 약 문

## I. 제 목

홍삼 가공공정의 자동세척기 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

인삼이 우리나라 농업 전체에서 차지하는 비중은 1.0% 수준이지만 대표적인 고유 특 산물이며 전략적 수출품목으로써 '99년의 경우 농산물 총생산액 31조원 6380억원 중에서 인삼이 차지하는 비중은 1.2%로 3932억원<sup>1)</sup>에 해당되어진다.

수삼은 자체수분함량이 75~80%인 건조하지 않은 인삼<sup>2)</sup>이라고 지칭하며 수확시기와 수매 및 가공장으로 이송되는 동안의 체류시간에 의해서 약간의 차이가 있지만 상당량의 토양성분과 이물질이 표피에 잔존한다.

수삼이 세척 공정에서 얼마나 깨끗하게 세척하는가 하는 문제도 중요하지만 기존 세척기의 대부분을 차지하고있는 텀블러형은 교반과 이송을 위한 스크류식 루브레의 외통 회전운동에 의한 이송에서 수삼의 꼬임현상을 더욱 심하게 할 뿐 아니라 기계식 강제 이송으로 인하여 다리나 표피가 손상되는 문제점이 발생하게 된다.

또한 콘베아 이동샤워식 세척기의 경우 180도 위상전환 교반이 잘 이루어지지 않고 또한 원료수삼의 복잡한 구조 때문에 발생되어지는 꼬임현상으로 적치된 수삼의 단면 위주로 세척되어져 수삼의 적치에 의해서 발생되어지는 망사형 밴드 접촉면과 수삼의 측면 세척이 불완전하여 수작업으로 마무리하고 있는 실정이다.

수삼의 복잡한 구조적 특성으로 인하여 수작업으로 세척할 경우에도 다리나 잔가지의 손상이 쉽게 발생한다. 또한 이 경우 개인 능력과 작업환경, 기분에 따라서 발생하는 작업결과는 상당히 다르게 나타난다.

그러므로 세척공정에서 발생되어지는 수삼의 손상을 최소화 하고 세척결과에 대한 균일화를 기할 수 있는 고효율 기계식 세척기의 연구개발이 필요하다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

1. 수삼의 세척수 내압특성을 살펴보기 위해서 단구경 직선노즐을 이용하여 분사위치에 따른 파손 및 세척정도(회분 및 산불용성회분)를 측정하고 분석하였다.
2. PIV 유동해석을 기초로 한 세척조내의 단일방향성 거대와류 형성원리를 적용하여 설계에 기준이 되는 모델세척기를 설계 및 제작하여 적용실험하여 최적 운전조건과 세척수압 및 체류시간 변화에 따른 세척특성을 규명하였다.
3. 에젝터는 기존의 연구내용을 접목하되 최적인전시 세척수량에 대한 공기의 체적비율이 20% 가능한 것을 기준 사양으로 설계 및 제작하였다.  
에젝터 배열은 CFD해석에 의한 와류공백구역을 최소화 하며 원료수삼의 세척수류는 최적항류가 가능한 장착각도 및 엇갈림각 배열을 적용하였다.
4. 모델세척기의 연구를 기초로하여 체적스케일업 기술적용으로 세척능력 500kg/cm<sup>2</sup> 시작품을 설계 및 제작하였다. 운전조건 및 적용수압은 모델세척기의 실험 결과 나타난 최적의 조건을 채택하였고 단(Stage)별 세척개념을 도입함에 따라 Batch - Continuous 자동화 운전으로 체류시간을 임의로 조절할 수 있도록 하였다.
5. 원료수삼에 대한 물성분석은 함수율, 회분, 산불용성회분을 전문측정기관에 의뢰하여 측정하였고 이를 세척전·후 수치비교함으로써 세척정도와 기계성능을 판단할 수 있도록 하였으며 인삼산업법과 대한약전의 검사 기준치를 적용하였다.

### IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 수삼의 내압특성

단구경 노즐분사 실험장치를 갖추고 분사거리와 압력변화를 시키면서 실험을 수행하였다. 수삼의 외피 또는 몸체, 겉가지에 손상을 주지 않는 최적 수압을 밝혀내었고 또한 세척특성을 분석하였다.

수압이 3 kg/cm<sup>2</sup> 이상일 때는 30초 이내에 수삼 전체에 대한 손상이 이루어졌고 4 kg/cm<sup>2</sup> 이상에서는 줄기 자체가 패이면서 절손되어져 2 kg/cm<sup>2</sup> 이내가 최적 세척압임을 알 수 있었다.

회분의 변화를 살펴보면 노즐의 직경과 분사거리와의 뚜렷한 관계가 보이지 않는다. 이것은 4년~6년근 수삼 한뿌리의 체적에 한정되기 때문에 직선노즐분사에 의해 수삼에 작용하는 수압과 수량면에서 별 차이점을 보이지 않기 때문이다.

그러나 매 조건마다 수압을  $1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 부터  $6 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 까지  $1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  간격으로 상승시킬 경우 회분과 산불용성회분은 감소하는 경향을 나타내고 있다.

산불용성회분은 대체로 토양성분중 규소에 해당되며 인삼산업법에는 특별히 규정되어 있지는 않지만 일반적인 약재의 경우 2%이하<sup>6)</sup>를 그 기준(보건복지부, 2000)으로 하기 때문에 토양성분 제거능력은 대체적으로 만족할만한 수준으로 나타났다.

2. 모델세척기는 펌프압력, 세척조내의 수압 체류시간을 임의로 조절할 수 있으며 외부에서 육안관찰이 가능한 소재로 선택하였다.

선행 연구에서 PIV 유동계측 실험장치를 이용하여 동시다점에서 발생하는 세척기 내에서의 수류방향과 속도 Vector를 계측함에 있어서 유량을 세종류로 변화시켜 각각의 유동 패턴을 조사한 결과 W"자형 유동 안내판은 모형세척기 내에서는 대칭적인 와류가 상존하게 하고 이러한 와류는 세정에는 상당한 도움이 되지만 지나치게 빠른 와류형성시 수삼의 꼬임 현상으로 잔가지등의 파손 현상이 발생할 수 있다. 즉 좌우 대칭형 반시계 방향의 빠른 와류는 수삼을 덩어리화 시킬 뿐만 아니라 덩어리로 뭉쳐지면서 다리의 꼬임현상으로 다리, 잔가지뿐만 아니라 몸통까지도 손상이 발생할 우려가 있다.

그러므로 와류의 선회속도를 최소로 하면서 Count Flow에 의한 세척효과를 높이기 위해서는 에젝터의 분사각도 조절이 필수적이며 특히 상부의 표면류에 직접적인 영향을 주는 에젝터 장착각도  $\theta_1 = 0^\circ$  로 하였다. 하부에젝터 장착각도  $\theta_2 = 45^\circ$  로 하여 하부 에젝터에 의해서 발생된 강한 운동에너지는 강한 와류를 발생시키지만 상부에젝터에서 발생하는 수평향류에 의해서 상당부분 상쇄되어져 세척효과를 증대 시킬 뿐만 아니라 꼬임현상과 손상을 상당히 줄일 수 있는 구조로 하였다. 즉 수삼표면에 대한 충격효과와 기포 발산효과에 의해서 세척효과를 최대화 할 수 있다.

세척실험에서 최대 체류시간인 20분에서는 회분의 경우 대부분 최저치인 4.0 이하로 나타났고 산불용성회분 역시 1.2% 이하로 최저치를 기록하고 있어 회분과 산불용성회분의 기준치인 각각 5% 이하, 2% 이하를 만족하고 있다. 특히 10분간 예비블립의 경우는 0.82%를 나타내어 최적세척조건은 에젝터 공급수압  $2\sim 3 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ , 체류시간  $20 \pm 5$ 분 으로 나타났다.

공급되는 세척수의 수압에 의한 세척효과 보다는 세척조내의 체류시간이 결정적으로 중요한 인자이지만 예비블립 10분과 세척시간 20분을 합한 30분의 세척조 체류시간에서는 거품이 상당량 발생하여 사포닌 성분이 용출되고 있음을 관측할 수 있었기

때문에 인삼산업법<sup>9)</sup>에서 규정한 1시간의 침지 시간은 강제와류시 적용타당성에 대한 연구가 뒤따라야 한다.

3. 시작품인 세척능력 500kg/hr인 수삼세척기는 모델세척기의 동일한 세척조건에서 세척가능체적을 늘이는 스케일업 기법을 적용하였고 시작품 설계에 적용된 Scale up 계수는  $\delta = 6.7$ 이며 세척방식은 3단 회분-연속식으로 각 세척조는 별도의 공간이 확보되었지만 세척시간 지정에 따라 연속적인 공정이 이루어 지는데 제 1단은 예비블립조이며 제 2단 및 제 3단은 에젝터 수류식 세척이 이루어진다.

세척효율을 극대화하고 에너지 효율을 개선하기 위해서 고압수류 노즐과 압축공기를 사용하는 대신에  $2\sim 3\text{kg/cm}^2$  수압으로 물과 공기의 걸보기 체적이 3.7 : 1인 에젝터를 설계·제작하여 최적의 이류체 발생장치를 적용하였다.

또한 상·하단 노즐배치는 엇갈림각 배열(Staggered Array)을 이용하여 “W” 자형 수류 유동관에 의해서 발생되어지는 좌우대칭 CCW 수류형성에서 Shadow Zone이 발생하지 않도록 하였다.

다단 격실형 세척조를 구성함에 있어서 제 1단 세척조는 예비 블립조로 활용함으로써 점착성 불순물을 불릴 수 있고 대부분의 불순물을 제거할 수 있어 폐수처리 문제를 간단화 할 수 있다. 또한 세척조내 체류시간과 수압을 임의로 조절할 수 있어 다양한 세척물성에 대응할 수 있도록 운전조건을 달리할 수 있어 농산물의 세척 적용범위를 넓게 하였다.

실험결과 분석을 통하여 최적의 예비블립시간은 5분보다 20분이 세척효과에 우수하게 나타나지만 체류시간 증대에 따른 사포닌 용출을 고려하고 또한 실제 기준치내에서 회분 및 산불용성회분의 차이를 고려한다면 구태여 오랜기간 예비블립 할 필요없이 5분~10분 정도가 최적이라고 볼 수 있고 에젝터 공급수압과 체류시간은 모델세척기와 동일하게 나타났다.

## SUMMARY

As raw ginseng should be get under the washing process essentially, The quality of final goods is determined because easily damaged and difficult to wash by the reason of complicated structure.

So, it is very important to wash cleanly to the range of criterion without any damage by washing and conveying in the process of washing.

Complicated structure of ginseng always make worker difficult to handle. Especially leg and twig of ginseng are easily damaged by the trust moment when dump of it is tumbling and rolling with mutual action.

Effective washing machine of ginseng is needed for solving the problems and increasing merits.

This study adopted the technology for double fluid composed of water and air which was proved more effective to clean than water only.

Adapted ejector for getting double fluid was possible to approach 20% volume fraction of air without using compressed air additionally.

Study of PIV(Particle Image Velocimetry) enable to design "W" type turbulent guide vane which induce symmetrical single direction turbulence.

Model washing machine of ginseng was designed and manufactured in accordance with the result of flow analysis.

Experimental results of model washing machine was used to design firm scale treatment capacity. Washing machine of firm scale was designed by using scale up technology of volume from the base of model one.

The results were as follow.

1. Identifying water pressure resistance of raw ginseng, Test of single hole nozzle was performed as ejector feed water pressure increased step by step from  $1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2 \sim 6 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  with distance 30cm, 60cm respectively.

Body and leg of ginseng was damaged in a few seconds more than  $3 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$

not only skin of it but also body and legs.

Therefore, Optimum feed pressure in case of single hole washing out was appeared less than  $2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ .

2. Model washing machine of ginseng was designed and manufactured due to PIV flow analysis which showed the symmetrical single directional turbulent in right and left respectively.

Washing results by using the model was come up to the standard as follow.

- Ash : Less than 5%
- Ash of acid non soluble : Less than 2%

Optimal operational condition was showed like below.

- Ejector feed water pressure :  $2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2 \sim 3 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$
- Retention time :  $20 \pm 5 \text{ min}$

3. Applied ejector showed volume fraction of air for water was equivalent to 20%. Numerical analysis was used to determine arraying, especially, staggered array of ejector was adopted that could be done counterflow and little shadow zone of turbulent flow. Equipped angle of ejector was as follow.

- Upper flow :  $\theta_1 = 0^\circ$
- Lower flow :  $\theta_2 = 45^\circ$

4. Firm scale washing machine of ginseng was scaled up with scale factor 6.7 on the basis of the model and applied optimal washing conditions which come from washing experiment of the model. Stage washing concept was applied to be effective for ginseng washing as well as other species of agricultural products like apple, grape, carrot, cabbage etc.

Because submerging time before washing was also very effective, The first stage of composed three stage used as pre-submerging tank.

Second, third stage equipped ejector for washing, So, Whole system was the batch-continuous with auto control of time step for controlling retention time of ginseng in every washing tank.



5. The firm scale showed in washing experiment that the optimal retention time of washing was 15~20 minutes and very similar trends for washing results about ash. But, ash of acid non-soluble showed lower than the results of model in due of harvested time.

When the model was done experiment, Ginseng was six month passed from harvest. So, moisture contents of ginseng was 10% lower than that of firm scale experiment.

Because ash of acid non-soluble is almost silicon component of soil, In case of a little time passed from harvesting, It will be attached very sticky. Therefore, ash of acid non-soluble residue showed less than 1%.

# CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	17
Section 1: Purpose & necessity of study .....	17
Section 2. Contents & extent of study .....	19
Chapter 2.Design and Manufacture of Washing Machine .....	20
Section 1. Essential element technology for design .....	20
1. Flow analysis using P I V .....	20
2. Void Fraction .....	28
3. Ejector .....	32
가. 2 phase generating mechanism of ejector .....	32
나. Pressure Variation of washing ejector .....	33
다. Momentum equation of 1st mixing zone .....	34
라. Pressure drop of 2nd mixing zone .....	35
4. Limit washing pressure & time of ginseng washing .....	38
Section 2. Design algorithm .....	45
1. Scale up .....	45
2. Fluid flow analysis inside of washing tank .....	47
가. General Equations .....	47
나. Boundary Condition .....	55
다. Results and Analysis .....	57
라. Conclusion of Numerical Analysis .....	71

Section 3. Model washing machine .....	73
1. Design & manufacture .....	73
2. Experimental setup .....	75
3. Experiment & analysis .....	78
Section 4. Ginseng washing maghine of capacity 500kg/hr .....	95
1. Design & manufacture .....	95
2. Experimental setup .....	99
3. Experiment & analysis .....	101
Chapter 3. Conclusion .....	113
Reference .....	115
Appendix I , II .....	117

## 목 차

제1장 서 론 .....	17
제1절 연구의 목적 및 필요성 .....	17
제2절 연구의 내용 및 범위 .....	19
제2장 세척기 설계 및 개발 .....	20
제1절 설계를 위한 핵심요소 기술 .....	20
1. P I V 유동해석 .....	20
2. Void Fraction .....	28
3. 에젝터 .....	32
가. 에젝터의 2phase fluid 생성 메카니즘 .....	32
나. 세척 에젝터의 압력 변화 .....	33
다. 1st Mixing Zone의 운동 방정식 .....	34
라. 2nd Mixing Zone의 압력강하 .....	35
4. 수삼세척의 한계 수압과 세척시간 .....	38
가. 직선 노즐을 이용한 손상 및 세척 실험 .....	42
제2절 설계알고리즘 .....	45
1. 설계알고리즘 .....	45
가. 스케일 업 .....	45
2. 에젝터 수류형성 수치해석 .....	47
가. 지배방정식 .....	47
1) 일반 지배방정식 .....	47
2) 난류 모델 .....	50
3) 벽함수(wall function) .....	53
나. 경계 조건 .....	55
다. 결과 및 분석 .....	57
1) 공급압력 $2\text{ kg/cm}^2$ 세척시 노즐의 위치이동 .....	57

2) 공급압력 $2\text{ kg/cm}^2$ 세척시 노즐의 간격변경 .....	63
가) 평행한 z방향으로의 간격 조정 .....	63
나) 수직인 y방향으로의 간격 조정 .....	67
라. 수치해석 결론 및 활용 .....	71
제3절 모델세척기 .....	73
1. 설계 및 제작 .....	73
2. 실험장치 구성 .....	75
3. 실험 및 분석 .....	78
제4절 세척능력 $500\text{kg/hr}$ 수삼세척기 .....	95
1. 시작품의 설계 및 제작 .....	95
2. 실험장치 구성 .....	99
3. 실험 및 분석 .....	101
제3장 결론 .....	113
참 고 문 헌 .....	115
Appendix I. Design Plan .....	117
Appendix II. Figures of Experiment & Equipment .....	118

## 표 목 차

Table 2. 1 Resisting Water Pressure of Ginseng .....	39
Table 2. 2 Experimental Conditions of Single Hole Nozzle .....	40
Table 2. 3 Water Velocity & Quantity for Variance of Water Pressure .....	42
Table 2. 4 1st Experimental Conditions of Direct Nozzle Spray Test and Results .....	43
Table 2. 5 Diffusion coefficient and source term expression for 3-D rectangular coordinate .....	49
Table 2. 6 Operational Conditions of Model Washing Machine .....	79
Table 2. 7 Experimental Result of Model Washing Machine .....	80
Table 2. 8 Operational Conditions of 3rd Experiment .....	88
Table 2. 9 Results of 3rd Experiment .....	88
Table 2. 10 Design Results .....	97
Table 2. 11 1st & 2nd Experimental Conditions of Full Scale Washing Machine .....	102
Table 2. 12 1st Washing Results Using by Experimental Set up .....	103
Table 2. 13 2nd Washing Results Using by Experimental Set up .....	109

## 그 립 목 차

Fig. 2. 1 Schematic arrangement of PIV system .....	20
Fig. 2. 2 View of experimental washing tank .....	21
Fig. 2. 3 Background Image .....	23
Fig. 2. 4 Diagram of Cross Correlation Method .....	23
Fig. 2. 5 Time-mean velocity profile distribution .....	25
Fig. 2. 6 Time-mean velocity distribution .....	27
Fig. 2. 7 Schematic Diagram of Washing Tank .....	28
Fig. 2. 8 Ascension Velocity of Air Bubble in Liquid Pole with Rest State .....	30
Fig. 2. 9 Schematic Diagram of Ejector .....	32
Fig. 2. 10 Experimental Apparatus of Pressure Resistance for Ginseng .....	41
Fig. 2. 11 The Picture of Damaged Ginsengs .....	44
Fig. 2. 12 Velocity near a solid wall .....	54
Fig. 2. 13 Schematic Diagram of Washer for Numerical Analysis .....	55
Fig. 2. 14 Boundary Condition of Domain in Washing Tank .....	57
Fig. 2. 15 v Velocity Intensity at z-y Plane .....	60
Fig. 2. 16 Velocity Vector at z-y Plane (at $x = 0.27m$ ) .....	61
Fig. 2. 17 Velocity Vector at z-y Plane (at $z = 0.25m, z = 1.65m$ ) .....	62
Fig. 2. 18 v Velocity Intensity at z-y Plane .....	64
Fig. 2. 19 Velocity Vector at z-y Plane (at $x = 0.27m$ ) .....	65
Fig. 2. 20 Velocity Vector at z-y Plane (at $z = 0.25m, z = 1.65m$ ) .....	66
Fig. 2. 21 v Velocity Intensity at z-y Plane .....	68
Fig. 2. 22 Velocity Vector at z-y Plane (at $x = 0.27m$ ) .....	69
Fig. 2. 23 Velocity Vector at z-y Plane (at $z = 0.25m, z = 1.65m$ ) .....	70
Fig. 2. 24 Design Procedure of Model Washing Machine .....	74
Fig. 2. 25 Schematic Diagram of Model Washing Tank .....	74
Fig. 2. 26 Schematic Diagram of Experimental Set up .....	75

Fig. 2. 27 Model Washing Machine attached Plunger Pump .....	76
Fig. 2. 28 Assembled with Air Inlet Tube & Vacuum Meter .....	77
Fig. 2. 29 Screen for Ejector Water Feed Pressure Control .....	77
Fig. 2. 30 Submergible Pump & Water Distributor .....	78
Fig. 2. 31 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 5 minute .....	81
Fig. 2. 32 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 10 minute .....	82
Fig. 2. 33 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 15 minute .....	83
Fig. 2. 34 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 20 minute .....	84
Fig. 2. 35 Weight Percent of Ash with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time .....	85
Fig. 2. 36 Weight Percent of Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time .....	86
Fig. 2. 37 Turbulent Water Flow in Model Washer at Pressure 2.0 .....	87
Fig. 2. 38 Ginseng in Washer after Ejector Washing System .....	87
Fig. 2. 39 Experimental Results of Ash with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time .....	89
Fig. 2. 40 Experimental Results of Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time .....	90
Fig. 2. 41 Experimental Results of Ash for the Retention Time and Submerging Time .....	91
Fig. 2. 42 Experimental Results for the Retention Time and Submerging Time .....	92
Fig. 2. 43 Washing Results of Ginseng .....	94
Fig. 2. 44 Design Procedure of Ginseng Washing Machine(500kg/hr) .....	95
Fig. 2. 45 Schematic Diagram of Ejector .....	98



Fig. 2. 46 Schematic Diagram of Experimental Set up .....	99
Fig. 2. 47 Conveying Nozzle Assembly .....	101
Fig. 2. 48 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 5 minute retention Time .....	103
Fig. 2. 49 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 10 minute retention Time .....	105
Fig. 2. 50 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 15 minute retention Time .....	106
Fig. 2. 51 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 20 minute retention Time .....	106
Fig. 2. 52 Washing Results of Ash with Variance of Submerging Time and the 2nd & 3rd Tank retention Time .....	107
Fig. 2. 53 Washing Results of Ash of Non-Soluble Acid with Variance of Submerging Time and the 2nd & 3rd Tank retention Time .....	108
Fig. 2. 55 Washing Results of Ash of Non-Soluble Acid with Variance of Submerging Time and the 2nd & 3rd Tank retention Time .....	111
Fig. 2. 56 Washing Results of Ash at 1st & 2nd Experiment .....	112
Fig. 2. 57 Washing Results of Non-Soluble Acid at 1st & 2nd Experiment .....	112

# 제 1 장 서 론

## 제 1절 연구의 목적 및 필요성

인삼은 우리나라 농업 전체에서 차지하는 비중은 1.0% 수준이지만 대표적인 고유 특산물이며 전략적 수출품목으로써 '99년의 경우 농산물 총생산액 31조원 6380억원 중에서 인삼이 차지하는 비중은 1.2%로 3932억원<sup>1)</sup>에 해당되어진다. '99년 우리농산물의 총수출액은 14억 1200만달러에 달하고 이중 인삼은 8400만 달러로 5.9%를 점유하고 있지만 '90년도의 경우 20.8%에 비하면 71.6%<sup>1)</sup>나 감소한 수치이다. 이것은 주로 재배적지의 확보와 인력부족 유통가격의 불안정과 독일을 비롯한 프랑스, 호주, 뉴질랜드 등의 국가에서 인삼재배기술의 향상과 세계시장의 진출에 의한 부가가치 감소 영향이라고 볼 수 있다. 그러나 '98년 이후 인삼의 생산량과 농가호수 및 수출금액이 미소하게 증가되어지고 있는 것으로 나타나고 있다.

인삼의 상품화 가공을 위해서는 필수적으로 원료수삼의 세척공정을 거쳐야 하는데 원료수삼의 복잡한 구조상 상당부분을 인력에 의존해왔지만 노동인력과 부가가치향상을 위해서는 기계적으로 보다 완벽한 세척공정이 필요하다.

수삼을 고부가가치 상품으로 만들기 위해서는 미세한 뿌리까지도 손상시키지 않고 깨끗하게 세척하는 작업이 무엇보다도 중요하다. 이러한 세척공정이 수작업에 의존할 경우 개개 수삼에 대한 세척과 확인이 동시에 이루어지는 장점도 있지만 많은 인력이 소요되고 개인의 능력과 작업 환경에 의해서도 그 결과는 크게 다르게 나타날 수 있다. 그러므로 이러한 세척공정을 기계화함으로써 세척 정도에 대한 균일성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 노동 인력 확보와 운영비용 측면에서도 상당한 절감효과를 기대할 수 있다.

수삼은 자체수분함량이 75~80%인 건조하지 않은 인삼<sup>2)</sup>이라고 지칭하며 수확시기와 수매 및 가공장으로 이송되는 동안의 체류시간에 의해서 약간의 차이가 있지만 상당량의 토양성분과 이물질이 표피에 존재한다.

수삼의 세척 공정에서 얼마나 깨끗하게 세척하는가 하는 문제도 중요하지만 기존의 회전식 텀블러 세척기 내에서는 교반 및 이송과정에서 수삼이 꼬여 일부분이 절손이 되는 경우에는 상품의 가치를 상당 부분 상실하기 때문에 세척은 상품의 부가가치를 결정하는 중요한 공정이 되는 것이다. 즉 수삼의 잔뿌리나 표피의 손상 없이 얼마만큼 깨끗하게 세척하는가 하는 문제이다.

현재 국내 홍삼가공공정에서 적용되어지고 있는 세척기는 대부분 텀블러형으로 드럼 스크린형의 외통 내부에 2~3 kg/cm<sup>2</sup>의 살수 노즐이 배치되어 있고 교반과 이송을 위한 스크류식 루브레가 장치되어 있다. 투입된 수삼은 통상 직경 1m 이상의 외통 회전운동에 의해서 30° 부근에서 살수 노즐에 의한 세척수의 세척이 이루어지고 외통의 직경방향 상부 최정점 부근에서는 자유낙하 하면서 루브레 각도에 의한 이송이 이루어지며 이러한 반복적인 세척과 이송을 통해서 세척이 이루어지는 동안 세척효과에 필수적인 불림현상이 적고 고압세척수 접촉시간이 매회전당 일정각도에만 한정되기 때문에 세척효과가 적어지게 된다. 또한 회전운동에 의한 루브레의 이송역할은 수삼의 꼬임현상을 더욱 심하게 할 뿐 아니라 기계식 강제 이송으로 인하여 뿌리나 표피가 손상되는 문제점이 발생하게 된다.

콘베아 이동샤워식 세척기의 경우 180도 위상전환 교반이 잘 이루어지지 않고 또한 원료수삼의 복잡한 구조 때문에 발생되어지는 꼬임현상으로 적치된 수삼의 단면 위주로 세척되어져 수삼의 적치에 의해서 발생되어지는 망사형 밴드 접촉면과 수삼의 측면 세척이 불완전하여 수작업으로 마무리하고 있는 실정이다.

그러므로 전체 세척공정에서 기계적인 구조물의 영향을 거의 받지 않도록 수류에 의한 세척과 이송이 이루어질 경우 높은 세척효율과 수삼의 다리 및 표피의 손상을 최소화 할 수 있을 것이다.

물과 공기의 혼합에 의한 이류체 적용세척효과는 기존의 각종 세척방식에서 그 효과가 입증되었고 널리 활용되어지고 있으며 특히 1996년 채소류 폐기물 처리시스템 개발<sup>3)</sup>에서 공기방울세척 수조를 적용한 결과 세척효과를 극대화시킴과 동시에 재료를 한쪽방향으로 이송할 수 있었고 2000년 인삼자동세척세척시스템 개발<sup>4)</sup>에 관한 연구에서는 PIV 유동해석을 통하여 가장효율적인 유동이 이루어 지도록 세척조 하부에 W자형 구조물을 설치함으로써 좌우 상호 대칭 와류를 형성이 가능하였고 이때 강한 속도

벡터의 작용으로 원료수삼은 회전운동과 충격와류에 의해서 복잡한 구조에도 세척작용을 최대화 시킬 수 있었다.

이러한 문제점을 극복할 수 있는 수삼세척기를 개발하기 위하여 본 연구에서는 물과 공기를 이용한 이류체를 적용하되 수조 하부에서 별도의 압축공기를 사용하지 않고 2-3kg/cm<sup>2</sup>의 세척수 유입시 발생되어지는 부압에 의해서 자연적으로 공기유입이 이루어지는 에젝트방식을 이용하였다. PIV(Particle Image Velocimetry) 유동해석 결과 나타난 W자형 상호대칭 유동을 유도하고 와류공백구역을 최소화 하기 위해서 에젝터를 엇갈림각으로 배열하였다. .

기존의 수삼세척시 나타나는 세척기의 문제점을 해결하고 높은 세척효과를 구현함으로써 원료수삼의 부가가치를 향상시킬 수 있는 에젝터를 이용한 이류체 와류식 세척기를 개발하여 사용화를 목표로 하였다.

## 제 2절 연구의 내용 및 범위

PIV 유동해석을 기초로 한 세척조내의 단일대칭 와류형성 원리를 적용하여 설계에 기준이 되는 모델세척기를 설계 및 제작하여 적용실험후 최적의 조건으로 실용규모인 세척능력 500kg/hr으로 스케일업 하였다.

에젝터는 기존의 연구내용을 접목하되 최적운전시 세척수량에 대한 공기의 체적비율이 20% 가능한 것을 기준 사양으로 설계 및 제작하였다.

에젝터 배열은 CFD해석에 의한 와류공백구역을 최소화 하며 원료수삼의 세척수류 최적향류가 가능한 장착각도 및 엇갈림각 배열을 적용하였다.

운전조건 및 적용수압은 모델세척기의 실험 결과 나타난 최적의 조건을 채택하였고 단(Stage)별 세척개념을 도입함에 따라 Batch-Continuous 자동화 운전으로 체류시간을 임의로 조절할 수 있도록 하였다.

원료수삼에 대한 물성분석은 함수율, 회분, 산불용성회분을 전문측정기관에 의뢰하여 측정하였고 이를 세척전후 수치비교함으로써 세척정도와 기계성능을 판단할 수 있도록 하였으며 인삼산업법과 대한약전의 검사 기준치<sup>6)</sup>를 적용하였다.

## 제 2 장 세척기 설계 및 개발

### 제 1절 설계를 위한 핵심요소 기술

#### 1. P I V 유동해석

실험에 적용할 모형세척기를 투명아크릴로 제작하여 유동장을 형성시켰으며, 유동 계측을 위하여 최근에 크게 각광을 받고 있는 PIV(Particle Image Velocimetry, 입자 영상유속계)를 적용하여 동시다점으로 속도를 정확하게 계측한 다음, 이 데이터를 활용하여 계측영역 내에서 유량변화에 따른 순간 및 시간평균 속도벡터 등을 정량적으로 도시하였다.

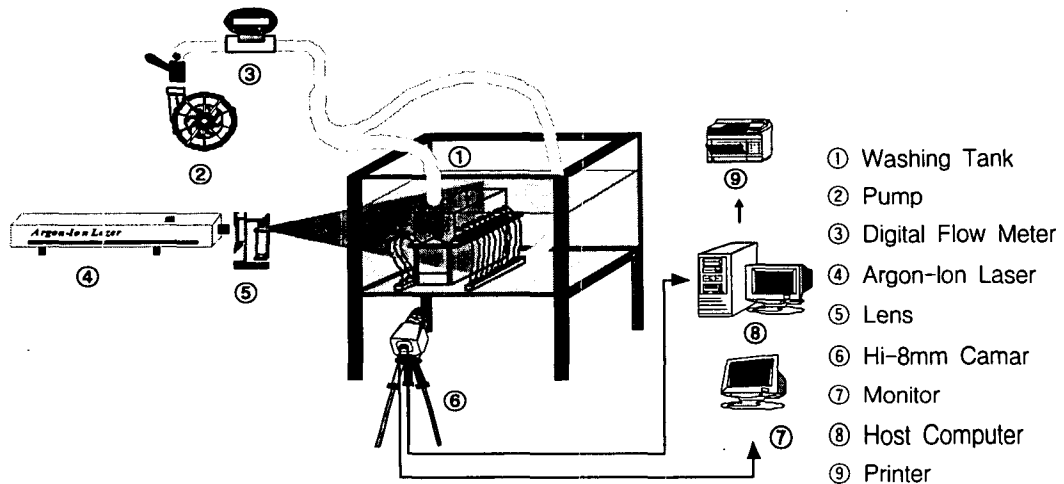


Fig. 2. 1 Schematic arrangement of PIV system

그림 2. 1은 세척기 실험을 위한 배치도를 보이고 있다. ①번은 모형세척조이며 투명아크릴 및 소형노즐 40개를 사용하여 4열 등간격 노즐배치를 이루도록 하였다. ②번은 세척수 순환펌프이며 세척구동수의 공급역할을 하도록 하였다. 실제에서는 다단식 볼류트 고압원심펌프등이 사용될 수 있겠으나 이 실험에서는 유동현상을 측정하는 것

이 목적이기 때문에 소형원심펌프를 채택하였다. ③번은 유량을 계측하기 지털유량계이다. ④번은 Argon-Ion Laser를 이용하여 Sheet Light를 형성하고 ⑥번의 Hi-8mm 카메라에 의해 영상을 입력받았다.

세척기의 폭은 408.7mm이며 스펀방향 길이는 550mm이다. 좌우에 각 2열씩 10개의 분사노즐을 50mm씩 등간격으로 배치하였으며 바닥의 W자형 구조에는 각각 105mm, 149.7mm의단을 두었다. 실제노즐에서는 노즐배치각도 및 분사각도 등을 자동으로 조절하여 제트 수류의 방향 및 크기를 조절할 수도 있으나, 이 모델실험에서는 분사각도는 모두 지지판에 대하여 90도의 각도만을 유지하도록 하였다. 또한 노즐의 분사속도도 상하 모두 같게 하여 이 때의 유동특성을 유지할 수 있도록 하였다. 세척기내로 들어온 세척수는 상부의 오픈스페이스 격벽을 통하여 좌우로 오버플로우하도록 하였으며 실험상에서도 똑같은 조건을 유지하도록 외부수조의 수위를 조정하여 세척기 양쪽의 높이와 같도록 하였다. 노즐은 황동제 시판용의 직경3mm의 부속구를 사용하였으며 배관은 플렉서블 P·P관을 채택하였다.

실험에서는 모형세척기 정면에서 노즐과 노즐사이 유동장을 계측할 수 있도록 고안하였다.

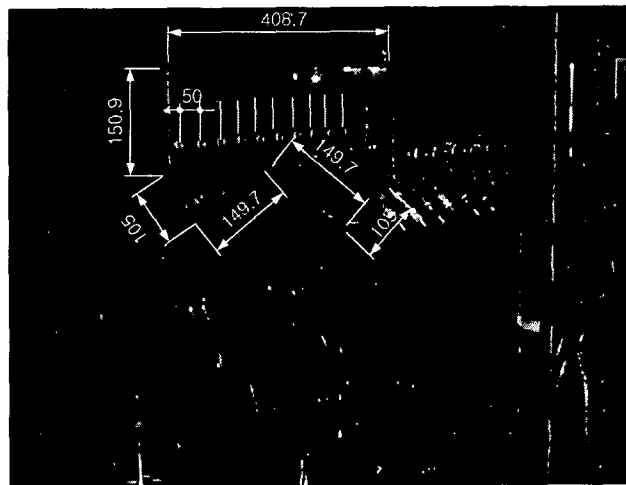


Fig. 2. 2 View of experimental washing tank

그림 2. 2는 실제의 실험장치모형을 보여주고 있다.

PIV용으로서 2차원의 광원을 제공하기 위한 출력 5W의 수냉식 아르곤 이온레이저로

부터 나온 직진광을 2차원의 평면광으로 바꾸기 위해서 원통렌즈를 사용한다. 그리고 이 렌즈를 관통한 조명은 직접 계측단면에 조사된다. 영상 처리과정에서 150.9mm는 206pixel에 해당하고 입자는 비중이 1.02로서 물과의 비중차가 작은 100미크론 전후의 PVC추적입자에 정전기 방지를 위해 계면 활성제를 소량 혼합하여 계측직전에 수조에 투입한 후 레이저의 산란광의 영향으로 크게 빛나게 되며 이 움직임을Hi-8mm카메라로 연속 입력하여 PIV용의 영상정보로서 기록하게 된다.

본 가시화실험에 있어서는 먼저 유동장을 형성하고 추적입자를 유동장에 주입시킨 다음에 적당한 조명을 제공한다. 계측영역의 영상을 테이프 매체상에 영구 보존하기 위하여 Hi-8mm 캠코더에 저장하였다. 저장된 유동장은 다시 재생과정을 거쳐 영상처리장치에 입력된다. 영상처리장치로는 이미지 그래버(DT3155, 640×480pixel, B&W)를 CPU(333MHz)의 호스트 컴퓨터에 내장하여 사용하였다. 실험에서 사용된 DT3155보다는 영상기록매체로부터 공급된 유동장의 아날로그 신호를 비트(bit)단위로 정의되는 디지털 영상정보로 바꾸어 주는 역할을 하며 각종 전처리 조작은 전용의 소프트웨어(CACTUS'2000)를 이용하였다. 그림 2. 3은 유량이 27 l/min에서 계측영역내 배경영상을 나타낸 것이다. 속도벡터 추출을 위한 유동장의 영상처리에는 반드시 전처리 과정이 필요하며 다양한 기법들이 소개된다. 이 과정으로 잡음제거, 회전보정 등을 거친 다음, 2차화된 영상으로 탐색반경을 결정한 후에 유동장의 거동특성을 관찰하여 상관영역을 설정한다.

전처리 과정 중에 가장 큰 비중을 차지하는 것은 잡음제거에 있어 큰 효과를 얻을 수 있는 배경제거(background elimination)이다. 이것은 계측영역에서 입자를 제외한 고정물체를 제거하여 영상의 불필요한 부분을 최소화하며 처리영상에 포함된 노이즈를 제거하기 위한 것이다. 이를 위하여 연속된 50개의 원시영상의 계조치를 산술 평균한 다음, 실제로 처리하고자 하는 순간의 유동장으로부터 감산하는 방법을 택하였다. 영상을 기록할 때에는 유동장과 카메라 위치를 조정하여 수평을 유지하여야 하지만 대부분 카메라 축을 중심으로 약간의 회전각도를 갖게 된다. 따라서 기록된 영상은 전체적으로 회전된 상태이므로 회전된 각도만큼 모든 픽셀좌표를 변환하여야 한다. 따라서 잡음이 제거된 영상에 대해서 계측영역 내에 직선운곽선을 이용하여 Hi-8mm 카메라의 위치에 대한 회전보정을 행하였다. 전처리가 끝나면 계산영역을 설

정하고 장애물처리를 하여 계조치 상호상관법을 이용한 동일입자 확인을 실시하였다.

그림 2. 4는 미소간격을 갖는 연속된 두 프레임의 영상의 계조치에 대하여 식(2-1)과 같은 상호상관계수를 이용하여 최대 상관계수의 위치를 속도벡터의 종점좌표로 정하는 방법의 원리를 보여주고 있다. 단  $f_i, g_i$  는 상관영역내의 각 pixel의 계조치를 의미하며 “-”는 평균을 뜻한다.

$$C_{fg} = \frac{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f})(g_i - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^{n^2} (g_i - \bar{g})^2}} \quad (2-1)$$

계조치 상호상관법을 적용할 때 탐색반경(SAR)과 상관영역(CAS)의 설정은 속도벡터의 신뢰성뿐만 아니라 계산시간의 단축에도 결정적인 영향을 미친다.

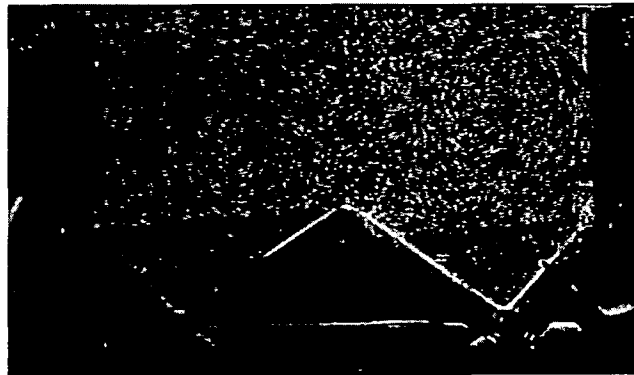


Fig. 2. 3 Background Image

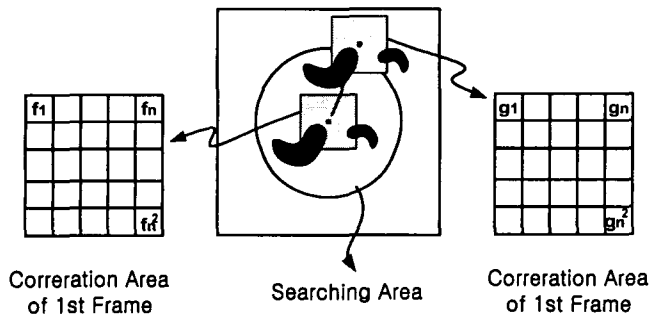


Fig. 2. 4 Diagram of Cross Correlation Method



전 계측영역에서 속도벡터의 격자수는  $40 \times 40$ 이고 상관계수를 구하기 위한 탐색영역의 반경은 6pixel이다.

상관영역의 크기는  $40\text{pixel} \times 40\text{pixel}$ 이며 하나의 순간 유동장에 대한 처리시간은 1분정도 소요되었다. 시간평균 속도벡터를 얻기 위해서 50개의 영상을 순차적으로 처리한 다음 산출 평균하였다. 후처리 과정에서는 기록된 영상의 화질에 따라 발생한 고유의 에러성분인 이상치를 판별하여 과오벡터를 제거하는 에러제거, 격자점 재배치, pixel 단위를 m/sec로 바꾸는 단위환산 등을 하였다. 에러에 인한 이상치는 속도발산치에 의한 검출방법으로 자동에러처리를 한 후 대화형의 화면처리로 제거하였고 유효한 동일입자만으로 속도벡터를 구하였으며 제거된 벡터는 주위의 값으로부터 보간하여 도시하였다.

계측단면은 세 종류의 유량에 따라 노즐과 노즐사이를 선정하였고 PIV기법을 이용하여 인삼세척기의 유동흐름을 가시화하였다.

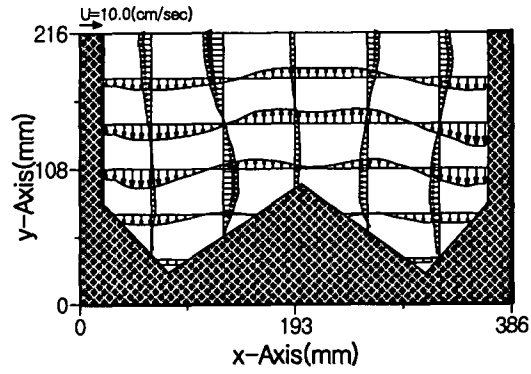
그림 2. 5는 속도벡터의 데이터를 이용한 시간평균 속도프로파일이다. 몇 단면에서의 x, y방향의 속도 분포를 나타내고 있다. #자의 꼭지점을 경계로 하여 거의 대칭적인 속도분포를 나타내며, 전형적인 강제와류의 분포패턴을 보이고 있다.

그림 2. 6은 각 유량에 있어서 순간속도벡터의 분포를 나타내고 있다. 유량  $15\ell/\text{min}$ 에서는 그 값이 작은 관계로 보다 높은 유량의 경우와 비교하여 와류의 형상이 찌그러진 모양을 나타내고 있다. 그러나 다른 두 경우에는 거의 원형에 가까운 와류의 형태를 유지하고 있으며 큰 차이가 나타나지 않고 있음을 알 수가 있다.

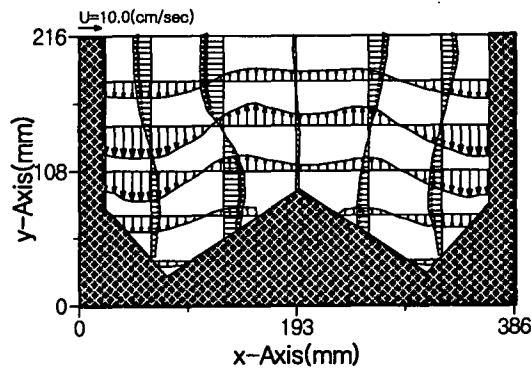
이것은 세척조 유동장의 고유한 특성중의 한가지로서 결국 이와 같은 반시계 방향의 일방성 단일와류가 같은 조건으로 존재하면서 유동장의 전체의 특성을 지배하고 있으며, 시간의존성 유동장 변화가 크게 나타날 수 없음을 예상하고 있다.

농산물중 수확된 인삼을 고부가가치의 상품으로 제조하기 위해서는 무인 및 자동작업과정에 의한 인삼자동세척기의 개발이 필요하다. 이 경우에 세척노즐의 공간배치, 작동조건의 최적제어가 매우 중요하며 이 때의 다수의 세척노즐로부터의 제트류의 거동이 세척조 전체 유동장에 미치는 거시적인 특성의 해명이 우선적으로 요구된다. 실험에서는 실제 설계·제작에 예상되는 제원의 1/10 축적 모델을 투명아크릴로 제작하여 유동장을 형성시켰으며, 유동계측을 위하여 PIV (Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계)를 적용하여 동시다점으로 속도를 정확하게 계측한 다음, 이 데이터를

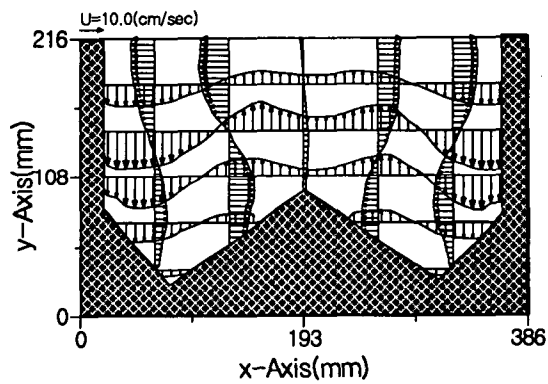
활용하여 여러 가지의 유동정보량을 표시하는 기법을 동원하였다.



유량 15 l/min



유량 20 l/min



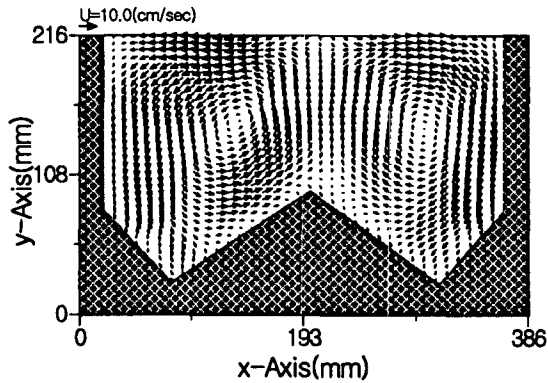
유량 27 l/min

Fig. 2. 5 Time-mean velocity profile distribution

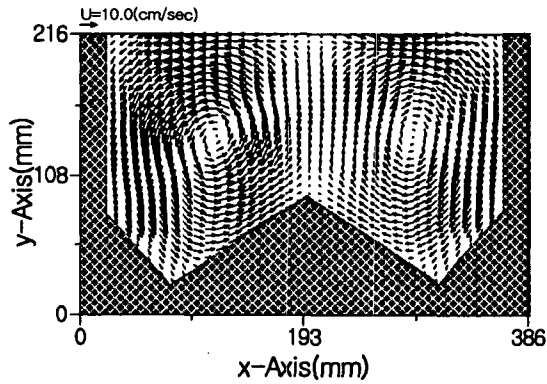
계측단면으로는 분사노즐사이의 중간단면을 선정하였으며, 유량은 세 종류로 변화시켜 각각의 유동패턴을 조사하였다.

그림 2. 5는 원심펌프를 이용하여 유속을 10cm/sec, 분당 공급유량을 15리터, 20리터, 27리터로 변화시킬 경우 W자 형의 세척조 유동판에 의해서 평균속도 분포를 나타내었다. 전반적으로 좌우대칭형 단방향성 와류가 존재하므로 평균속도의 방향성이 원주를 나타내고 있으며 그 크기는 좌우 거의 동일하게 보인다. 그러나 유량증가에 따라 벡터의 길이비율이 증가하여 동일 운동양상이지만 와류는 대칭적으로 그 규모가 커짐을 알 수 있다.

이와 같은 세척기 내의 대칭적인 단일방향성의 와류에서 반대회전방향의 적절한 수류가 존재할 때 최적의 세척능력이 발생될 것으로 예측할 수 있다.



유량 15 l/min



유량 20 l/min

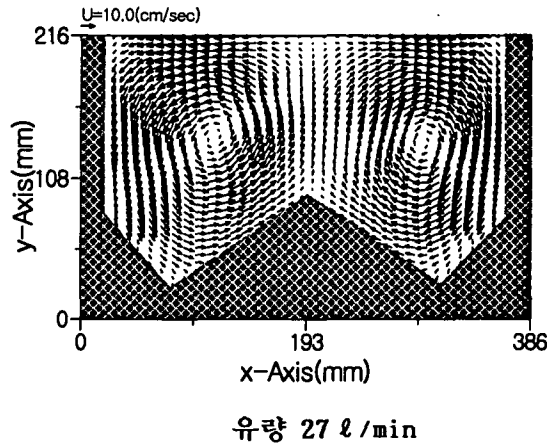


Fig. 2. 6 Time-mean velocity distribution

그림 2. 6에서 속도분포를 살펴보면 W자형 세척조 유동판에 의해서 좌우대칭형 단일방향성 와류가 형성되어지고 있으며 와류형성을 위한 전체적인 원운동과정에서 속도벡터의 방향이 급속하게 전환되어지는 3방면에 속도상승이 일어남을 알 수 있다.

연구결과 세척기 내에는 대칭적인 단일방향성의 와류가 발생하고 있으며 이와 같은 반대회전방향의 수류가 인삼세척기의 세정능력을 크게 좌우할 것으로 예상하였다. 또한, 어느 경우에도 분사노즐에 의한 직진흐름이 노즐부착근방에서 보이지 않는 점이며, 이것은 노즐의 레이놀즈 수가 작아서 분사노즐 유동의 직진성이 없기 때문으로 보여지나, 오히려 인삼의 세척력에는 이와 같은 단일방향성 와류가 보다 효과적일 수도 있기 때문에 반드시 노즐 출구 속도를 크게 할 필요성이 없음을 나타내고 있다.

실제의 세척기에서는 세척완료된 인삼을 컨베이어로 들어올리기 위하여 직각방향으로 분사노즐을 배치하여 인삼이 수중 이동이 가능하도록 하고 있으나 적절한 노즐 위치는 직각방향 속도벡터 분포와 연계하여 정하는 것이 보다 효과적일 수가 있음을 알 수가 있었다.

또한, 계측단면에서의 유동특성간에는 큰 차이가 없었으므로 유동장 전체의 특성은 크게 달라지지 않으며 2차원성이 강한 준정상 유동이 지배적임을 알 수가 있었다.

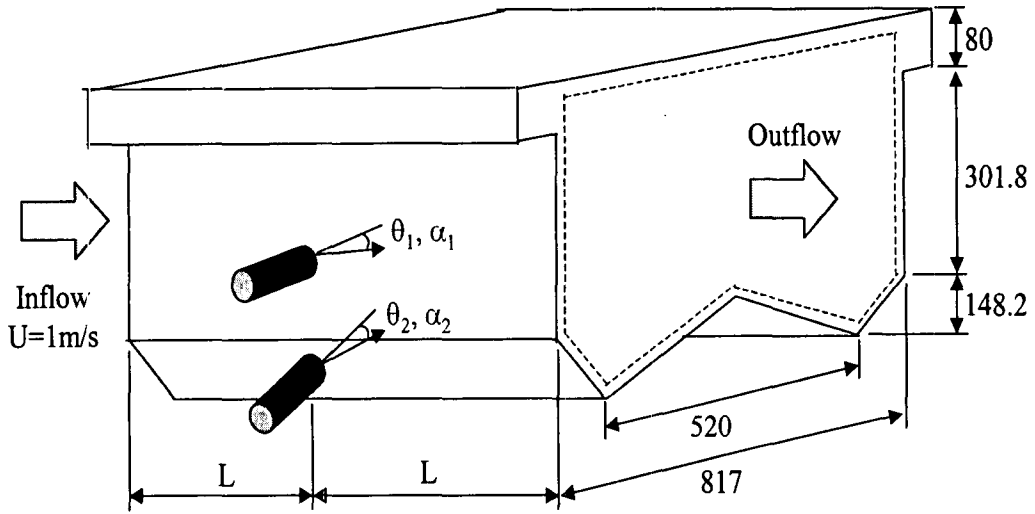


Fig. 2. 7 Schematic Diagram of Washing Tank

## 2. Void Fraction

세척수가 에젝터를 통과함으로써 관로내부의 압력강하를 유발시켜 공기가 흡입되어지면서 급속히 교반이 이루어지게 된다. 세척수에 대한 공기의 비체적 비를 보이드율 (Void Ratio)으로써 나타낸다면 세척수와 공기의 상호간에는 상대속도가 존재한다. 이것은 세척수와 공기간에 존재하는 상호작용은 힘의 평형에 의해서 정해지는데 이류체에서의 유동상태는 복잡하고 다양하기 때문에 이론적으로 구하는 것은 거의 불가능하다. 그러므로 실험적으로 또는 단순화한 가정하에서 해석적으로 또는 직접적인 측정에 의해서 보이드율을 구하는 방법을 채택하였다.

이류체에서 즉 세척수와 공기의 평균유속은 서로 다르게 나타나지만 기체의 속도  $U_g$ 를 알면 정의로부터 보이드율은 다음 식으로부터 결정된다.

$$\alpha = \frac{U_l}{U_g} = \frac{G_x}{(\rho_g U_g)} \quad (2-2)$$

여기에서 용적유량비  $\beta = \frac{U_g}{(U_g + U_L)}$  을 이용하면

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{U_g + U_L}{U_g} \quad (2-3)$$

식 (2-3)의 값을 Flow Parameter로 활용할 수 있다.

세척수와 공기의 평균유속 관계를 나타내기 위하여 유체의 속도비를  $s$ (phase velocity ratio)와 미끄러짐 속도(slip velocity)가 자주 이용되어진다.

$$s = \frac{U_g}{U_L} = \frac{U_g(1-\alpha)}{U_L\alpha} \quad (2-4)$$

$$U_s = U_g - U_L = \frac{U_g}{\alpha} - \frac{U_L}{1-\alpha} \quad (2-5)$$

이들의 값을 알면 식 (2-4)으로부터  $\alpha$ 의 값을 결정될 수 있다.

$$\alpha = \frac{U_g}{U_g + sU_L} = \frac{1}{1 + s(U_L/U_g)} = \frac{x}{x + s(1-x)\rho_g/\rho_l} \quad (2-6)$$

속도비는 식(2-4)에서 알 수 있는바와 같이 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$s = \frac{1-\alpha}{\alpha} \times \frac{x}{1-x} \times \frac{\rho_l}{\rho_g} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \times \frac{\beta}{1-\beta} \quad (2-7)$$

그러므로 보이드율을 계산하기 위해서는 공기의 평균속도, 속도비, 미끄러짐 속도 중에서 관계를 구하면 된다.

보이드율의 물리적 의미를 파악하기 위해서는 기, 액간의 미끄러짐 속도 개념을 적용하면 편리하다.

Peebles-Garber<sup>10)</sup>는 직경25.4mm 정지액 주내에서의 기포의 정상상승속도를 기포의 환산구 반경으로 0.6~7.5mm의 범위에 대하여 여러 조건 하에서 측정하였다.

기포의 운동은 기포의 Reynolds수  $Re_b = 2R_b U_b \frac{\rho_l}{\mu_l}$ 와 저항계수의 경향에서 그림 2.8과 같이 4가지로 분류하고 각각의 범위에서 기포상승속도에 관하여 식 (2-8)과 같은 실험식을 제시하고 있다.

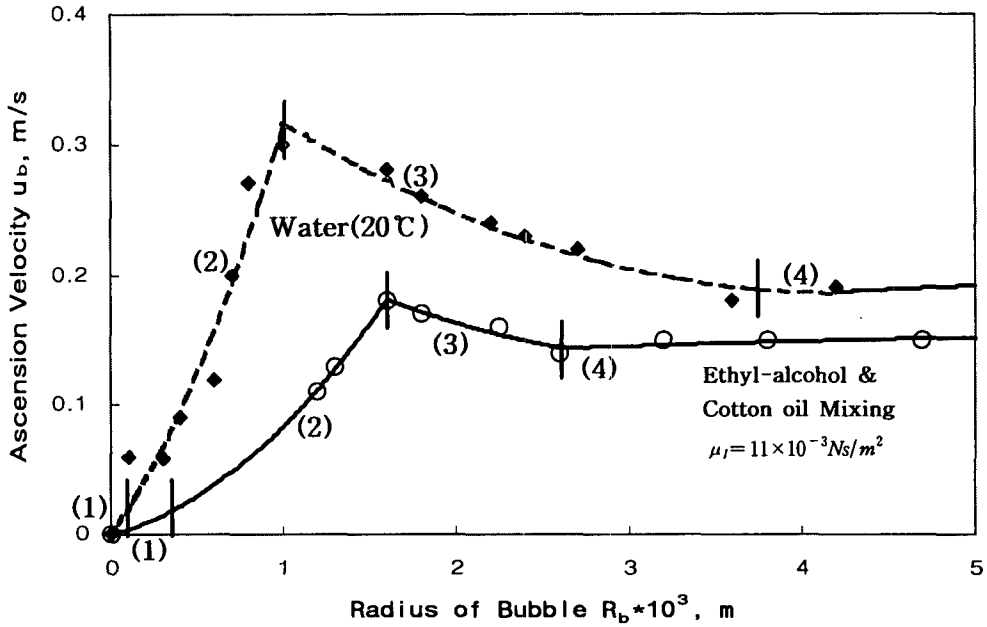


Fig. 2. 8 Ascension Velocity of Air Bubble in Liquid Pole with Rest State

여기에서  $R_b$ 는 기포의 반경[m],  $U_b$ 는 기포의 상승속도[m/s]를 나타낸다. 그림 2. 8에서 (1)은 기포의 직경이 매우 작은  $Re_b \leq 2$ 의 범위이기 때문에 기포는 Stokes 법칙에 따라 저항을 받게되어 기포의 속도는 식(2-8)과 같으며 곧바로 위쪽으로 상승한다.

$$U_b = \frac{2R_b^2(\rho_l - \rho_g)g}{9\mu_l} \quad (2-8)$$

(2)는 기포에 저항하는 작용이 고체구의 경우에 비하여 어느 정도 감소하는 범위 ( $2 \leq Re_b \leq 4.02 Y^{-0.214}$ , 단,  $y = \frac{g\mu_l^4}{\rho_l \sigma^3}$ )로써 기포상승속도는 다음식으로 표시되어진다.

$$u_b = 0.33g^{0.76} \left( \frac{\rho_l}{\mu_l} \right)^{0.52} R_b^{1.23} \quad (2-9)$$

(3)은  $4.02 Y^{-0.214} \leq Re_b \leq 3.10 Y^{-0.25}$ 의 범위이다. 이 범위에서는 기포가 상당히 수축압착되어 납작하게 변형되어 선회하면서 상승하게 되고 상승속도는 다음과 같이 나타난다.

$$u_b = 1.35 \left( \frac{\sigma}{\rho_l R_b} \right)^{1/2} \quad (2-10)$$

에젝터에서 토출된 기포는 수면으로 상승하면서 기포직경이 증가하게 되고 기포체적의 증가는 상승에 따른 저항을 증가시킴으로 상승속도는 오히려 적어지게 된다. 그러나 기포가 더욱 커지게 되면 즉 (4)의  $Re_b \geq 3.10 Y^{-0.25}$ 의 범위가 되면 기포는 버섯과 같이 윗부분이 급속하게 팽창하면서 곧바로 상승하게 되고 이때 상승속도는 급격한 부력의 증가 때문에 기포경에 의한 영향은 적게 받으며 그 속도는 다음과 같다.

$$u_b = 1.18 \left[ \sigma \frac{(\rho_l - \rho_g)g}{\rho_l^2} \right]^{1/4} \quad (2-11)$$

여기에서  $Y$ 는 Reynolds수  $Re_b = 2R_{bb}u_b\rho_l/\mu_l$ , Froud 수  $Fr = u_b^2/(g2R_b)$  및 Weber 수  $We = \rho_l u_b^2 R_b / \sigma$ 로부터 다음과 같은 관계를 유도할 수 있다.

$$Y = \frac{We^3}{Re_b^4 Fr} \quad (2-12)$$

액주내에 상당히 많은 양의 기체가 주입되면 거의 관단면을 채우는 커타란 기포, 즉 둥근 상단면과 평탄한 하부구조를 갖는 가상의 플럭을 발생하게 된다. Dumitrescu<sup>11)</sup>는 포텐셜 흐름으로 가정한 이론해석으로부터 상승속도의 기포길이에 무관하게 다음과 같이 제시하고 있다.

$$u_b = 0.35\sqrt{gD} \quad (2-13)$$

여기에서  $D$ 는 관경이다.



### 3. 에젝터

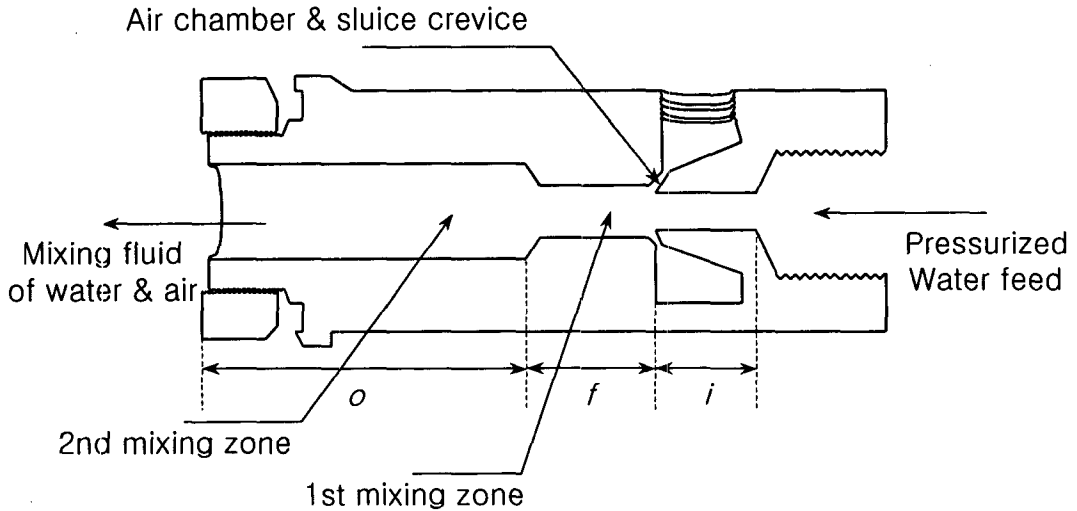


Fig. 2. 9 Schematic Diagram of Ejector

#### 가. 에젝터의 이류체 생성 메카니즘

Fig. 2. 9와 같은 세척용 에젝터에 작동유체인  $2\sim 3\text{ kg/cm}^2$ 의 세척수가 1st Mixing Zone으로 흐르면서 작동유체는 압력강하와 속도증가 현상이 발생되면서 air chamber & sluice crevice에 부압이 형성되어지게 됨에 따라 공기는 급격하게 작동 유체인 압력수에 혼입되어지게 된다. 1st Mixing Zone에서 형성된 이류체는 2nd Mixing Zone에서 체적 팽창에 따라 압력, 속도는 각각 더욱 감소, 증가되어짐에 따라 1st Mixing Zone의 유체 이송속도를 더욱 증가시켜 공기의 용적 형성율(Void Fraction)을 높게 할 수 있는 기하학적인 구조로 되어 있다.

마찰손실은 작동유체 공급부를 포함하여 이류체 형성이 완결되는 2nd Mixing Zone에 이르기까지 전과정에 발생되며 이러한 손실은 작동유체와 흡입공기와의 체적 유량비에 따라서 다르게 나타난다.

세척용 에젝터는 강한 수류형성과 아울러 가능한 많은 수의 기포형성을 해야하는 기술적인 특성으로 인하여 관련 지배 방정식은 흐름의 압축성 때문에 이론적 해석이 복잡하므로 다음과 같이 가정하여 베르누이 방정식, 연속 방정식, 그리고 운동 방정식을 적용하여 에젝터 각부의 관련지배 방정식을 유도한다.

① 흡입 공기에 작용되는 부압은 작동유체의 수압에 의해서 결정되어지며 2nd Mixing Zone의 이류체 형성 과정까지 등은 팽창한다.

② Air chamber & sluice crevice에서의 공기흐름에 따른 chamber 내의 압력손실은 무시한다.

③ 작동유체와 Mixing되기 전에는 각각 분리된 상이며 1st Mixing Zone에서 이류체 형성이 이루어지며 양상(phase) 사이에는 슬립(slip)이 없다.

④ 1st, 2nd Mixing Zone에서 압력변화에 따른 공기의 수용성(Solubility) 가능성은 무시한다.

⑤ 작동유체가 공기와 혼입되기 전의 Path way에서는 등압 과정으로 한다.

#### 나. 세척 에젝터의 압력 변화

작동유체인 압력수 공급 튜브 입구에서 이류체 출구까지 베르누이 방정식을 적용하면 에젝터 내의 압력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i + \frac{\rho_i V_i^2}{2} = P_o + \frac{\rho_o V_o^2}{2} + f \cdot \frac{\rho_o V_o^2}{2}$$

$$P_i - P_o = \frac{\rho_o V_o^2}{2} (1 + f)$$

$$P_i = \frac{\rho_o V_o^2}{2} (1 + f) + P_o$$

$$P_i = k(1 + f) + P_o \quad (2-14)$$

여기에서  $k$ 는  $\frac{\rho_o V_o^2}{2}$ 로 작동유체의 제트속도 수두이며,  $f$ 는 마찰손실계수이다.

### 다. 1st Mixing Zone의 운동 방정식

Fig. 2. 9에서  $i$ 로 표기된 부분에서는 작동 유체가 물이며  $f$ 로 표기된 부분에서는 공기와 물이 혼합된 이류체이다. Fig. 2. 8에 나타낸 Air chamber & sluice crevice 에서 1st Mixing Zone 입구 사이의 공기에 대한 베르누이 방정식은 식 (2-15)와 같다.

$$\frac{dP}{\rho_1} + Vdv + d\left(f \cdot \frac{V_i^2}{2}\right) = 0 \quad (2-15)$$

기체의 상태 방정식을 이용하여 식 (2-15)를 정리하면 식 (2-16)과 같다.

$$\frac{RT_o dp}{P_1} + Vdv + d\left(f \cdot \frac{V_i^2}{2}\right) = 0 \quad (2-16)$$

여기에서  $R$ 은 공기의 기체상수이다. 식 (2-16)을 chamber 끝단부터 crevice까지 적분하게 되면

$$RT_o \ln P_{ie}/P_{ic} + \frac{(V_{pe}^2 - V_{pc}^2)}{2} + \frac{f \cdot V_{ie}^2}{2} = 0$$

$$\frac{P_1}{\rho_1} \ln P_{ic}/P_{ie} = \frac{V_{pe}^2}{2} (1 + f) \quad (2-17)$$

식 (2-17)로부터 air chamber 흡입단의 속도  $V_{oe}^2$ 는 연속 방정식으로부터 식 (2-18)과 같이 유도할 수 있다.

$$V_{ie} = \frac{Q_{ie}}{A_{ie}} = \frac{Q_{io} \Phi_o}{A_i(1-b)/b} = V_{io} \frac{\Phi_o}{C} \quad (2-18)$$

여기에서  $b$ 는 공기 흡입구 단면적에 대한 crevice 단면적의 비, 즉  $A_c/A_i$  이며  $C$ 는 1st Mixing Zone의 단면적에 대한 crevice의 단면적의 비, 즉  $A_c/A_f$  이다. 그리고  $\Phi_o$ 는 작동유체인 물의 체적유량에 대한 1st Mixing Zone에서의 공기의 체적 유량비 ( $\frac{V_w}{V_a}$ )를 나타낸다.

식 (2-18)을 식 (2-17)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{P_1}{\rho_1} \ln P_{ic}/P_{ie} = \frac{V_{ie}^2}{2} (1 + f)$$

$$\begin{aligned}
P_1 \ln P_{ic}/P_{ie} &= \frac{\rho_1 V_{ie}^2}{2} (1 + f) \\
&= Z(1 + f) r (\Phi_o / C)^2
\end{aligned}
\tag{2-19}$$

여기에서  $r$  은 물의 밀도에 대한 공기의 밀도의 비(  $\rho_a / \rho_w$  )를 나타낸다.

#### 라. 2nd Mixing Zone의 압력강하

물과 공기가 혼합된 이류체가 더욱 격심한 난류현상으로 Mixing 현상이 연속되어지는 에젝터 출구단의 압력강하는 2nd Mixing Zone을 일정 체적으로 하여 운동량 방정식을 적용하면 식 (2-20)과 같이 된다.

$$\Sigma F_x = \int \rho_o V_x \bar{V} \cdot d\bar{A}_{out} - \int \rho_f V_x \bar{V} \cdot d\bar{A}_{in} \tag{2-20}$$

$$\begin{aligned}
(P_o - P_f)A_o - \tau A_o &= (m_1 + m_2)V_o - (m_1 + m_2)V_f \\
&= \rho_o V_o^2 A_o - \rho_f V_f^2 A_f
\end{aligned}
\tag{2-21}$$

여기에서  $\rho_o = \rho_f$  이다.

식 (2-21)에 있어서  $\tau$  는 2nd Mixing Zone의 전단력이며  $A_o$ 는 2nd Mixing Zone의 단면적이다. 그리고  $m_1$  및  $m_2$ 는 각각 작동유체인 물의 질량유량과 공기의 질량유량이며  $\rho_o = \rho_i$  는 2nd Mixing zone에서 균일한(homogeneous) 혼합 이류체의 밀도로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_o = \rho_i = \frac{m_1 + m_2}{Q} = \frac{(1 + m_1/m_2)}{Q} \tag{2-22}$$

식 (2-22)에서 물에 대한 공기의 질량 유량비(Void fraction)는 식 (2-23)과 같이 나타난다.

$$V_f = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\rho_2 A_2 V_2}{\rho_1 A_1 V_1} = \eta \Phi_o \tag{2-23}$$

식 (2-23)을 식 (2-22)에 대입하면 식 (2-24)가 된다.

$$\rho_o = \rho_i = \frac{1 + \eta \Phi_o}{Q} \tag{2-24}$$

그러므로 2nd Mixing Zone 출구에서 이류체 혼합류의 속도

$$V_o = \frac{Q_o}{A_o} = \frac{Q_f(1 + \eta\phi_o)}{A_f/b}$$

$$A_o = V_f b(1 + \eta\phi_o) \quad (2-25)$$

여기에서  $b$ 는 2nd Mixing Zone의 단면적에 대한 1st Mixing Zone의 단면적을 말한다.

식 (2-24)과 식 (2-25)을 식 (2-21)에 대입하여 구하여지는 1st Mixing Zone과 2nd Mixing Zone 출구와의 압력 강하는 다음과 같다.

$$(P_o - P_f)A_o - \tau A_o = \rho_o V_o^2 A_o - \rho_f V_f^2 A_f$$

$$= \frac{1 + \eta\phi_o}{Q} [ \{ V_f b(1 + \eta\phi) \}^2 A_o - V_f^2 A_f ]$$

$$= \frac{1 + \eta\phi_o}{Q} V_f^2 [ \{ b(1 + \eta\phi) \}^2 A_o - A_f ] \quad (2-26)$$

$$P_o - P_f = \frac{V_f^2 A_o (1 + \eta\phi_o)}{Q} [ \{ b(1 + \eta\phi) \}^2 A_o - A_f ] + \tau_o A_o \quad (2-27)$$

$Q_f = Q_o$  이고,  $Q_o = A_o V_o$  로 나타낼 수 있으므로 다음 식 (2-28)이 유도된다.

$$\tau A_o = k \frac{\rho_o V_o^2}{2}$$

$$= k \frac{\rho_o [ V_f b(1 + \eta\phi_o) ]^2}{2}$$

$$= \frac{k \cdot \frac{(1 + \eta\phi_o)}{Q} \cdot [ V_f b(1 + \eta\phi_o) ]^2}{2}$$

$$= \frac{k \cdot (1 + \eta\phi_o) \cdot [ V_f b(1 + \eta\phi_o) ]^2}{2 V_o} \quad (2-28)$$

두 개의 식을 이용하여 식 (2-28)를 식 (2-27)에 대입하면

$$P_o - P_f = \frac{V_f^2 (1 + \eta\phi_o)}{V_o} [ \{ b(1 + \eta\phi) \}^2 A_o - A_f ]$$

$$+ \frac{k(1 + \eta\phi_o)}{2 V_o} \cdot [ V_f b(1 + \eta\phi_o) ]^2$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{V_f^2(1+\eta\phi_o)}{V_o} [\{b(1+\eta\phi)\}^2 A_o - A_f - \frac{k}{2} \{b(1+\eta\phi)\}^2] \\
&= Z[\{b(1+\eta\phi)\}^2 A_o - A_f - \frac{k}{2} \{b(1+\eta\phi)\}^2] \quad (2-29)
\end{aligned}$$

여기에서  $Z = \frac{V_f^2(1+\eta\phi_o)}{V_o}$  이다.

공기의 비중량은 물에 비하여 1/1000에 해당되는 관계로 혼합실 및 1st Mixing Zone, 2nd Mixing Zone에서의 운동량 이론은 Water inlet / Water outlet 에젝터와 동일하다. 단, Water inlet / Water outlet 에젝터와는 흡입부의 구조가 틀리며 공기 흡입부의 압력은 가능한한 낮을수록 좋다.

에젝터에 있어서 중요한 변수인 유량비  $Q_R$  와 면적비  $A_R$  은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$Q_R = \frac{\gamma_f Q_f}{\gamma_i Q_i} = \frac{Q_f}{Q_i} \quad (2-30)$$

$$A_R = \frac{A_f}{A_i} \quad (2-31)$$

식 (2-30)에 있어서  $\gamma$  는 비중량을  $Q$  는 체적 유량을 나타내며 식 (2-31)의  $A_i$  는 공기와 압력수 주입구의 단면적이고  $A_f$  는 1st Mixing Zone의 단면적을 나타내며 작동유체인 압력수량  $Q_w$  와 흡입공기  $Q_A$  의 합인  $Q_T = Q_w + Q_A$  는 식 (2-30)과 식 (2-31)을 이용하면 다음과 같이 나타난다.

$$Q_T = A_f V_i (1 + A_R) \quad (2-32)$$

그리고 작동유체인 물과 공기의 혼합 이류체가 형성되어지는  $f$  지점에서 즉, 1st Mixing Zone에서 갖는 평균유속  $V_2$ 는 식 (2-33)과 같다.

$$V_2 = \frac{Q}{A_i - A_f} = \frac{A_R}{1 - A_R} Q_R V_1 \quad (2-33)$$

여기에서  $V_1$  은 작동유체의  $i$  지점에서의 속도이다.

에젝터 출구 부분의 속도에서 혼합 이류체가 갖는 평균유속  $V_3$  는 식 (2-34)와 같이 나타난다.

$$V_3 = \frac{Q_o}{A_o} = A_R(1 - A_R) V_1 \quad (2-34)$$

그리고 에젝터 설계에 있어서 압력비  $N$  은 식 (2-35)와 같다.

$$N = \frac{P_o - P_f}{P_i - P_o} = \frac{(P_o - P_f)}{(P_i - P_f) - (P_f - P_o)} \quad (2-35)$$

#### 4. 수삼세척의 한계 수압과 세척시간

국내 인삼가공공정에서 운용중인 세척기는 콘베아 이동샤워식과 회전 텀블러 스프레이 세척기로써 노즐을 이용한 스프레이 방식으로 세척수를 수삼의 표면에 충격접촉시켜 불순물을 제거시킨다. 여기에서 말하는 세척수압은 공기와 혼합되기전인 에젝터 입구의 수압을 말한다.

현장의 운용에서는  $2 \text{ kg/cm}^2$ 를 운용하고 있고 수압이 약하다고 하지만 실제 공기중에서 거리, 수압, 체류시간을 변화시키면서 손상정도를 분석하고 최적 세척수압을 제시한 연구결과는 발견할 수 없다.

물론 개발하고자 하는 세척기는 에젝터 수류식으로 직접적으로 세척수가 작용하지 않으며 공기중이 아닌 수중으로 세척수와 공기가 혼합되는 이류체 단일방향성 와류를 적용한다. 그러나 수삼세척시 발생할 수 있는 손상 발생점을 판단하기 위해서 단공 8mm, 10mm 노즐을 장착하고 분사거리를 300mm, 600mm로 각각 이동하면서 토출압력을  $1 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ 로 변화시키면서 세척정도와 손상정도를 분석하였다.

세척수를 미립화 시키는 노즐의 경우는 속도에너지의 급속한 증가 때문에 실제로 수삼표면에 적용되어지는 압력은 매우 낮으므로 '99년 송동<sup>4)</sup>은 수삼의 내수압 시험에서 다음과 같은 실험 결과를 얻었다

Table 2. 1 Resisting Water Pressure of Ginseng

수압( $kg/cm^2$ )	세척효과
5	직접분사부위 세척가능하나 미흡
10	직접분사부위 세척양호
15	직접분사부위 세척양호하나 계속분사시 미삼부위 파손
25	세척양호하나 동체부위 파손
80	수삼파손

표 2. 1에서 보는 바와 같이 수삼의 표면에 실제로 작용되어지는 수압이 아니기 때문에 세척수압이  $10 kg/cm^2$  정도가 되어야 한다. 그러나 이 경우 다단 압축식 펌프가 필요할 뿐만 아니라 다량의 세척수를 공급하기 위해서는 설비 및 운용비용이 과대해질 수밖에 없으므로 경제성과 실용적인 측면에서 문제점이 된다. 그러므로 최적수압에 대한 연구는 최적의 노즐경과 밀접한 관계가 있으므로 기존의 운용중인 수삼세척기는 이 점에 대한 후속연구가 필요하다.

실험에서 최대 공급수압  $20 kg/cm^2$ , 최대 토출량  $0.27 m^3/min$ , 구동동력 18Kw인 4단 볼류트 펌프를 사용하여 수압과 유량의 선택범위를 넓게 하였다.

표 2. 2는 단구경 직선노즐의 실험조건을 나타내고 있다.

그림 2. 10과 같이 단구경 직선노즐이 장착된 분사기에는 ▽자형으로 구성된 세척수 통로의 상부와 노즐 입구측에 압력계를 설치하였고 적용한 값은 노즐입구의 것으로 하였다. 이 때 나타난 유량 및 유속은 초음파 유량계를 이용하여 측정하였으며 세부적인 데이터는 표 2. 3과 같다.



Table 2. 2 Experimental Conditions of Single Hole Nozzle

Pressure( $kg/cm^2$ )	Nozzle Diameter(mm)	Injection Distance(mm)	Sample Number
1	8	300	1
		600	2
	10	300	3
		600	4
2	8	300	5
		600	6
	10	300	7
		600	8
3	8	300	9
		600	10
	10	300	11
		600	12
4	8	300	13
		600	14
	10	300	15
		600	16
5	8	300	17
		600	18
	10	300	19
		600	20
6	8	300	21
		600	22
	10	300	23
		600	24

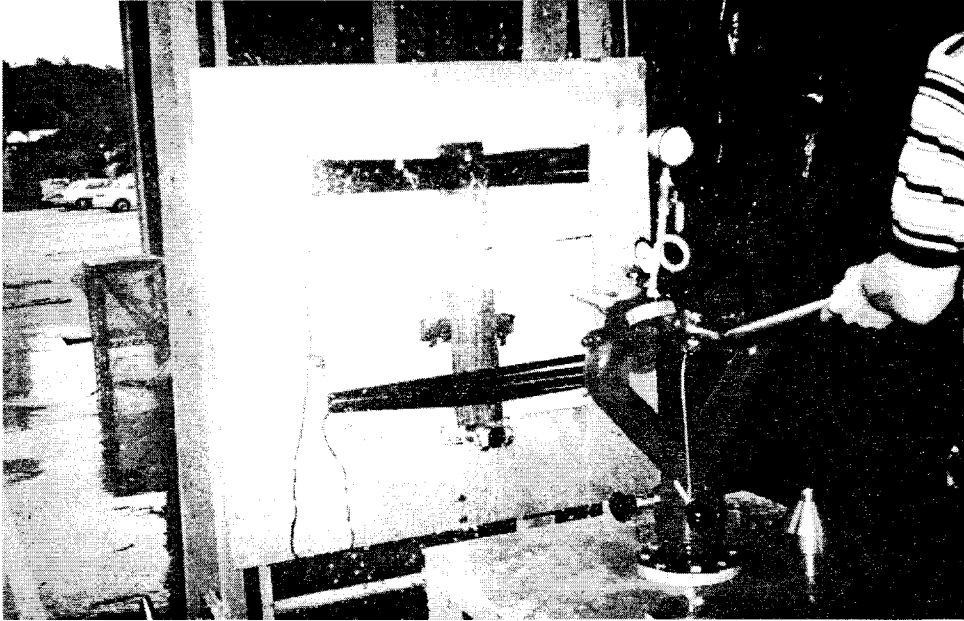


Fig. 2. 10 Experimental Apparatus of Pressure Resistance for Ginseng

표 2. 3에서 노즐입구의 압력이 동일하기 때문에 직경 8mm나 10mm에서 발생되어지는 유속과 유량은 거의 같게 나타나지만 펌프의 운전상태와 초음파유량계의 측정오차에서 기인되는 약간의 차이가 발생되어졌다.

수압이 증가할수록 유속은 증가되어지고 있음을 나타내고 있으며 수압  $1 \text{ kg/cm}^2$ 에서  $6 \text{ kg/cm}^2$ 까지 상승시킬 경우 유속은  $0.16 \text{ m/s}$ ,  $0.22 \text{ m/s}$ ,  $0.26 \text{ m/s}$ ,  $0.28 \text{ m/s}$ ,  $0.34 \text{ m/s}$ ,  $0.37 \text{ m/s}$ 이며  $1 \text{ kg/cm}^2$ ,  $2 \text{ kg/cm}^2$ 으로 수압을 상승시킬 경우에 유속이 가장 높게 증가하였고 그 이후  $0.2 \text{ m/s} \sim 0.3 \text{ m/s}$  정도로 증가하였다.

Table 2. 3 Water Velocity & Quantity for Variance of Water Pressure

Sample Number	Velocity(m/s)	Quantity( $m^3/hr$ )	Sample Number	Velocity(m/s)	Quantity( $m^3/hr$ )
1	0.16	1.3	13	0.28	2.6
2	0.16	1.3	14	0.28	2.6
3	0.16	2.0	15	0.28	3.0
4	0.16	2.0	16	0.28	3.0
5	0.22	1.8	17	0.34	3.3
6	0.22	1.8	18	0.34	3.3
7	0.22	2.2	19	0.34	3.6
8	0.22	2.2	20	0.34	3.6
9	0.26	2.4	21	0.37	4.1
10	0.26	2.4	22	0.37	4.1
11	0.26	2.5	23	0.37	4.7
12	0.26	2.5	24	0.37	4.7

그리고 수량의 경우는 노즐직경에 따라 어느정도 차이가 나타나는데 직경 8mm의 노즐에서는  $1.3 m^3/hr$ ,  $1.8 m^3/hr$ ,  $2.4 m^3/hr$ ,  $2.6 m^3/hr$ ,  $3.3 m^3/hr$ ,  $4.1 m^3/hr$  이지 만 10mm 노즐에서는  $2.0 m^3/hr$ ,  $2.2 m^3/hr$ ,  $2.5 m^3/hr$ ,  $3.0 m^3/hr$ ,  $3.6 m^3/hr$ ,  $4.7 m^3/hr$ 로 증가를 보여 최대 세척수압인  $6 kg/cm^2$ 의 경우는  $5 kg/cm^2$  보다  $0.9 m^3/hr$  유량이 증가되었음을 보였다.

#### 가. 직선 노즐을 이용한 손상 및 세척 실험

본 실험은 에젝터 수류식 세척기의 개발과 운용에 기초 자료로 활용할 직접노즐분사 실험을 통하여 수삼의 손상을 방지할 수 있는 최대 세척압력과 세척정도를 분석하기 위하여 실시하였다. 표 2. 4는 선정된 실험조건과 그 결과를 나타내고 있다.

회분의 변화를 살펴보면 노즐의 직경과 분사거리와의 뚜렷한 관계가 보이지 않는다. 이것은 4년~6년근 수삼 한뿌리의 체적에 한정되기 때문에 직선노즐분사에 의해서 수삼에 작용하는 수압과 수량면에서 별 차이점을 보이지 않는 것이다.

실험에서 수압  $3 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  이상에서는 수초 이내에 수삼의 표피 및 몸통, 다리의 전 반적인 파손이 일어났고  $6 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 에서는 실험이 불가하여 매 조건마다 수압을  $1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 부터  $5 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 까지  $1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  간격으로 상승시킬 경우 회분과 산불용성회분은 감소하는 경향을 분석하였다.

Table 2. 4 1st Experimental Conditions of Direct Nozzle Spray Test and Results

Conditions				Results	
Nozzle Dia. (mm)	Spray Distance (mm)	Water Pressure ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Moisture Contents(%)	Ash(%)	Ash of Non- soluble Acid(%)
8	300	1	76.1	7.85	1.51
		2	69.1	7.69	1.65
		3	73.9	6.88	1.05
		4	75.5	6.90	1.46
		5	73.6	5.04	1.39
	600	1	77.1	6.61	1.86
		2	73.9	5.55	1.50
		3	78.7	6.11	0.92
		4	75.5	5.55	1.50
		5	74.0	6.75	1.14
12	300	1	71.3	8.48	1.85
		2	71.3	5.64	1.50
		3	78.7	5.21	1.66
		4	74.8	5.19	1.43
		5	75.2	5.10	1.35
	600	1	73.7	7.05	1.88
		2	73.0	6.93	1.82
		3	70.7	7.08	1.74
		4	76.9	6.85	1.44
		5	77.2	6.95	1.67

직선 노즐의 수압에 의한 수삼의 손상은 홍삼 품질검사(인삼산업법, 1999)에서 천삼, 지삼의 판정에 기준<sup>2)</sup>이 되는 다리와 표피가 파괴되는 정도를 손상의 기준으로 정했으며 이는 전문가의 육안 검사에 의해서 결정되었다.

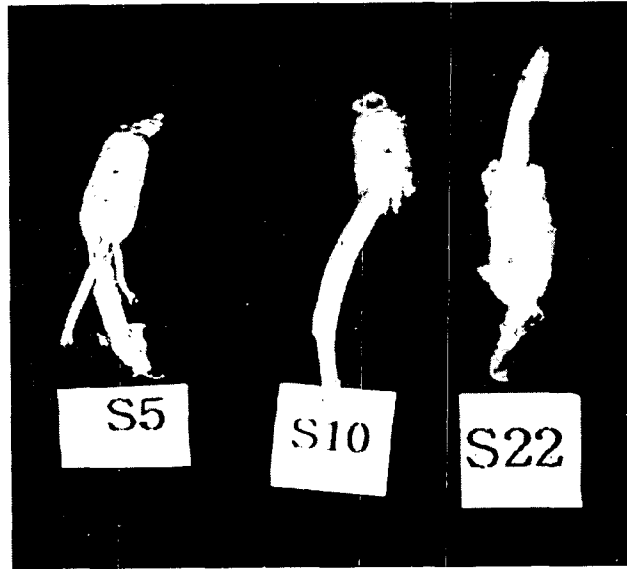


Fig. 2. 11 The Picture of Damaged Ginsengs

수압 증가시 세척 효과는 증가되나  $3 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  이상의 수압에서는 그림 2. 11과 같이 수초이내 표피는 물론 몸통과 다리의 절손이 일어나므로  $2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  이하의 수압이 적절한 것으로 나타났다.

회분의 경우 5%이하가 인삼산업법 관련 기준에 부합되나 표 2. 4에 의한 실험 결과에서 회분제거 성과는 전반적으로 상당히 미흡한 것으로 나타났다. 특히  $1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 과  $2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 에서는 회분이 상대적으로 높게 나타나고 수압에 의해서 파괴가 본격적으로 일어나는  $3 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  이상에서는 회분함량이 다소 감소하지만 기준치에는 미치지 못했다. 이것은 수삼의 구조상 복잡한 부분에는 수압과 수량이 골고루 미치지 못하기 때문으로 판단되어지며 직선 노즐에 의한 세척시에는 2차적인 수작업이 뒤따라야 된다고 볼 수 있다.

한편 산불용성회분은 대체로 토양성분중 규소에 해당되며 인삼산업법에는 특별히 규정되어 있지는 않지만 일반적인 약재의 경우 2%이하<sup>6)</sup>를 그 기준으로 하기 때문에

토양성분 제거능력은 대체적으로 만족할만한 수준으로 볼 수 있다.

수삼의 외피 또는 몸체, 겉가지에 손상을 주지 않는 최적의 수압을 측정하기 위해서 그림 2. 10과 같은 노즐분사 실험장치를 갖추고 표 2. 3과 같은 조건하에서 실험을 수행한 결과  $3 \text{ kg/cm}^2$  이상에서는 30초 이내에 수삼 전체에 대한 손상이 이루어졌고  $4 \text{ kg/cm}^2$  이상에서는 줄기 자체가 패이면서 절손되어져  $2 \text{ kg/cm}^2$  이내가 최적 세척압력임이 입증되었다.

## 제 2절 설계 알고리즘

### 1. 설계알고리즘

#### 가. 스케일 업

스케일업의 관계는 다음과 같이 구해질 수 있다. 동일한 세척조건에서 세척되어지는 수삼세척기 A, B를 이용하여 거의 동일한 물성과 다른 양의 수삼을 세척할 경우에는 A, B세척기의 상호관계는 식 (2-36)과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{Q_A}{\eta_A \Sigma_A} = \frac{Q_B}{\eta_B \Sigma_B} = V_g \quad (2-36)$$

여기에서  $Q_A, Q_B$ 는 시간당 수삼세척량(Kg)

$\eta_A, \eta_B$ 는 세척효율에 관련된 보정상수

$\Sigma_A, \Sigma_B$ 는 세척에 소요되는 세척체적 이다.

여기에서 A, B는 각각의 처리능력이 상이한 수삼세척기를 의미하므로 A, B 수삼세척기의 운전 방식이 동일하거나 거의 유사하면 식 (2-37)과 같이 주어질 수 있다.

$$\eta_A = \eta_B \quad (2-37)$$

이와 같은 경우에 세척기 A를 모델세척기로 설계기준을 삼는다면 목표로 하는 수삼세척량  $Q_B$ 에 상응하는 세척기의 체적  $\Sigma_A, \Sigma_B$ 는 다음과 같은 관계를 나타낸다.

$$\frac{Q_B}{Q_A} * \Sigma_A = \Sigma_B \quad (2-38)$$

동형식, 상이한 형식인 수삼세척기에서 스케일업의 관계는 A, B 각 장치의 대표 영향인자를  $X_A$ ,  $X_B$  또 세척수 및 공기로 구성된 이류체의 양을  $N_A$ ,  $N_B$ 로 하여 각 장치 이류체 체류량은 정육면체의 체적  $X^3$ 으로 나타내면 이것은 세척조의 체적에 각각 비례한다.

성능인자  $\eta$ 는 A, B 수삼세척기에서 가까운 공통으로 고려하여 볼 때 식 (2-39)와 같이 된다.

$$\frac{Q_A}{N_A X_A^3} = \frac{Q_B}{N_B X_B^3} = \eta \quad (2-39)$$

이 식으로부터 동일한 수삼세척기의 처리량 변화에서 순응하는 운전조건의 변화에 대해서도 표현할 수 있다. 수삼세척기의 설계는 그 세척성능을 나타내는 인자  $\eta$ 를 구하는 것이 중요하고 이것은 결과에 대해서도 정확성에 영향을 미친다.

한편 수삼세척기는 세척하고자하는 수삼의 꼬임현상이 덜 발생하도록 또한 손상부위 없이 충분한 교반이 이루어 질 때 세척효율이 높게 나타나게 된다.

평균체류시간  $t[s]$ 은 세척기 투입시점에서 출구의 컨베이어 이송시작점 까지를 말하는 데 즉 이것은  $t = f(W_{CP}, X_L, Y_D)$ 이며 즉 이송수류의 압력, 이송단 거리, 수직 깊이와 각각 관계가 있으며 궁극적으로는  $t = \frac{Q}{X^3}$ 로 구해진다. 이것은 수삼세척기의 세척정도가 충분히 목표치에 도달한다는 가정하에 이루어진 개념적인 관계식이므로 스케일업 기술적용 이전에 세척기술이 확보되어야 한다.

목표 세척정도에 도달한다고 가정하였을 때 결국 스케일업 기술은 경험적인 세척효율 상수를 적용하면 세척수류의 양이 주요변수임을 알 수 있다.

그러므로 스케일업 기술을 적용시킬 경우에는 모델세척기의 세정목표치를 정확하게 설정하는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

또한 수삼세척기의 본체에 해당되는 세척조 외에 압력수 공급펌프, 에젝터, 공기류브, 매니폴더, 이송수류 발생기, 분전반 등 제반 보조기기 역시 안전율을 적용한 스케일업이 이루어져야 한다.

## 2. 에젝터 수류형성 수치해석

모형세척기의 해석의 경우 세척기의 모형을 투명아크릴로 제작하여 유동장을 형성시켰으며 PIV(Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계)를 적용하여 동시다점으로 속도를 정확하게 계측, 유량변화에 따른 순간 및 시간평균 속도벡터 등을 정량적으로 도시하였다. 이로써 세척기 내의 대칭적인 단일방향성의 와류의 형성에 대하여 알 수 있었다.

시작품으로 제작된 세척기의 경우 세척기 내의 와류의 형태는 스케일 업과 여러 장치의 구성을 달리함으로 인하여 PIV 측정으로 계산된 와류의 형태와 매우 다른 효과를 보이고 있다. 에젝터를 통한 이류체의 형성으로 인하여 단일 유체인 물만을 주입하여 실험된 모형과는 또 다른 형태의 와류가 형성되며, 에젝터의 위치와 배열에 따른 세척 효과도 매우 상이하게 나타난다.

이와 같은 시작품에서 제기되는 에젝터의 배열과 세척 효과의 영향을 알아보기 위하여 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 수학적 방정식을 통한 유동 해석을 실시하였다.

세척기에 유입되는 이류체의 유동을 해석하기 위하여 Eulerian 접근 방법을 이용한 유체의 일반지배방정식을 유도하고 유도된 편미분 방정식을 풀기 위한 수단으로 선형 시스템인 이산화방정식(Discretization equation)을 도입한다. 유도된 이산화방정식을 line - by -line TDMA(Tri-Diagonal Matrix Algorithm) 반복 계산법에 의해 해를 구하게 된다.<sup>12)</sup> 또한 난류를 해석하기 위해 난류모델을 도입하고 지배방정식에 나타나는 압력과 속도의 연계문제를 해결하기 위해 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다.

### 가. 지배방정식

#### 1) 일반 지배방정식

속도, 에너지, 화학종의 질량(mass of a chemical species) 등의 보존법칙을 나타내는 일반 지배방정식은 일정한 공간상의 한 점에서 단위 시간 단위 체적당 변화하는 물리량,  $\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}$  에 대한 산정이 필요하다. 이는 유동과 확산속(flux)에 의한 변화



량과 생성항의 합으로 나타내어진다. 그러므로 정상상태의 경우에 efflux와 source 항의 sum은 0이 된다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\vec{J}_{convection} + \vec{J}_{diffusion}) + S \quad (2-40)$$

위 식에서  $\rho$ 는 밀도,  $\phi$ 는 속도나 에너지, 질량분율, 난류에너지 등을 나타내는 단위 질량당 종속변수 (dependent variable per unit mass),  $\vec{J}$ 는 유체의 유동 (convection)이나 확산(diffusion)에 의한 flux,  $S$ 는 단위 시간, 단위 체적당의 어떤 양의 생성 또는 소멸을 나타내는 생성항을 나타낸다.

식 (2-40)에서 유동에 의한 flux,  $\vec{J}_{convection}$ 는 임의의 유동속  $\vec{\rho u}$ 에 대해 아래와 같이 주어진다.

$$\vec{J}_{convection} = \rho \vec{u} \phi \quad (2-41)$$

식 (2-41)의 오른쪽 divergence로 나타내어지는 둘째 항의 물리적 의미는 divergence의 정의식으로부터 자명하게 단위 시간, 단위 체적당 그 表面積을 통해 빠져나가는 어떤 물리량 efflux를 나타냄을 알 수 있다.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \phi) = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\int \rho \vec{u} \phi \cdot dA}{\int dV} \quad (2-42)$$

식 (2-42)에서  $\vec{u}$ 는 속도 벡터,  $A$ 는 면적,  $V$ 는 체적을 각각 나타낸다. 검사체적을 통해 빠져나간 양이므로 식 (5-10)의 오른쪽 항에 陰부호가 붙었음에 유의해야 한다.

식 (2-40)에서  $J_{diffusion}$ 는 확산 flux를 나타내는데 이는 다음과 같은 법칙을 적용하여 나타낸다.

$$\text{Newton의 점성 법칙} \quad \tau_{xy} = -\mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2-43)$$

위의 식 (2-43)을 일반종속변수  $\phi$ 와 확산계수  $\Gamma$ 를 사용하여 일반화 시키면 아래 식 (2-44)과 같이 나타내어진다.

$$J_{diffusion} = -\Gamma \nabla \phi \quad (2-44)$$

위의 식 (2-41)과 (2-44)을 이용하여 일반적인 형태의 지배방정식을 unsteady 항, convection 항, diffusion 항 그리고 source 항으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}\phi) = -\nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S_\phi \quad (2-45)$$

정상상태시 종속변수  $\phi$ 와 확산계수  $\Gamma$ , 생성항에 대하여 3차원 직교좌표계에서 나타내면 표 2. 5와 같다.

Table 2. 5 Diffusion coefficient and source term expression for 3-D rectangular coordinate

Name	$\phi$	$\Gamma_\phi$	$S_\phi$
Axial Velocity	$\bar{u}$	$\mu_{eff}$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x}$
Vertical Velocity	$\bar{v}$	$\mu_{eff}$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y}$
Horizontal Velocity	$\bar{w}$	$\mu_{eff}$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z}$
Turbulent Kinetic Energy	$k$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k}$	$G_{k1} - \rho \epsilon$
Dissipation Rate of $k$	$\epsilon$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon}$	$\frac{\epsilon}{k} (C_1 G_{k1} - C_2 \rho \epsilon)$ for Standard $k-\epsilon$ $\frac{\epsilon}{k} (C_1 G_{k1} - C_2 \rho \epsilon) - \rho R$ for RNG $k-\epsilon$

$$G_{k1} = 2\mu_t \left[ \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right)^2 \right]$$

$$+ \mu_t \left[ \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 \right]$$

이와 같은 일반적 형태의 지배방정식을 3차원에 대하여, 유한차분법인 FDM(finite difference method)을 이용하여 이산화하면 식(2-46)과 같다.

$$a_P \phi_P = a_E \phi_E + a_W \phi_W + a_N \phi_N + a_S \phi_S + a_f \phi_f + a_b \phi_b + b \quad (2-46)$$

식 (2-46)과 같이 표현된 이산화방정식을 line-by-line TDMA(Tri- Diagonal Matrix Algorithm)를 이용하여 해를 구하였다.

## 2) 난류 모델

레이놀즈수가 커지면 유동은 층류에서 난류로 천이되어 복잡한 거동을 나타내게 된다. 난류를 수치계산으로 직접 구할 수 있는 것은 저레이놀즈수의 channel 유동과 같은 단순한 경우에 국한되며, 일반적인 유동의 해석은 현재 계산기의 능력으로 불가능하다. 슈퍼컴퓨터 시대가 된 현재에도 Navier-Stokes 방정식의 직접해는 시간과 용량상의 제약을 받는다. 이것은 난류운동을 구성하는 아주 작은 에디와 시간 스케일을 적절하게 해석할 수 없기 때문이다. 따라서 현재의 계산 능력으로 난류를 해석하기 위해서는 난류모델을 도입해야 한다.

난류에서 물리량인  $\phi$ 의 경우 식 (2-47)과 같이 표현되며

$$\phi = \bar{\phi} + \phi' \quad (2-47)$$

$\phi' = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \phi dt$  이며 이 식에 의하면  $\overline{\phi'} = 0$ 이다.

직교 좌표계에 대하여 난류의 경우 일반적 지배방정식은 위의 식 (2-47)를 적용하여 다음과 같이 표현되며,

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u u}) + \frac{\partial}{\partial y}(\overline{\rho v u}) + \frac{\partial}{\partial z}(\overline{\rho w u}) \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) \\ & \quad + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right) - \frac{\partial \bar{b}}{\partial x} \end{aligned} \quad (2-48)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u v}) + \frac{\partial}{\partial y}(\overline{\rho v v}) + \frac{\partial}{\partial z}(\overline{\rho w v}) \\
&= \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) \\
&\quad + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} \quad (2-49)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u w}) + \frac{\partial}{\partial y}(\overline{\rho v w}) + \frac{\partial}{\partial z}(\overline{\rho w w}) \\
&= \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) \\
&\quad + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_t \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} \quad (2-50)
\end{aligned}$$

이며 위 식을 정리하여 일반방정식과 같은 형태를 취하면 식(2-51)과 같다.

$$\nabla(\rho \vec{u} \cdot \vec{u}) = \nabla(\mu + \mu_t) \nabla \vec{u} + S_{\vec{u}} \quad (2-51)$$

$$S_{\vec{u}} = \nabla(\mu + \mu_t) \frac{\partial}{\partial x} \vec{u} - \frac{\partial p}{\partial y}$$

직교좌표계에 대한 난류에서의  $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$ ,  $\bar{w}$ 의 지배방정식을 얻었다. 세척기 내부의 이류체 유동의 경우 압력을 주어 에젝터를 통과하며 빠른 속도로 세척기에 유입되므로 이와 같은 강한 와류의 경우를 해석하기 위하여 난류 모델이 필요하게 된다. 난류 모델로  $x-\epsilon$  난류모델을 적용하였다.

#### 가) $x-\epsilon$ 난류모델

$x-\epsilon$  난류모델은 난류운동을 지배하는 속도 스케일과 길이 스케일의 양자를 수송 방정식에 주도록 하는 two-equation 모델의 일종이다. 즉 난류운동에너지 뿐만아니라 속도스케일(소산)에 대한 수송방정식을 푼다. 점성에 의해 소멸되는 난류에너지 소산율은 다음 식으로 나타난다.

$$\varepsilon = \frac{C_D k^{\frac{3}{2}}}{l} \quad (2-52)$$

$k$ 와  $\varepsilon$ 에 대한 수송방정식과 난류점성계수를 아래에 기술하였다.

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (2-53)$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{C_1 \mu_t \varepsilon}{k} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{C_2 \rho \varepsilon^2}{k} \quad (2-54)$$

한편 난류 점성계수  $\mu_t$ 는 Prandtl-Kolmogorove 관계식에 의해 단위 질량당의 난류 에너지  $k$ 와  $k$ 의 소산율인  $\varepsilon$ 으로 나타내어진다.

$$\mu_t = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (2-55)$$

위 식에 나타난 경험상수들은 실험데이터로부터 다음과 같은 값이 널리 이용되고 있다.  $C_1=1.44$ ,  $C_2=1.92$ ,  $C_\mu=0.09$ ,  $\sigma_k=0.9$ ,  $\sigma_\varepsilon=1.22$ , 또한 난류 점성계수  $\mu_t$ 는  $k$ 와  $\varepsilon$ 에 대한 지배 방정식을 유도하고 이에 대한 해를 구함으로써 얻어진다. 식 (2-53)에서  $k$ 에 대한 소멸항인  $-\rho\varepsilon$ 은 단위체적당 요동에너지의 감소를 나타낸다.

위 식에서  $k$ 와  $\varepsilon$ 에 대한 확산 계수는 위에서 구한 난류 점성 계수  $\mu_t$ 를 난류 Prandtl/Schmidt 수로 나눠 물질 전달에 대한 열/물질 확산 계수를 얻을 수 있다.

즉,  $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$ ,  $Sc = \frac{\nu}{D}$  로 주어지므로 난류에서의  $\mu_t$ 를 알고 난류  $Pr_t$ ,  $Sc_t$ 를 알면 난류에서의  $\alpha_t$ 와  $D_t$ 를 각각 알 수 있다.

난류 변동 운동에너지에 생성 소멸항 중에서 끝에서 두 번째항을  $G_k$ 로 표현하는데 이것은 난류 요동에너지의 생성항을 나타내는 것으로서 난류 요동에너지는 유체의 평균유동에서 그 에너지를 얻는다고 볼 수 있으므로 유체의 소멸 함수(dissipation function)가 요동 에너지의 陽의 생성항으로 표시된다고 볼 수 있다.

소멸 함수는 아래 식 (2-56)로 표시된다.

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \left[ \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{u}) \delta_{ij} \right]^2 \quad (2-56)$$

eddy-diffusivity 모델에서 turbulent scalar flux term을 다음과 같이 가정한다.

$$-\rho \overline{u_j' \phi'} = \frac{\mu_t}{\sigma_\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \quad (2-57)$$

여기서  $\sigma_\phi$ 는 에너지방정식에서 Prandtl 수로 화학종의 수송방정식에서는 Schmidt 수로 나타낸다. 보통 난류에서 이 두 수는 거의 1.0에 가깝다.

이는 공학적으로 널리 보급되어 있는 것으로 통상  $k-\epsilon$  모델이라고 불린다.

### 3) 벽함수(wall function)

난류상태에 있는 벽면 부근의 유동은 속도구배가 크기 때문에 많은 격자점을 필요로 한다. 그러나 대형 계산기에서도 허용되는 격자 수가 제한적이며 특히 3차원 문제를 대상으로 할 경우에는 훨씬 줄어들고 실제 계산 시에는 여러 가지 제약이 있어 더욱 격자 수를 줄일 필요가 있다. 그러므로 벽 근처에서의 수치해석은 특별한 관심이 요구된다.

벽 근처에서 유체의 흐름 양상을 살펴보면 viscous sublayer, buffer zone 그리고 완전 난류 영역인 logarithmic region로 구분되며 좁은 공간에서 급격하게 변화한다. 이를 처리하기 위해서는 물론 parabolic boundary layer 방정식을 풀어 해결할 수도 있지만 spatial resolution을 위한 많은 격자수의 사용은 컴퓨터 용량의 증가와 CPU 시간의 penalty를 야기시킬 뿐만 아니라 유한차분법을 사용하는 경우에 기하학적인 불균형을 일으켜(예, control volume의 large aspect ratio등) 수치해석의 불안정한 요인이 되기도 한다. 그러므로 경험식에 바탕을 둔 벽함수(wall function) 방법이 널리 쓰이고 있다. 이 방법은 완전 난류상태 영역과 벽면을 연결시키는 역할을 한다.

이 방법은 벽면의 전단력을 고려한 law of the wall에 기초한 효과적인 난류 계수를 적용하여 벽면 근처에서의 속도 분포를 얻는다.<sup>13)</sup>

그림 2.12와 같은 벽에서의 상황을 고려할 때 벽에서의 pseudo- friction velocity  $u^*$ 를 아래와 같이 정의한다.

$$u^* = \left( \frac{\tau_w}{\rho} \right)^{1/2} \quad (2-58)$$

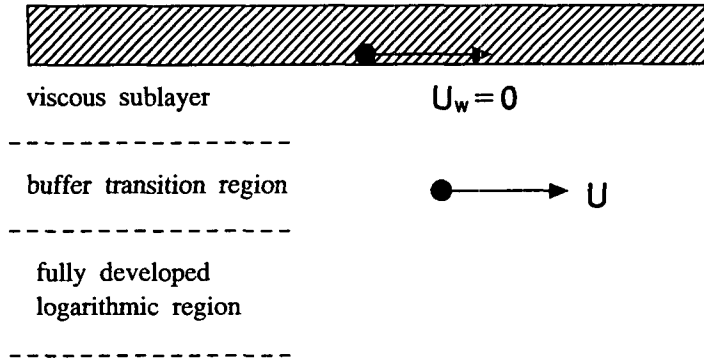


Fig. 2. 12 Velocity near a solid wall

위의 friction velocity를 이용하여 아래와 같은 무차원 변수를 구성할 수 있다. 벽 근처에서 전단력은 식(2-59)로 표시된다.

$$u^+ = \frac{u}{u^*} \quad (2-59)$$

$$y^+ = \frac{yu^*}{\nu} \quad (2-60)$$

$$\tau = (\mu_l + \mu_t) \frac{du}{dy} \quad (2-61)$$

식에서 하첨자  $l$ 과  $t$ 는 각각 "laminar"와 "turbulent"를 나타낸다. 위 식을 wall shear stress  $\tau_w$ 로 나누어주고 정의된 무차원 변수를 사용하여 정리한다. 위 식에서  $y^+$ 의 값에 따라 아래와 같이 law of the wall<sup>13)</sup>의 식을 유도할 수 있다.

$$y^+ \leq 11.63, \quad \frac{\mu_t}{\mu_l} \ll 1 \quad \tau = \tau_w \quad u^+ = y^+ \quad (2-62)$$

$$y^+ > 11.63, \quad \frac{\mu_t}{\mu_l} \gg 1 \quad \frac{\tau}{\tau_w} = \frac{\mu_t}{\mu_l} \frac{du^+}{dy^+} \quad u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln Ey^+ \quad (2-63)$$

식(2-63)에서  $\kappa$ 와  $E$ 는 경험 상수이다.

## 나. 경계 조건

3차원 직교좌표 세척기의 에젝터 수류에 의한 난류유동 해석을 위하여 에젝터의 각도와 설치 간격등의 상황을 고려하여 3차원 난류유동장에 대한 일련의 수치모사를 시도하고 분석하였다.

해석시 세척조의 모든 치수는 모델 세척조에 스케일 업 상수를 이용하여 계산하여 세척조의 제원을 구성하였으며 시작품 제작을 위해 구상된 형상의 세척조 형태와 에젝터 배열을 해석함으로써 제작하게 될 시작품의 최적노즐배치 조건을 찾아내고 압력수에 의해 형성되는 난류 유동장을 파악할 수 있을 것이다. 또한 장치 제작시 세척 효율 증대에 필요한 여러 조건들의 최적치를 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

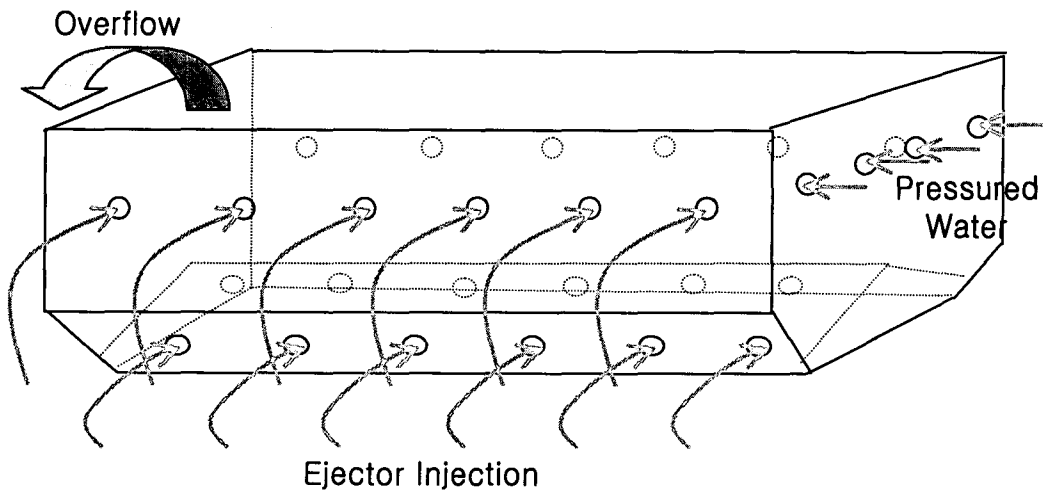


Fig. 2. 13 Schematic Diagram of Washer for Numerical Analysis

모델 세척기의 세척 결과를 살펴보면 예비세척 후 바로 후속으로 처리되는 제 2 세척조에서의 세척효과가 제 3 세척조에서의 영향보다 더 큰 것을 알 수 있었으므로 주요 해석 대상은 제 2 세척조에서의 난류 유동장을 대상으로 하였다. 제 3 세척조 또한 중간 칸막이에 의해 막혀지고 세척에 들어가는 경우 그 형상자체는 제 2 세척조와 흡사할 것을 예상할 수 있으므로 이와 같은 해석 범위의 한계를 정하는 것은 상당히



타당할 것이다. 세척조의 형상은 그림 2. 13과 같이 간략화하여 사다리꼴 육면체의 이상적인 형상에 대하여 수치모사를 수행하였다.

세척조에 유입되는 압력수는 앞면의  $w$ 의 속도벡터로 수면 난류를 일으키며 동시에 수삼의 이송을 담당하는 이송노즐과 각 측면에 엇갈린 형태로 배치된 에젝터를 통한 세척노즐을 통하여 공급된다. 측면에 설치된 노즐의 경우 수직 평면에 장착되어  $u$ 의 속도벡터로 유입되는 노즐과 사선형 측면에 장착되어  $u$ 와  $v$ 의 속도벡터를 동시에 갖는 압력수를 공급하는 노즐로 나눌 수 있다.

또한 정중앙의  $yz$ 평면을 중심으로 양측의 노즐 배치와 형상이 좌우 대칭의 형태를 하고 있으므로 이는  $yz$ 평면 대칭조건을 사용하여 해석 영역을 한정할 수 있었다.

세척수가 월류되는 속도나 양은 직접 측정하기 어려우므로 공급되는 압력수에 대해 continuity를 적용하여 월류지점의 경계 조건을 맞추도록 하였다.

각 노즐을 통하여 공급되는 압력수의 경우 모두 동등한 압력으로 세척조 내부에 유입되는 것으로 가정하였으며 이는 압력수 공급 펌프에서 분배 매니폴드를 거쳐 같은 유압으로 공급되도록 기계를 설계하였으므로 이와 같은 가정이 가능하였다. 또한 공급되는 압력은 노즐을 통해 유입되는 유체의 속도값으로 환산하여 해석에 대입하였으며, 공급압력을 변경하는 경우 다시 속도값으로 계산하여 해석하였다.

에젝터를 통하여 세척조 내부로 유입되는 유체의 경우, 공기와 물이 섞이어 이류체의 상태로 유입되는데, 수치해석에서는 이에 대하여 유입 이류체의 밀도와 점도를 모두 고려하여 해석 조건을 대입하였다.

사선형 측면의 경우 PIV 유동해석을 통하여 그 각도가 약  $45^\circ$ 에서 최적의 세척효과를 얻을 수 있다는 결론에 의하여 해석시 사선측면의 각도를  $45^\circ$ 로 하였으며 측면의 압력수 공급노즐의 위치를 지정하고 측면으로 벽처리를 하였다.

세척기에 유입된 이류체의 난류 유동 해석을 위한 경계 조건들을 살펴보면 그림 2. 14와 같다. 벽에서는 점성유체에 대한 no slip조건을 적용하여  $u, v, w$  zero로 설정하고, 벽에 평행한 속도성분에 대해서는 벽에 의한 점성효과를 고려하여 유효점성계수를 정의한다. 난류에너지  $k$ 와 난류에너지 소산을  $\epsilon$ 은 벽근처에서 난류에너지 생성과 소멸이 평형을 이룬다는 가정하에 유도된 구체적인 값으로 고정한다. 출구에서는  $Pe, No.$ 가 10이상인, 확산이 유동에 비해 무시될 정도로 유동이 완전 전개되었다고

가정하여 출구면에 수직인 속도성분은 연속조건을, 기타 다른 물리량은 구배가 영이고 확산계수 역시 없는 조건을 사용하였다.

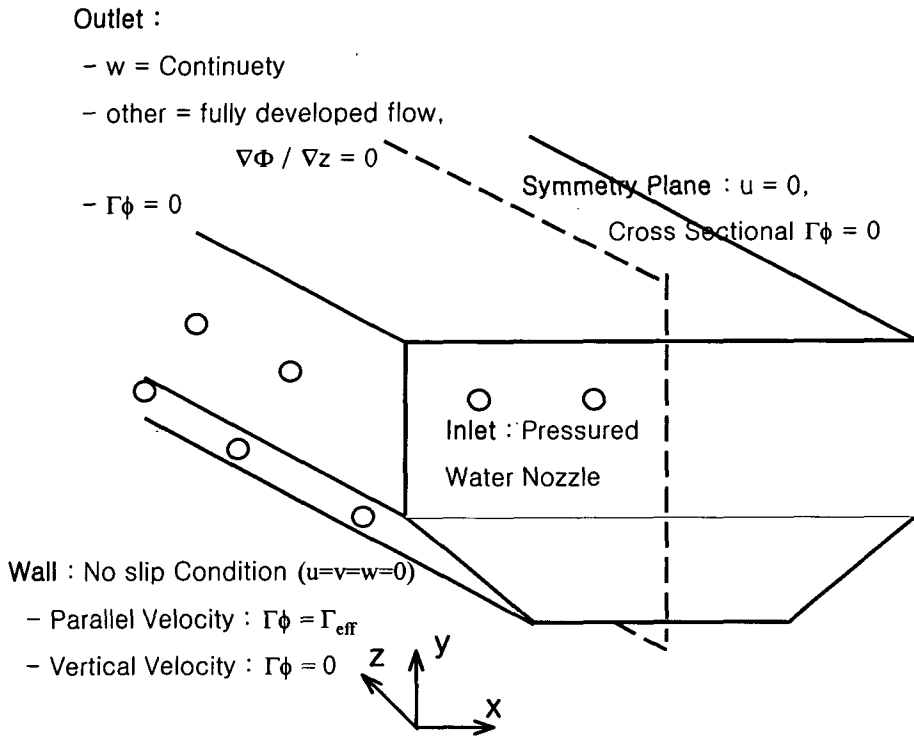


Fig. 2. 14 Boundary Condition of Domain in Washing Tank

### 다. 결과 및 분석

위와 같은 해석 조건과 방법을 통하여 세척조 내부로 들어온 이류체의 난류유동에 대한 해석을 실시하였다. 수치해석의 결과는 다음과 같다.

1) 공급압력  $2 \text{ kg/cm}^2$  세척시 노즐의 위치이동

수삼세척의 한계 수압을 알아보기 위하여 실시된 단공 노즐의 분사실험 결과

세척 장치에 유입되는 이류체의 공급압력은  $2 \text{ kg/cm}^2$ 이 최적일 것이라는 것을 밝혀내었다.

따라서 초기 유체유동 해석의 결과를 살펴볼 조건으로 공급압력을  $2 \text{ kg/cm}^2$ 으로 고정하고 공급 노즐의 위치를 변화시키며 그 영향을 살펴보았다.

공급 노즐이 장착되는 사선면의 각도는  $45^\circ$ 로 지정하였으며 노즐의 위치는 노즐의 간격을 등간격으로 하였을 경우, 아래 사선면에 위치한 노즐의 전 위치를 뒤쪽으로 평행이동 하였을 경우, 앞쪽으로 이동시켰을 경우로 변경하며 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

우선 수삼의 수직이동을 야기시키는 속도  $v$ 의 분포를 알아보았다. 그림 2. 15에서 살펴보면 일정한 등간격을 유지하고 있는 것이 그 구배가 커서 수직향 난류를 만들어낸다는 것을 알 수 있었으며, 뒤쪽으로 이동시키는 경우보다 앞쪽으로 이동시키는 경우 난류 형성이 크게 저하된다는 것을 알 수 있었다. 속도 구배가 크게 나타나는 지점은 주로  $45^\circ$ 의 사선면에서 분사되는 노즐의 위치이며 벽에 의한 저류효과가 적어지는 3번째 부분부터의 노즐의 영향이 수직향 난류를 좌우한다는 것을 알 수 있다.

그림 2. 16의 경우에는 세척조의 중심부에 가까운 곳에서 속도벡터를 살펴본 것으로 그  $y-z$  평면의 위치는  $x=0.27\text{m}$ 이었다. 속도 벡터를 살펴보면 그림 2. 16(b)의 벡터의 크기가 더 크게 보이고 있으나 이것은 수표면 근처인 곳에서만 속도 벡터가 크게 나타나고 있는 것으로 이는 상단의 노즐의 속도 벡터에 뒤쪽으로 치우친 사선면의 노즐 유입수가 영향을 미쳐서 상단의 세척수 속도 벡터가 더 크게 나타난 것이나 그 외 수체 아래 부분의 전반적인 속도 구배를 살펴보면 일정한 간격으로 설비된 경우가 더 균일한 난류 분포를 형성한다는 것을 알 수 있다. 노즐의 간격을 앞쪽으로 이동시킨 (c)의 경우 사선면에 장치된 노즐의 유입 속도의 영향이 매우 작게 나타나고 있으며 이를 통하여 수직 장착된 노즐 배치와 사선면에 장착된 노즐의 위치 선정이 잘못될 경우 세척조의 난류 형성에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

그림 2. 17에서는 앞면에 설치하여 이송시 주요 작용을 하는 노즐과 측면에 장착된 노즐간의 영향을 살펴보기 위하여 두 노즐의 영향이 크게 나타나는 지점에

서 x-y 평면 속도벡터와 그 영향이 거의 사라지는 하류지점에서의 속도벡터를 살펴 보았다. 노즐이 일정한 간격으로 설치된 경우에는 적절하게 z방향의 속도벡터와 coupling을 일으키면서 세척수 전체적으로 강한 와류를 형성하고 있음을 알 수 있다.

노즐을 뒤쪽으로 이동시킨 경우에는 수표면 쪽의 z방향 속도는 (a)의 경우와 비슷하게 나타나고 있으나 상부의 고압력으로 들어오는 w속도의 영향을 측면에서 주입되는 유체가 전 세척조 내로 확산시키지 못하는 것이 확실히 나타나고 있다. 노즐의 영향이 뒷부분으로 이동되었기 때문에 하류에서 나타나는 속도벡터가 (a)와 비교하여 약간의 차이가 있는 것은 세척 효과에는 그리 영향일 미치지 않을 것이다.

노즐이 앞쪽으로 쏠려있는 경우 초기 w속도와 측면 공급수가 와류를 형성하지만 그 영향이 세척조 전체로 퍼져나가지 못하고 있는 것을 알 수 있었다.

노즐의 위치가 앞쪽으로 치우친다는 것은 사선면에 위치하는 노즐과 수직면에 위치하는 노즐의 간격이 상대적으로 멀어진다는 것을 의미하며 이 두 속도 벡터의 영향이 적절히 주어지지 않아 난류 형성이 미비하다.

이로서 에젝터에 의해 이류체를 형성하여 비교적 낮은 압력에서 세척 효과를 유도하고자 하는 이러한 세척조에서는 세척 노즐의 위치 선정이 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

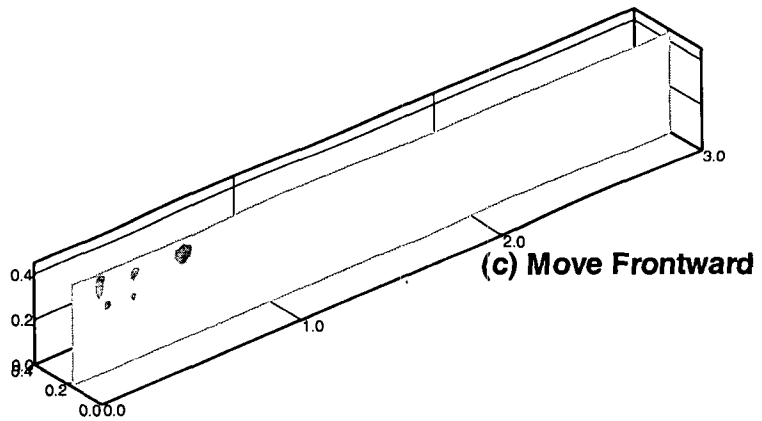
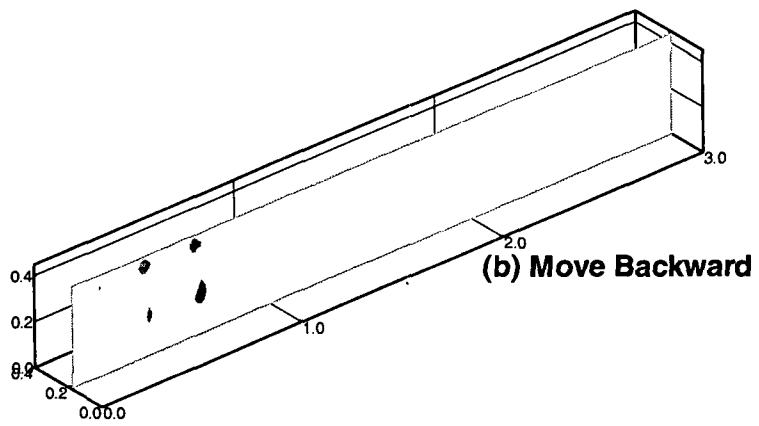
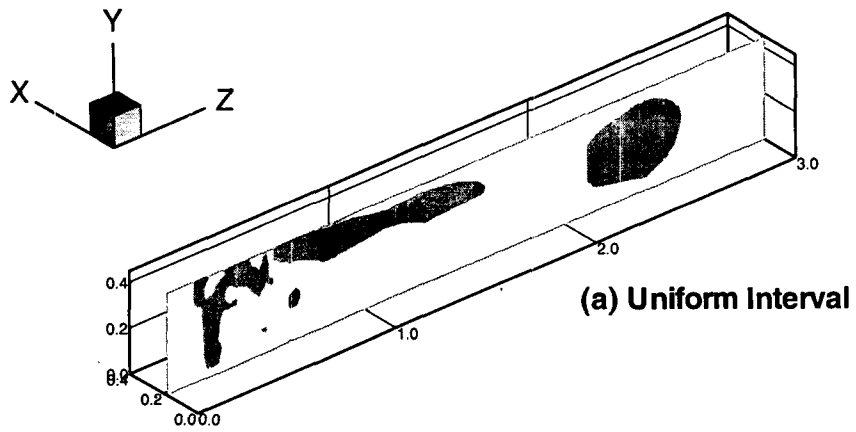


Fig. 2.  $15 v$  Velocity Intensity at  $z$ - $y$  Plane

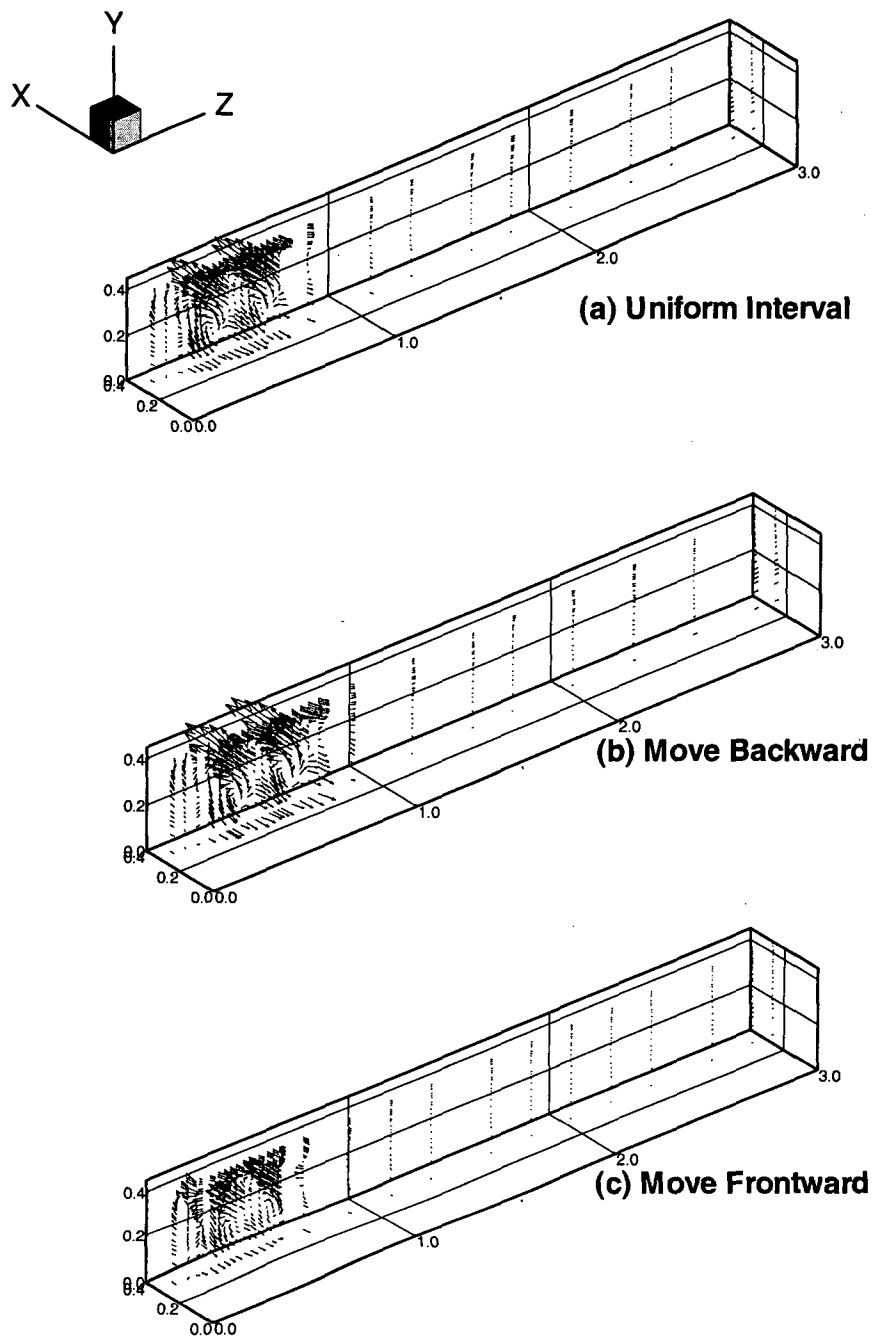


Fig. 2. 16 Velocity Vector at z-y Plane (at  $x = 0.27m$ )

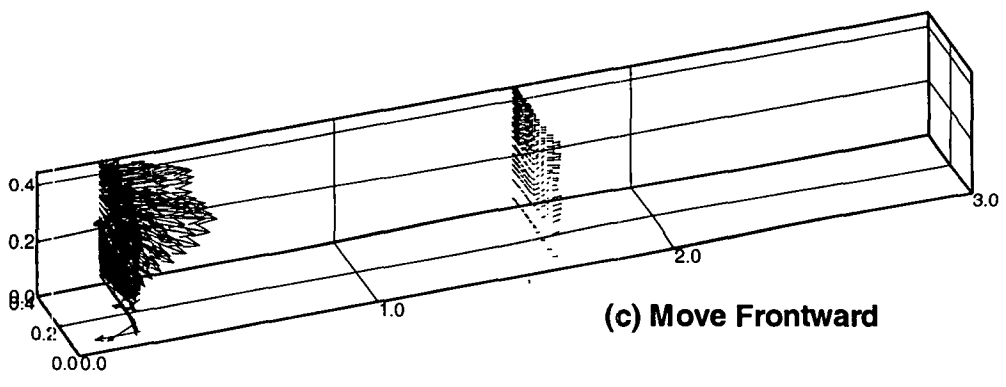
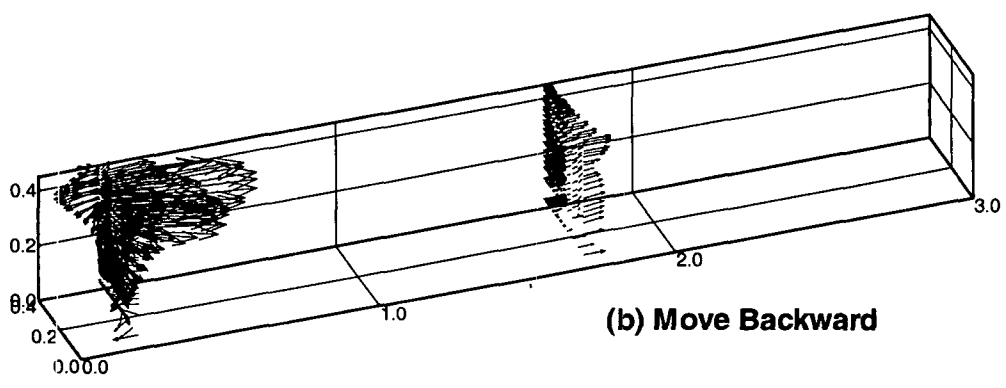
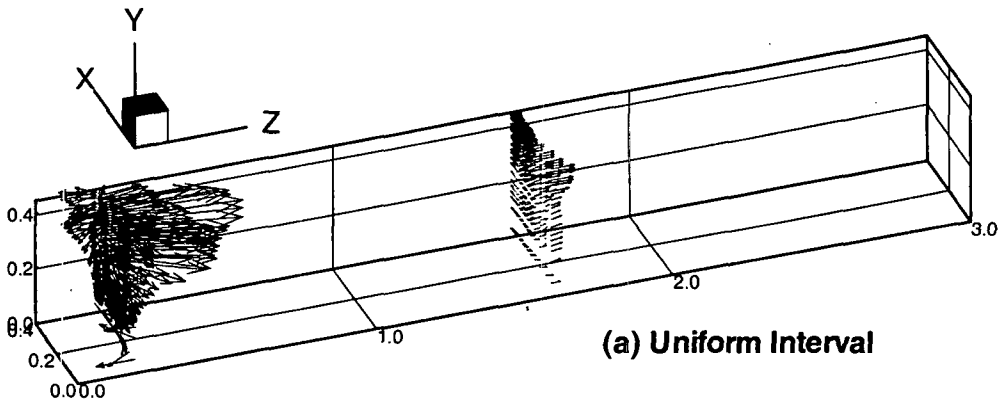


Fig. 2. 17 Velocity Vector at z-y Plane (at  $z = 0.25m$ ,  $z = 1.65m$ )

## 2) 공급압력 $2 \text{ kg/cm}^2$ 세척시 노즐의 간격변경

노즐의 위치를 변경시킨 결과 등간격으로 노즐을 위치시키는 것이 최적임을 알 수 있었다. 이러한 등간격을 유지할 경우 노즐간의 간격 폭은 어떤 영향을 미칠지 알아보기 위하여 z방향으로 수평 간격을 변화를 주고 z방향으로 수직 간격을 변화시켜 그 결과를 분석하였다.

초기 노즐의 위치는 다른 여러 세척기나 수류 장치에 장착된 노즐 간격을 참고로 하며 실험에 사용된 모형과 모델 세척기의 노즐 간격을 스케일 업하여 두가지를 토대로 정한 것이다. 정확히 물리적으로 초기 노즐 배열을 정한 배경을 설명할 수는 없으나 세척 효과가 잘 나타나며 기준치 미만의 결과를 얻을 수 있었던 모형과 모델 세척기의 노즐 간격을 기본으로 하였으며, 기타 이미 다른 물성에 대해 세척의 기능을 수행하는 기구와 에젝터를 이용하여 수류를 형성시키는 장치의 치수를 참고하였으므로 상당히 타당한 값이 입력되었다고 할 수 있다.

### 가) 평행한 z방향으로의 간격 조정

초기 설정한 노즐간의 간격을 z방향으로 수평하게 이동시켰다. 각 노즐간의 간격 ( $dz$ )을  $0.03\text{m}$  증가시켜 노즐을 배열시키고 유동을 살펴본 결과 그림 2. 19 (b)와 그림 2. 20 (b)에서 보여지는 바와 같이 고압으로 유입되는 노즐의 세척수가 세척조 전체에 난류 유동을 일으키지 못하고 있다. 측면 노즐의 분사 속도의 영향은 거의 나타나지 않고 있으며 전면의 이송노즐의 분사 영향도 수체 내로 전파되지 못하고 있다.

따라서 초기 설정한 노즐 간격보다 더 떨어뜨려 노즐을 배치할 경우 세척효과는 상당히 감소하리라 예상할 수 있었다.

그림 2. 18 ~그림 2. 20 의 (c)는 노즐간의 수평간격을  $0.04\text{m}$  감소시켜 노즐을 집중적으로 배치한 결과이다. 그림 2. 18 (c)를 살펴보면 속도구배가 가장 낮게 나타나고 있으며, 각각의 방향에서 살펴본 속도벡터의 형태도 집중되는 형태를 나타내고 있으나 그 영향으로 수체 전체의 유동에 영향을 미치기 어려울 것으로 생각된다. 또한 집중적으로 배치되어 각 노즐에서 분사되는 세척수가 서로 영향을 미쳐 원하는 세척 결과를 얻기 어려울 것이다. 따라서 적당한 수평 간격을 유지하여 노즐을 분포시키는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.



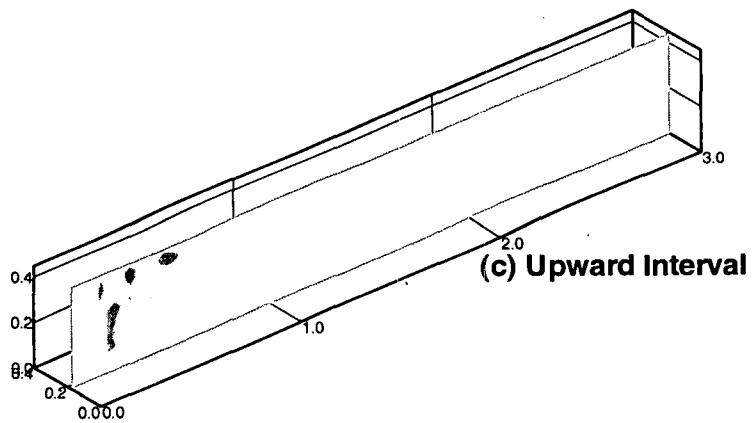
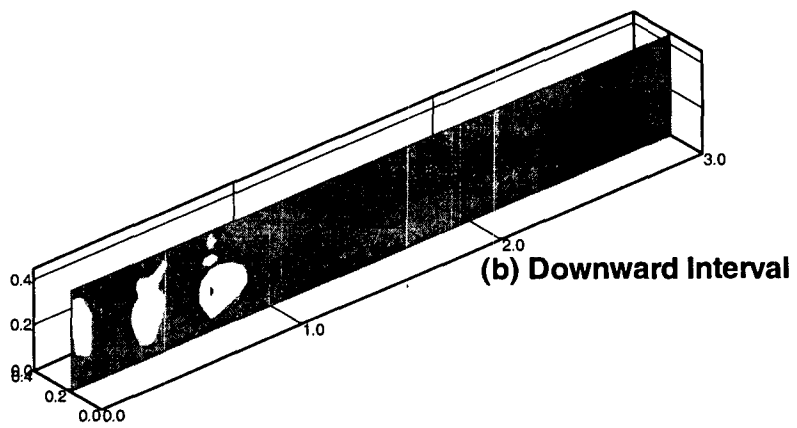
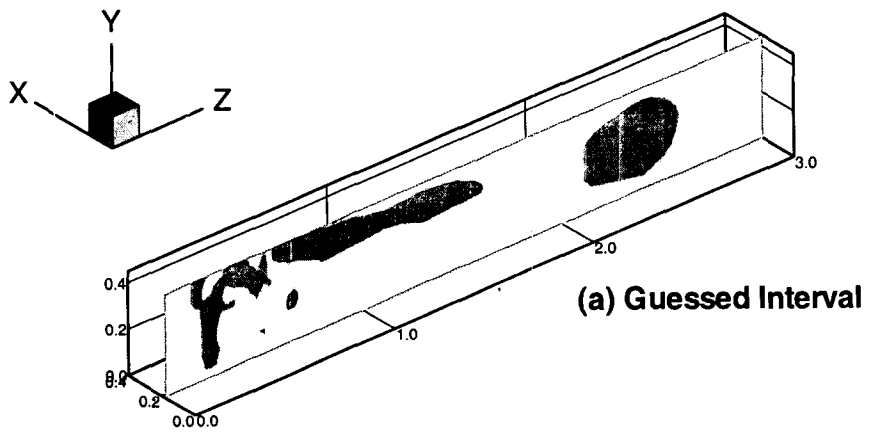


Fig. 2. 18 v Velocity Intensity at z-y Plane

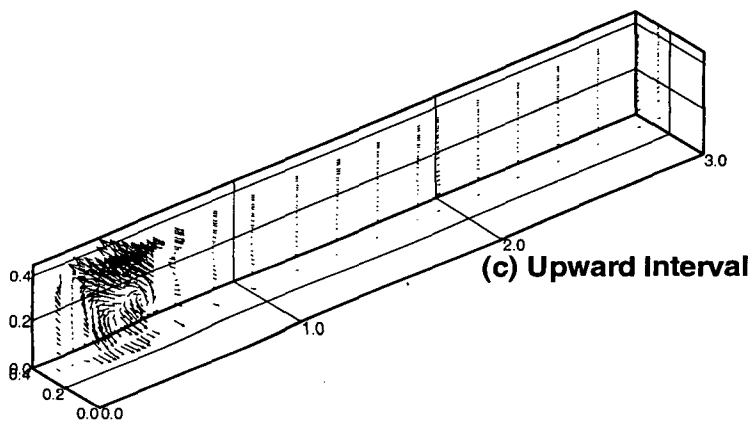
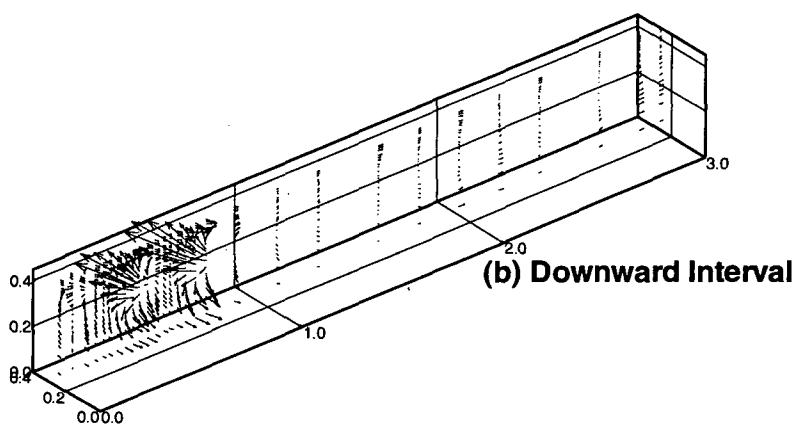
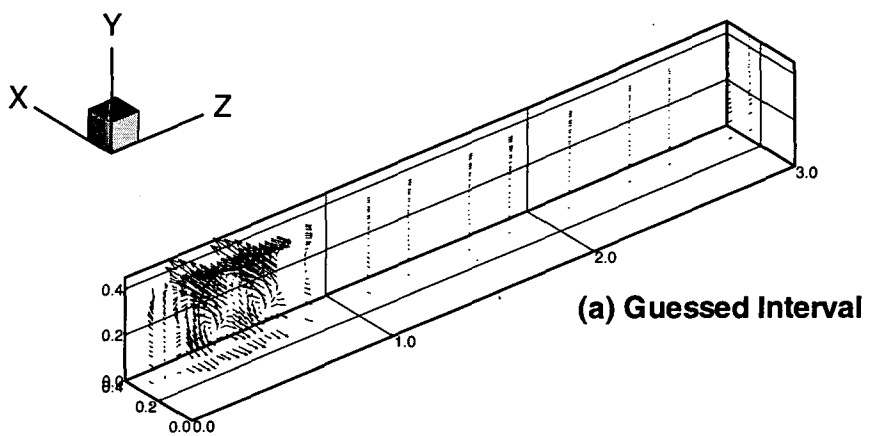


Fig. 2. 19 Velocity Vector at z-y Plane (at  $x = 0.27m$ )

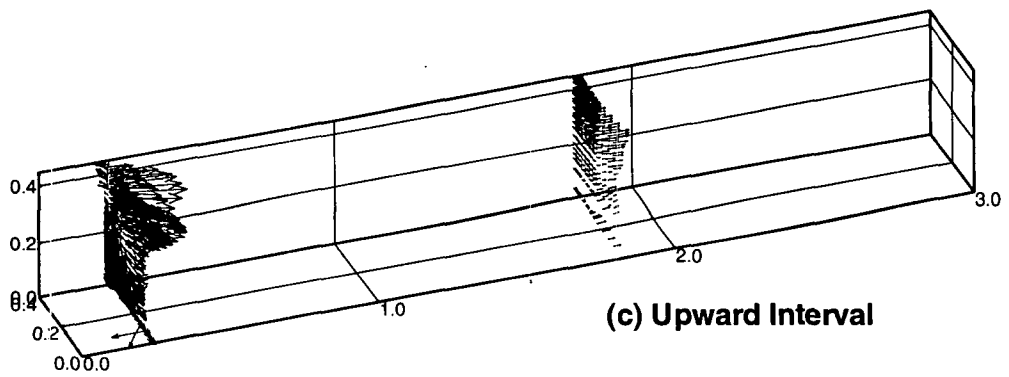
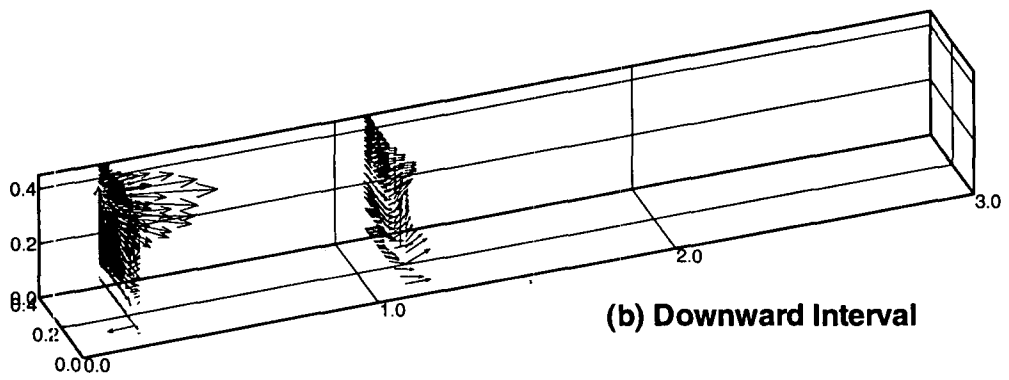
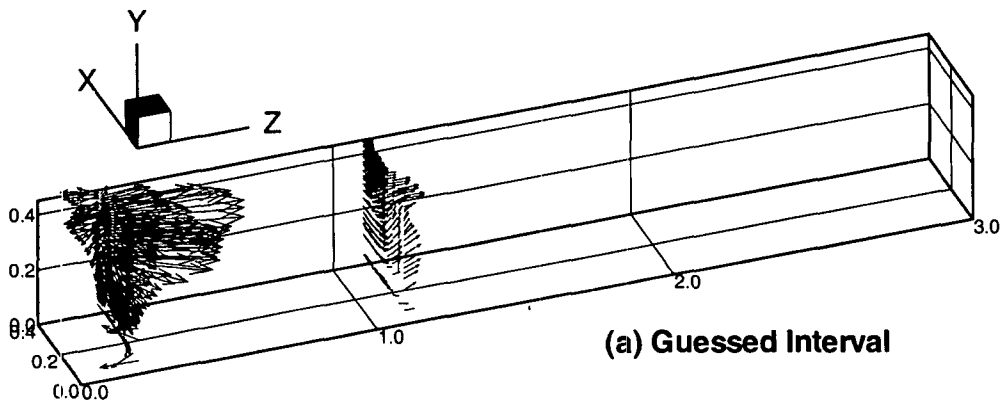


Fig. 2. 20 Velocity Vector at z-y Plane (at  $z = 0.25m$ ,  $z = 1.65m$ )

## 나) 수직인 $y$ 방향으로의 간격 조정

측면 수직인 면에 설치된 노즐의 높이를 조정하여 수직면의 노즐과 사선면의 노즐 사이의  $y$ 방향 간격을 바꾸어 보았다. 수직면에 위치한 노즐의 위치를 아래쪽으로 이동시켜 사선면 노즐과 수직 간격을 좁혀 보았다. 그러나, 이렇게 수직 간격이 좁혀지는 경우 3차원 유동의 불안정성으로 인하여 해석의 한계가 있어 수직 간격은 크게 좁히지 못하였다.

따라서 그 결과 또한 큰 차이를 보이지 않고 있다.

수직 간격의 조정의 결과는 그림 2. 21~그림 2. 23에 나타내고 있다. 각 그림의 (c)에서 보여지는 바와 같이 간격이 넓혀진 경우 전면에서 유입되는 이송노즐의 영향과 맞물리어 수표면 근처의 속도벡터의 영향만 있을 뿐, 초기 설정된 간격의 세척조와 비교하여 난류 형성에 좋지 않은 것을 알 수 있었다.

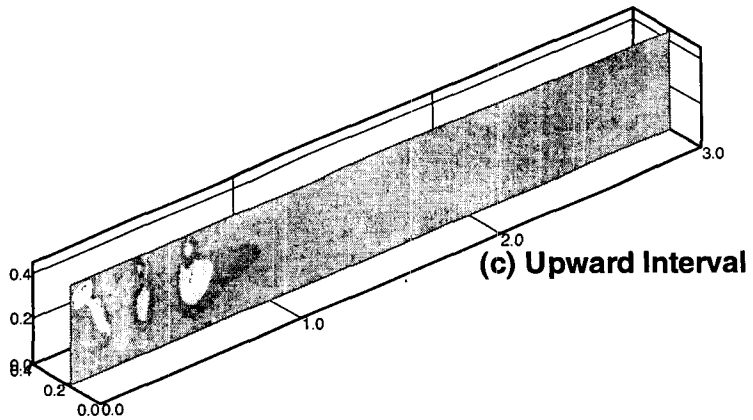
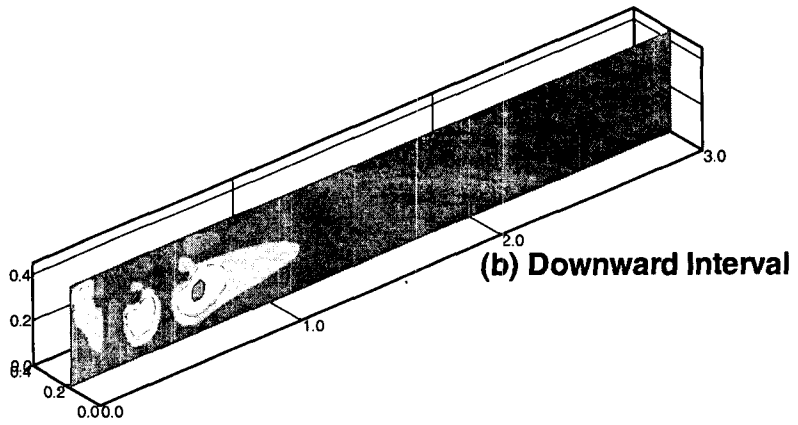
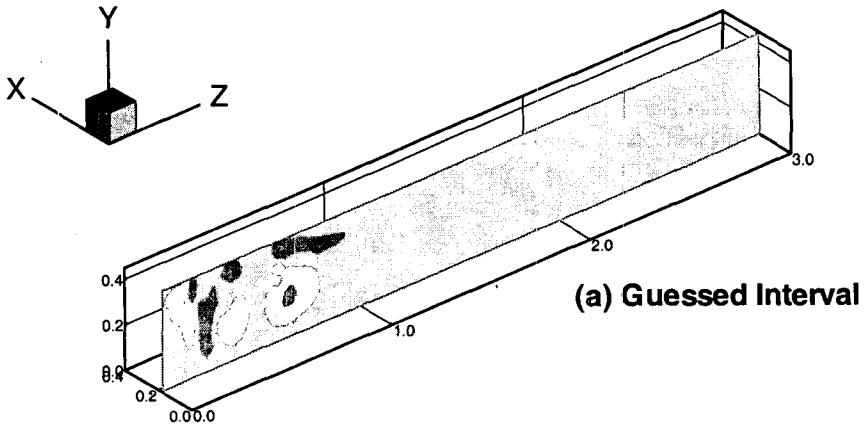


Fig. 2.  $21 v$  Velocity Intensity at  $z$ - $y$  Plane

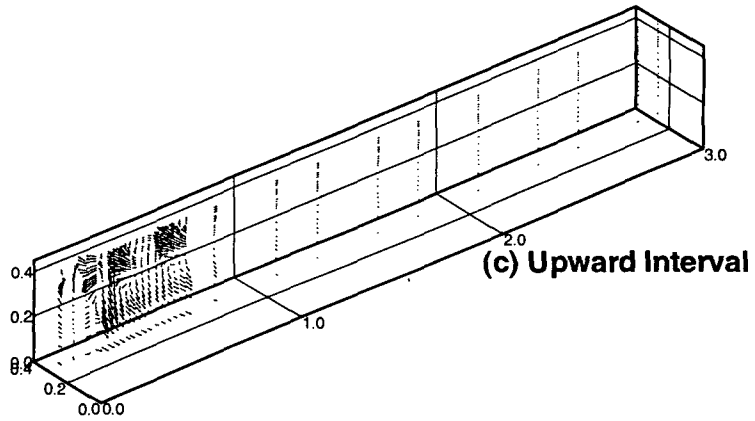
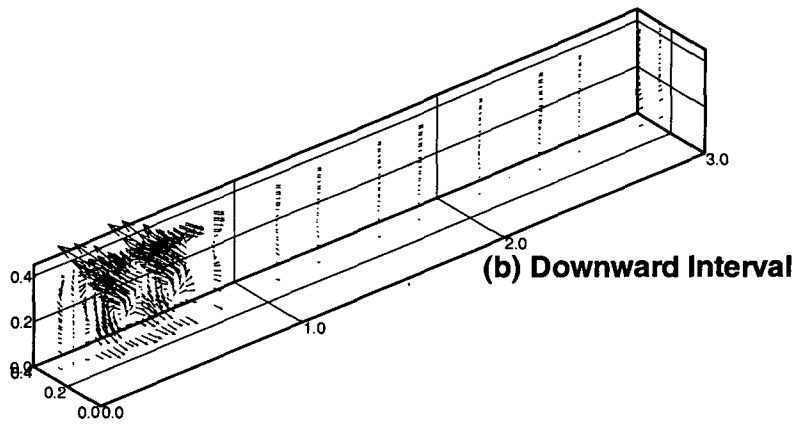
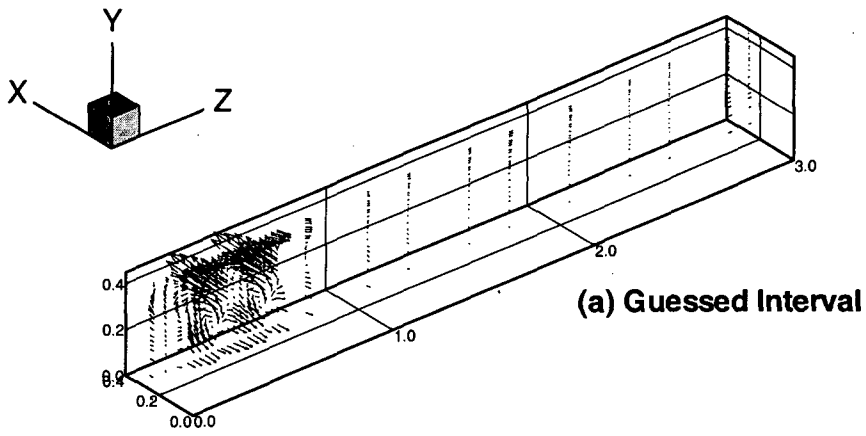


Fig. 2. 22 Velocity Vector at z-y Plane (at  $x = 0.27m$ )

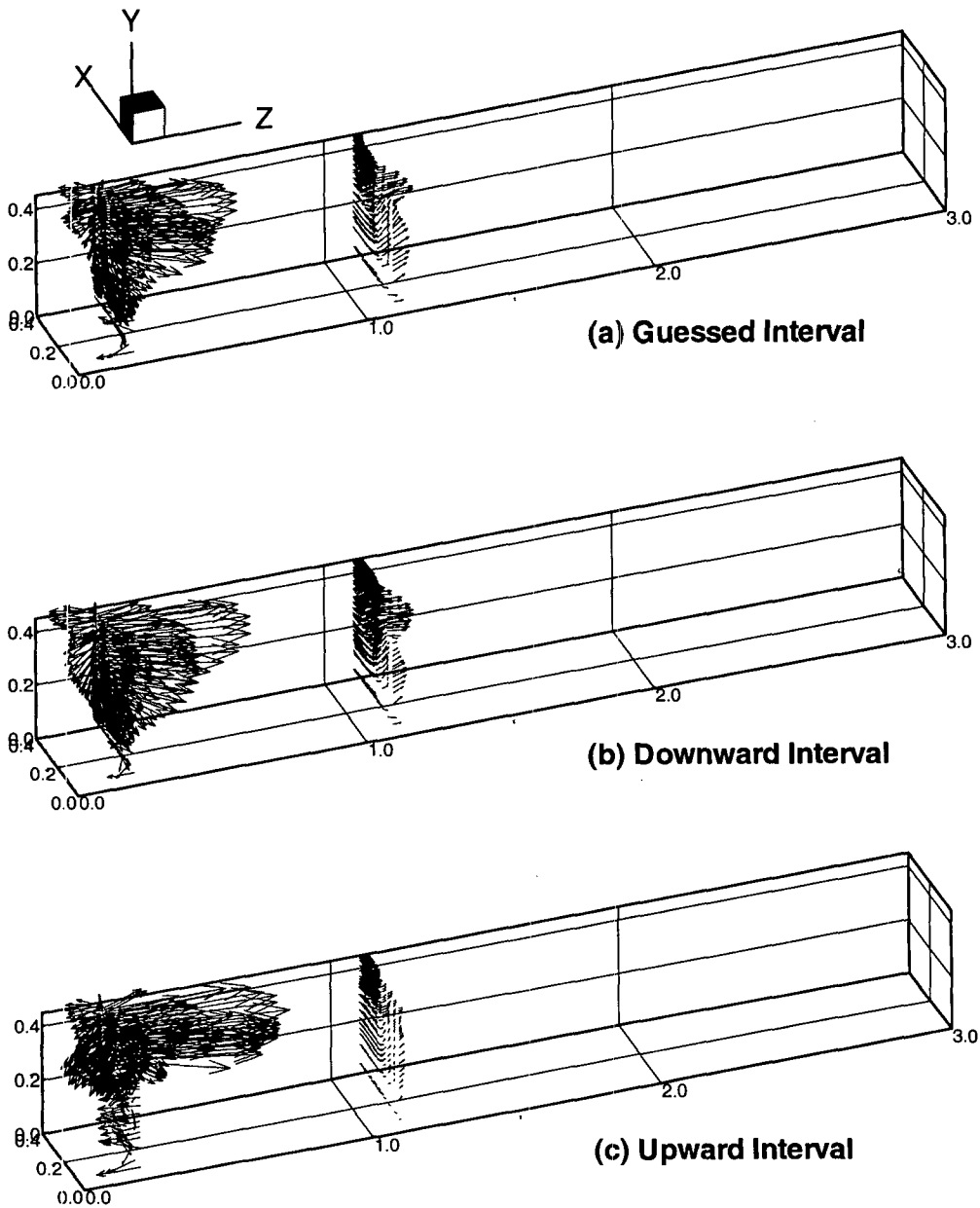


Fig. 2. 23 Velocity Vector at z-y Plane (at  $z = 0.25m$ ,  $z = 1.65m$ )

## 라. 수치해석 결론 및 활용

모형 세척조와 모델 세척조를 통하여 여러 중요한 설계 변수들의 최적 조건을 구하였으며, 스케일 업 기법을 통하여 시작품을 구상하기에 이르렀다. 그러나 스케일이 작은 모형이나 모델 세척기의 경우 제작과 실험의 전 과정이 그리 어렵지 않았으나 시작품의 경우 한번 제작하는데 비용과 시간이 많이 투자되는 관계로 구하여진 여러 조건들 외에도 에젝터의 설치와 그 배열에 대해 정확한 수치적인 조건이 필요하였다.

수치해석의 장점으로는 제품을 제작하고 실험 장치를 구성하며 기기와 실험 대상을 안정화시키고 시료를 준비하고 채취하는 고비용의 복잡한 과정없이 빠른 시간 안에 신뢰성 있는 결과를 얻어낼 수 있다는 것이다.

따라서 이와 같은 상황을 해결하기 위하여 세척조 내부의 이류체 난류 유동을 수치해석을 통하여 그 속도 분포와 난류 정도를 이해할 수 있었으며 그 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 에젝터 수류식의 세척조의 경우 비교적 저압의 운전조건하에서 최적의 세척 효과를 얻기 위해서는 에젝터의 장착 위치 선정이 매우 큰 영향을 미친다.

노즐의 위치가 다른 간격으로 수직 노즐에 대하여 사선면 노즐이 뒤쪽으로 치우친다면 수표면 근처에서는 강한 난류를 형성하지만 이 난류를 수체 내부로 확산시키지 못하고 결국 수심은 수표면을 표류하는 형태의 궤적을 그릴 것이다.

노즐의 위치가 앞쪽으로 치우치게 되면 전반적인 난류 형성이 미비하며 각 노즐에서 분사되는 부분에서만 수심이 움직이고 그 이외의 부분은 천천히 회유할 것을 예상할 수 있었다.

따라서 노즐의 위치는 등간격을 유지하고 벽과의 간격도 어느정도 유지하여야 각 노즐에서 분사되는 고압 이류체의 속도가 전반적인 세척조 내부에 균등한 난류 유동장을 형성할 수 있다.

2. 모델 세척기의 제원을 스케일 업하고 기타 장비의 제원을 조사하여 초기 노즐 간격을 결정하였으며 노즐 간격을 수평방향과 수직방향으로 이동시켜 등간격이라 할



지라도 각 노즐 사이의 거리에 따라서 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다. 노즐의 수평 간격을 늘려서 떨어뜨려 배치한 경우 세척효과는 현저하게 떨어졌으며, 간격을 붙여 집중적으로 배치한 경우 각 노즐에서 분사된 세척수가 충분히 난류를 형성시키지 못하며 이송노즐의 영향이 오히려 속도를 저하시키는 형태를 나타내고 있어 수평 간격을 줄여 노즐의 수를 늘리는 것이 비례적으로 세척 효과를 증진시키지 않는다는 것을 보여주고 있다.

3. 수직 단면에 설치된 노즐의 높이를 변경하여 수직단과 사선면의 노즐 사이의 수직 간격을 조정하여 보았다. 초기 설정한 수직단면의 노즐 위치를 아래로 이동시킨 경우 유동이 불안정해지고, 노즐의 위치를 위로 이동시킨 경우 이송노즐의 영향으로 난류형성에 좋은 조건이 되지 못하였다.

이와 같은 수치해석의 결과를 통하여 세척기 내부의 유동현상을 파악할 수 있었으며 제작하고자 하는 시작품의 에젝터 배열을 위한 기초자료를 제시할 수 있었다.

전면과 측면, 사선면에서 유입되는 노즐의 세척수에 의하여 세척조 내부에 균일한 난류장이 형성되면 예비세척조를 통하여 투입된 수삼은 난류장의 강한 와류에 의하여 표피나 다리의 손상없이 세척이 가능할 것이다. 따라서 전·측면의 에젝터 배열이 중요한 변수가 되고 있다.

에젝터의 배열은 등간격으로 하며, 수평·수직 일정한 간격을 유지하지 않는 경우 집중적으로 노즐의 장착수를 증가시킨다고 하여 비례적으로 세척효율이 증대되지 않는다는 것도 알 수 있었다.

시작품으로 제작될 에젝터 수류형 세척기의 노즐 간격과 배치를 계산하고 그 간격을 조정하여 최적의 배열과 위치를 모색하였으며, 세척조 내부의 난류 유동장을 해석할 수 있었다.

## 제 3절 모델세척기

### 1. 설계 및 제작

본 연구의 최종 목표인 시간당 수삼 세척능력 500kg의 세척기를 개발하기 위하여 유동최적화 실험에 적용한 모형세척기의 2배 용적을 갖는 모델세척기를 그림 2. 24와 같이 설계 및 제작하였다. 모델세척기는 펌프압력, 세척조내의 수삼 체류시간의 조절이 가능하며 외부에서 육안관찰이 가능한 소재로 선택하였다.

앞선 연구에서 PIV 유동계측 실험장치를 이용하여 동시다점에서 발생하는 세척기 내에서의 수류방향과 속도 Vector를 계측함에 있어서 유량을 세종류로 변화시켜 각각의 유동 패턴을 조사한 결과 W"자형 유동 안내판은 모형세척기 내에서는 대칭적인 와류가 상존하게 하고 이러한 와류는 세정에는 상당한 도움이 되지만 지나치게 빠른 와류형성시 수삼의 꼬임 현상으로 잔가지등의 파손 현상이 발생할 수 있다. 그러므로 좌우대칭형 반시계 방향의 빠른 와류는 수삼을 덩어리화 시킬 뿐만 아니라 덩어리로 뭉쳐지면서 다리의 꼬임현상으로 다리, 잔가지뿐만 아니라 몸통까지도 손상이 발생할 우려가 있다.

와류의 선회속도를 최소로 하면서 Count Flow에 의한 세척효과를 높이기 위해서는 에젝터의 분사각도 조절이 필수적이며 특히 상부의 표면류에 직접적인 영향을 주는 에젝터 장착각도  $\theta_1 = 0^\circ$  로 하였고  $\theta_2 = 45^\circ$  로 하여 하부 에젝터에서 발생된 강한 운동에너지는 강한 와류를 발생시키지만 상부 에젝터에서 발생하는 수평향류에 의해서 상당부분 상쇄되어져 세척효과를 증대시킬 뿐만 아니라 꼬임 현상과 손상을 상당히 줄일 수 있는 구조로 하였다.

즉 수삼표면에 대한 충격효과와 기포 발산효과에 의해서 세척효과를 최대화 할 수 있다.

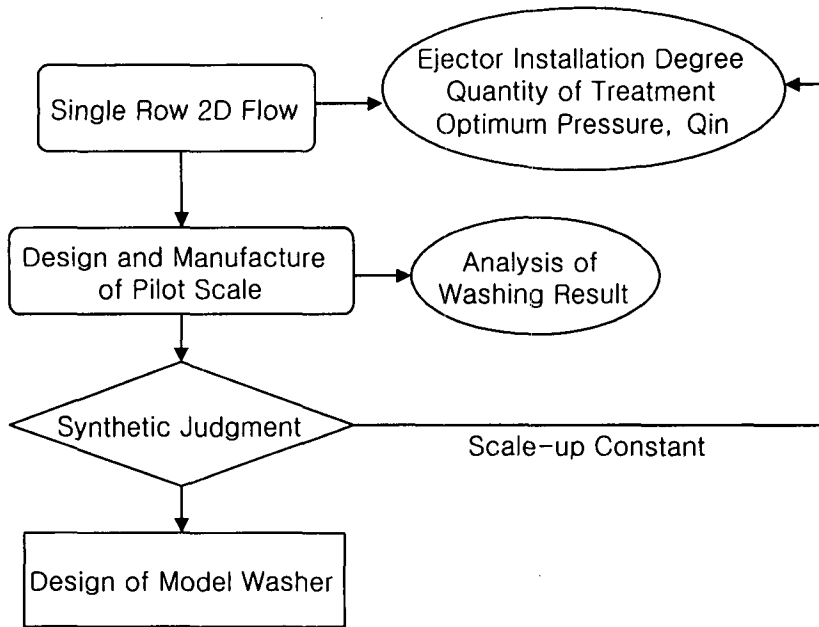


Fig. 2. 24 Design Procedure of Model Washing Machine

그림 2. 24는 모델세척기의 설계절차를 나타내며 그림 2. 25는 모델 세척기의 세척조를 나타내고 있다.

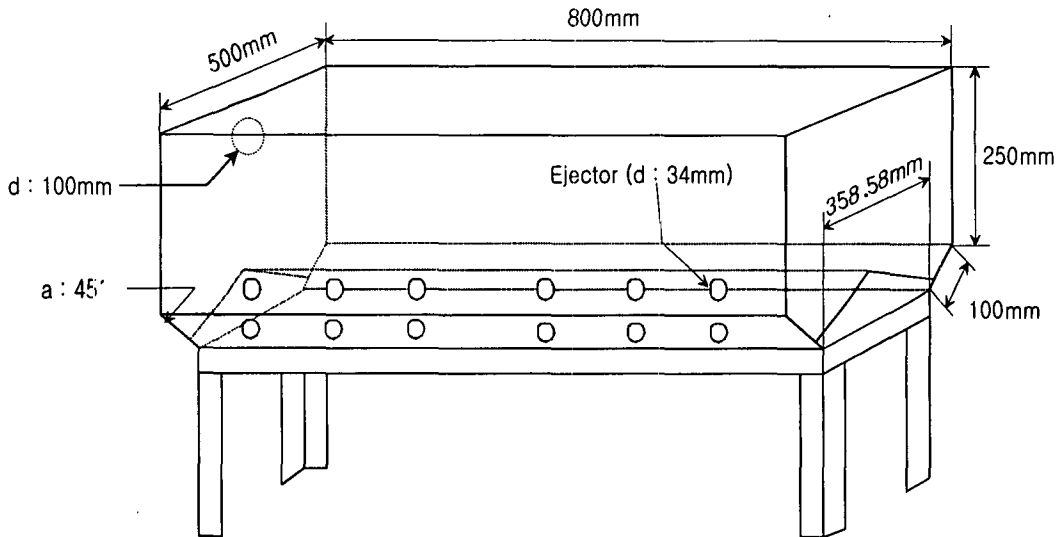


Fig. 2. 25 Schematic Diagram of Model Washing Tank

## 2. 실험장치 구성

그림 2. 25와 같이 설계 및 제작한 모델세척기와 에젝트, 펌프로 구성하였고 펌프의 후단에는 디지털 유량계를 두어 유량을 측정할 수 있도록 하였고 에젝터 입구의 공기 유입에 따른 압력강하를 측정할 수 있는 마노미터를 설치하여 물과 공기의 혼합비를 계산할 수 있도록 하여 전체적인 실험장치 구성은 그림 2. 26과 같이 나타냈다 .

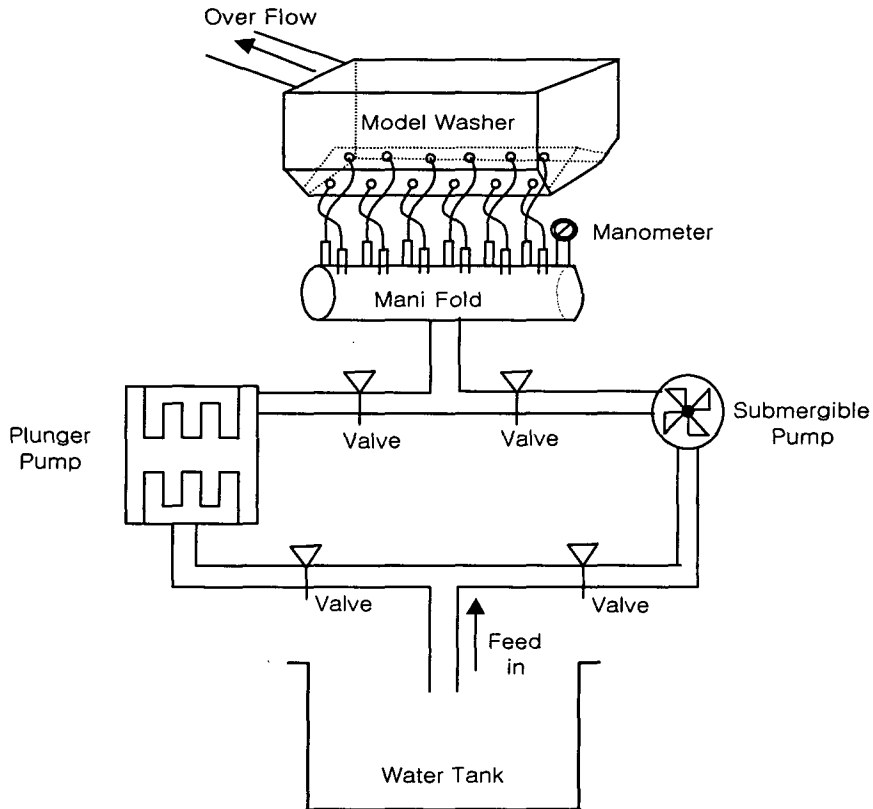


Fig. 2. 26 Schematic Diagram of Experimental Set up

실용규모의 상업화 스케일업시에도 적용 가능하다고 판단되어지는 직경 12mm 에젝터 24EA를 사용하였고 수압, 수량은 조절이 가능한 Plunger Pump와 By-pass를 통한 수압, 수량 조절이 가능하도록 개조한 Submersible Pump를 사용하였는데 각각의 최고 토출압력은  $70 \text{ kg/cm}^2$  ,  $5 \text{ kg/cm}^2$  이다.

고압수 사용시 발생하는 호스이음부분의 누설과 손상을 방지하기 위하여 호스 이음  
매를 압착식 연결덮판 및 개폐식 연결조인트를 적용하여 펌프교체시 용이하도록 하였  
으며 펌프와 세척수 Manifold, 공기 Manifold와 에젝터의 튜브 연결은 내압 한계가  
12 kg/cm<sup>2</sup> 인 PE 튜브를 사용하였고 색상을 이용하여 분별이 가능하도록 하였다.

모델세척기의 중간부분에 아크릴 벽면을 필요시 설치할 수 있도록 함으로써 에젝터  
12개 가동시 저유량 고압화가 가능한 조건에서도 실험할 수 있도록 하였다.

또한 에젝터 장착각도는 두 계측 단면에서의 유동 특성간에는 큰 차이가 없으므로  
유동장 전체의 특성은 단면마다 크게 달라지지 않으며 2차원성이 강한 준정상 유동이  
지배적으로 나타나는 PIV 유동해석 결과를 기초로 하여 상부수평향류 발생용 에젝터  
는 0° 하부 와류 발생용 에젝터는 45° 로 하였다.

세척기내로 들어온 세척수는 하부를 통하여 순환하도록 하였으며 수위는 임의로 조  
절할 수 있게 하였다. 또한 본체를 투명아크릴로 만들어 PIV유동측정을 가능하게 하  
였다.

그림 2. 27, 그림 2. 28, 그림 2. 29은 모델세척기와 플런저 펌프와 결합된 상태,  
공기유입구와 진공계의 결합, 펌프에 연결된 세척수 분배기를 각각 나타낸다.

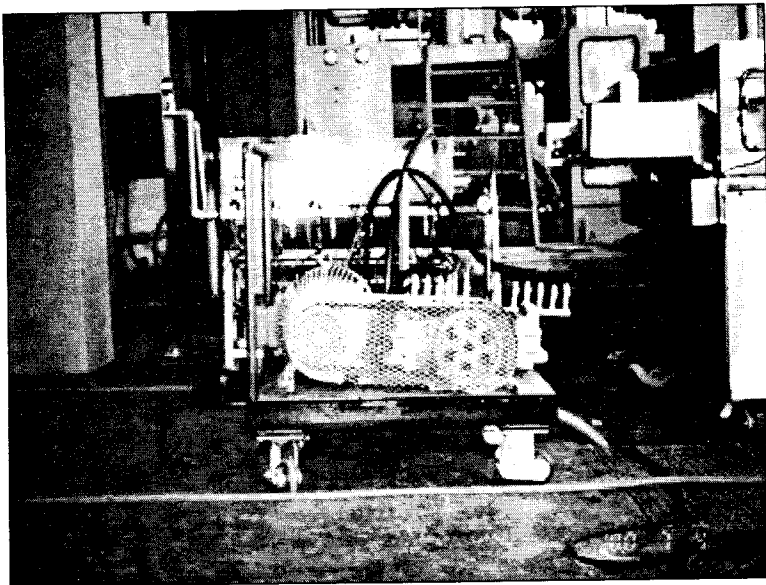


Fig. 2. 27 Model Washing Machine attached Plunger Pump

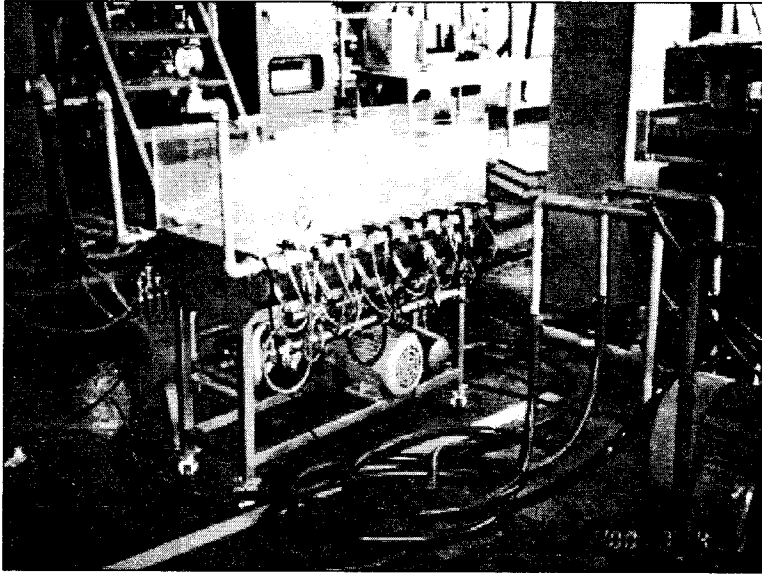


Fig. 2. 28 Assembled with Air Inlet Tube & Vacuum Meter

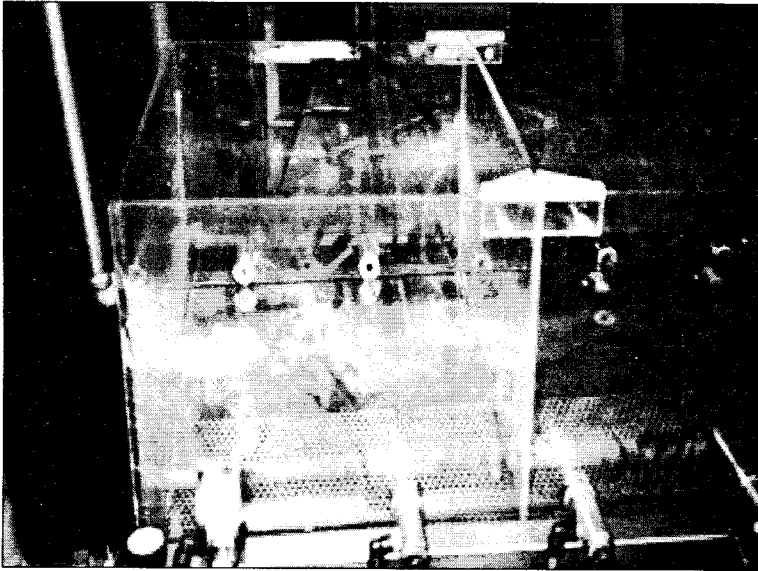


Fig. 2. 29 Screen for Ejector Water Feed Pressure Control

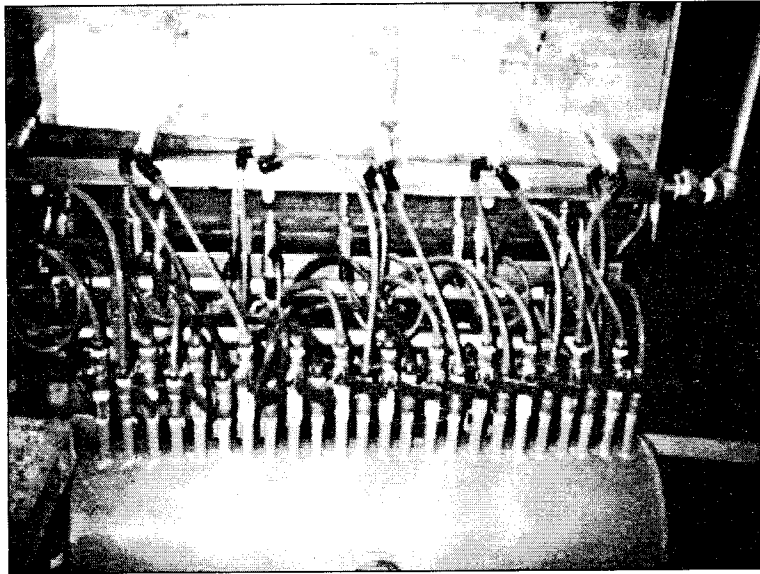


Fig. 2. 30 Submersible Pump & Water Distributor

### 3. 실험 및 분석

제 1차 모델세척기 실험에서 5 HP Submersible Pump를 이용하여 수삼의 세척에 필요한 최소의 수압에서 적용 가능한 최대 수압인  $5 \text{ kg/cm}^2$ 까지 실험하기로 하였으나  $2.2 \text{ kg/cm}^2$ 에서 잦은 연결부위 파손으로 인하여 더 이상 고압에서 실험을 수행하지 못하였다.

이것은 실제 펌프의 성능곡선의 차이도 있지만 호스의 내압한계는 플렌지 연결작업에서 필수적으로 따르는 구경확대에 열을 사용함으로써 본래의 강도를 상실하기 때문인 것으로 판단되어진다.

표 2. 6에서 원료수삼의 상태와 5단계의 압력과 체류시간을 변화시키면서 세척한 결과를 분석하도록 하였다.

특히 예비블림의 효과를 살펴보기 위하여 최적 세척수압으로 보여지는  $2 \text{ kg/cm}^2$ 에서 예비블림을 10분한 후에 세척시간을 5분부터 20분까지 5분간격으로 체류시간을 증가시키면서 실험하였다.

Table 2. 6 Operational Conditions of Model Washing Machine

Sample	Feed Water Pressure( $kg/cm^2$ )	Retention Time(minute)	Optional Condition
S40	1.8	5	
S41		10	
S42		15	
S43		20	
S44	2.0	5	
S45		10	
S46		15	
S47		20	
S48	2.2	5	
S49		10	
S50		15	
S51		20	
S52	1.5	5	
S53		10	
S54		15	
S55		20	
S56	2.0	5	Submerging 10minute
S57		10	
S58		15	
S59		20	

표 2. 7은 표 2. 6에서 제시된 실험 조건으로 모델 세척기에서 실험한 후 함수율과 회분, 산불용성회분을 측정하여 나타난 결과이다.



Table 2. 7 Experimental Result of Model Washing Machine

Sample	Moisture Contents(%)	Ash(%)	Ash of Non-Soluble Acid(%)
Raw	66.0	6.45	2.98
S40	70.4	5.96	1.75
S41	72.3	5.51	1.53
S42	68.8	4.59	1.36
S43	67.1	3.95	1.32
S44	62.4	4.15	1.06
S45	67.2	4.10	1.27
S46	65.1	4.02	1.12
S47	65.4	3.53	1.03
S48	69.6	4.53	1.47
S49	67.8	4.71	1.33
S50	68.1	4.36	1.48
S51	62.9	4.02	1.16
S52	70.5	6.74	2.19
S53	67.6	4.40	1.23
S54	64.8	3.95	1.13
S55	63.6	3.63	1.17
S56	64.4	4.91	1.36
S57	65.8	4.31	1.22
S58	70.4	3.96	1.24
S59	65.1	3.14	0.82

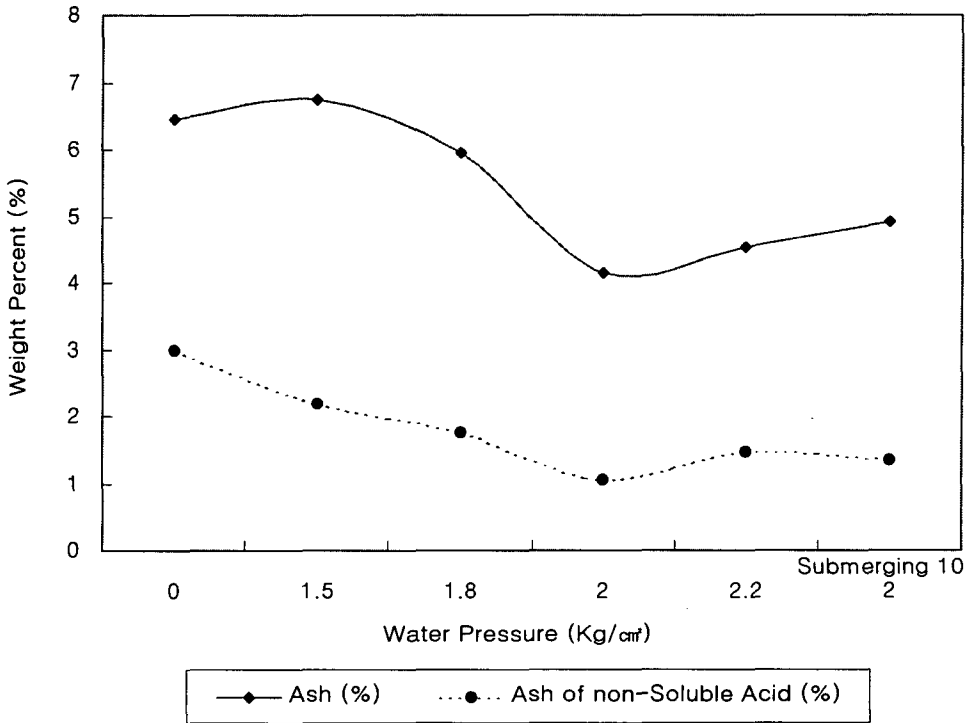
표 2. 7의 결과를 엑셀 프로그램을 이용하여 분석하면 다음과 같다.

그림 2. 31에서 에젝터 공급수의 압력을  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ 부터  $0.2 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$ 까지 상승시키면서 수삼의 세척정도를 판단하기 위하여 세척 후 수삼에 잔류하는 회분과 산불용성회분을 측정하였다.

가장 낮은 수압인  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ 에서는 회분 6.74%, 산불용성회분 2.19%로써 회분은 기준치인 5%를 초과하였고 산불용성회분 또한 기준치인 2%를 초과한 값으로 나타나고 있다. 세척조 안에서 체류하는 시간이 5분인 경우 수압이 높아지면 대체로 회분과

산불용성회분은 감소하는 경향을 보이고 있고 압력  $2 \text{ kg/cm}^2$  이상에서는 5분의 체류 시간으로도 기준치인 회분 5%와 산불용성회분 2%의 기준치에 들고 있다.

수압이 상승함에 따라 거의 선형적으로 회분 및 산불용성회분 값이 감소하지만 산불용성회분의 경우 수압  $2 \text{ kg/cm}^2$ 보다  $2.2 \text{ kg/cm}^2$ 에서 약간 상승된 값을 나타내는데 이것은 동일시료가 아닌 점이 주요원인으로 볼 수 있다.

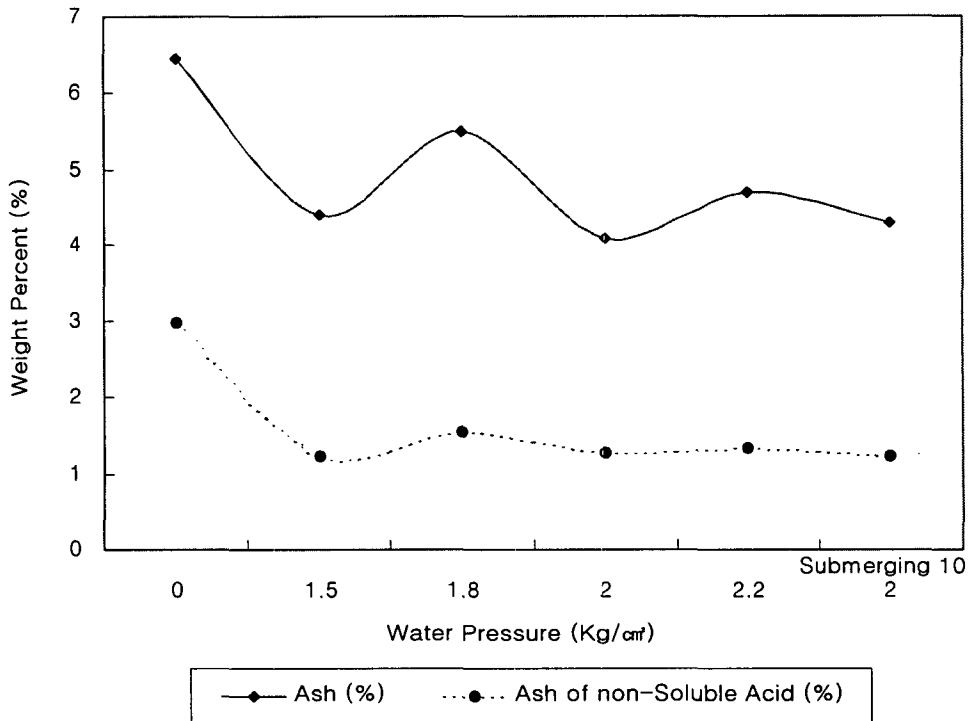


**Fig. 2. 31 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 5 minute**

그림 2. 32에서 에젝터 공급수의 압력을 그림 2. 31과 같은 방법으로 변화시켜가면서 체류시간을 10분으로하여 세척된 수삼에 존재하는 회분과 산불용성회분을 측정하였다.

그림 2. 32에서 세척시간이 5분인 경우에는 수압상승에 의한 세척효과가 거의 선형적으로 나타났지만 세척시간이 10분으로 증가되면서 일정한 경향이 나타나지 않고 있다.

그러나 에젝터 공급수 압력이  $1.8 \text{ kg/cm}^2$ 에서 예비블림을 하지 않은 경우 회분이 5.51%로 나타나 기준치를 초과한 것 외에는 회분, 산불용성회분 모두 기준치 내에 들었다.



**Fig. 2. 32 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 10 minute**

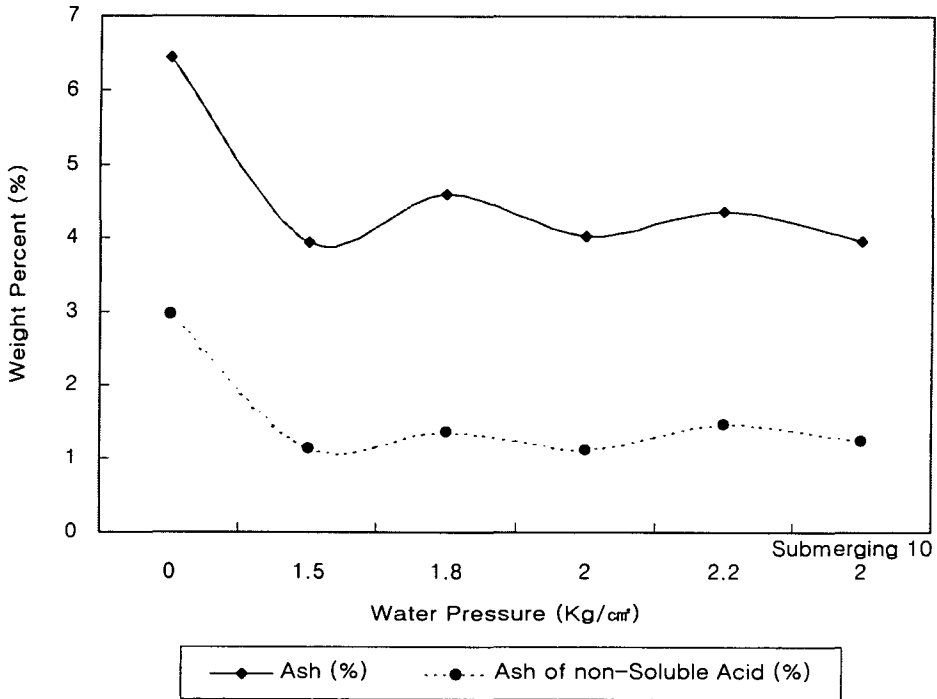
한편 동일한 압력에서도 예비블림의 경우는 회분 및 산불용성회분의 잔류치가 낮게 나타나므로 불순물의 제거에는 예비블림의 효과가 있음을 알 수 있다.

세척수 압력을 증가시키게 되면 상식적으로 수삼표피에 점착된 불순물을 낮은 경우 보다 많이 제거할 수 있지만 동일시료로 실험할 수 없기 때문에 또한 같은 시기에 채취되어도 수삼의 성장발육 상태에 따라 미소하게나마 다르게 나타나게 되므로 전체적인 경향과 기준치 및 세척기의 운전조건을 비교한 종합적인 분석이 필요하다.

세척조 내의 체류시간을 15분으로 한 결과 수삼의 세척기준치인 회분 5% 미만, 산

불용성회분 2%미만으로 나타났다.

체류시간 증가에 따라 뚜렷하게 나타나는 세척효과는 회분의 경우 4% 미만, 산불용성회분의 경우는 1.2% 미만으로 나타나 체류시간의 증가는 세척효과를 결정짓는 중요변수임을 알 수 있었다.



**Fig. 2. 33 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 15 minute**

본 실험 조건중 최대 체류시간인 20분에서는 회분의 경우 대부분 최저치인 4.0 이하로 나타났고 산불용성회분 역시 1.2% 이하로 최저치를 기록하고 있으며 특히 10분간 예비블림의 경우는 0.82%를 나타내었다, 공급되는 세척수의 수압에 의한 세척효과 보다는 세척조내의 체류시간이 결정적으로 중요한 인자이지만 예비블림 10분과 세척시간 20분을 합한 30분의 세척조 체류시간에서는 거품이 상당량 발생하여 사포닌 성분이 용출되고 있음을 관측할 수 있었기 때문에 인삼산업법<sup>2)</sup>에서 규정한 1시간의 침지 시간은 강제와류를 사용하는 세척기에서는 그 시간의 적용문제에 대해서 별도의

후속연구가 필요하다.

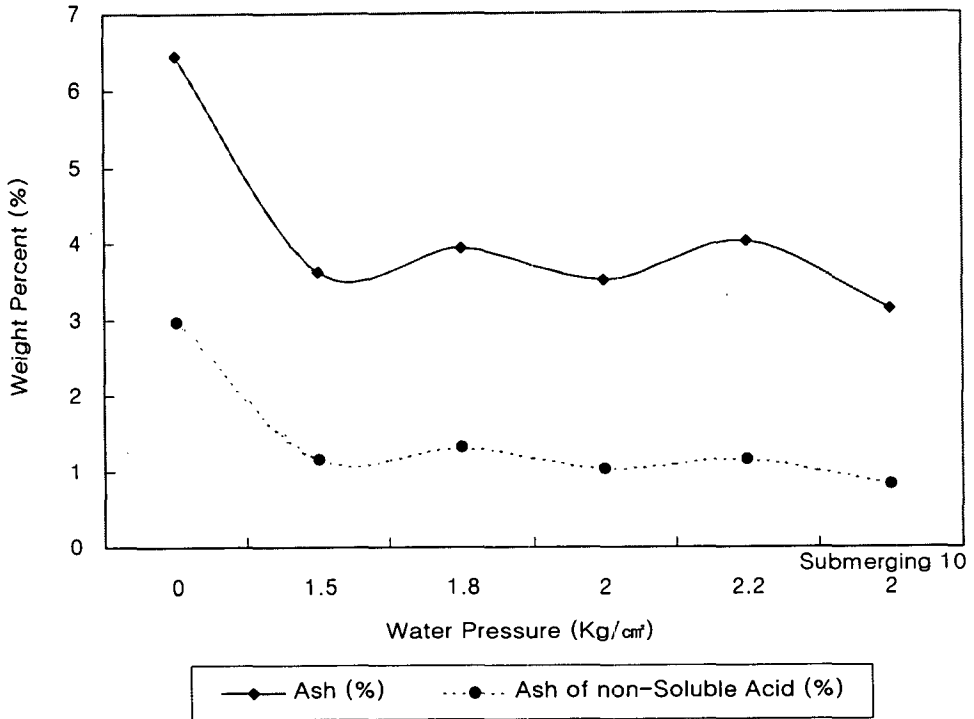
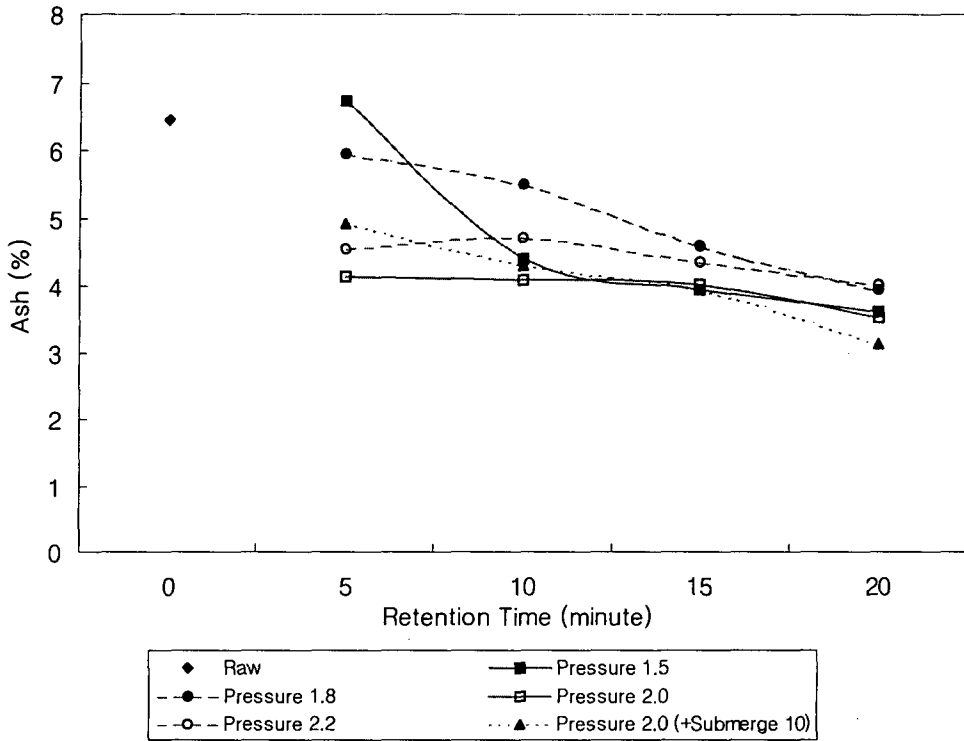


Fig. 2. 34 Ash & Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector in 20 minute

그림 2. 35에서는 체류시간을 5분~20분으로 변화시키면서 각 수압에서 회분의 제거정도를 살펴보았다.

체류시간이 5분인 경우와 10분인 경우에는 각 수압의 변화에 따라 회분의 제거정도는 큰 변화폭을 보이고 있으며 15분을 경계로 하여 그 변화폭은 현저하게 줄어들어 있는 것을 알 수 있다.

또한 전반적으로 수압이 증가한다고 해서 회분도 감소하는 것이 아니라 수압이 2 kg/cm<sup>2</sup>의 경우 오히려 증가한 결과를 보이고 있다. 이는 수압 2 kg/cm<sup>2</sup>를 한계로 하여 그 전까지는 수압의 증가와 회분의 제거가 비례적으로 이루어지나 그 이상의 압력에서는 비례하지 않는 것이다.

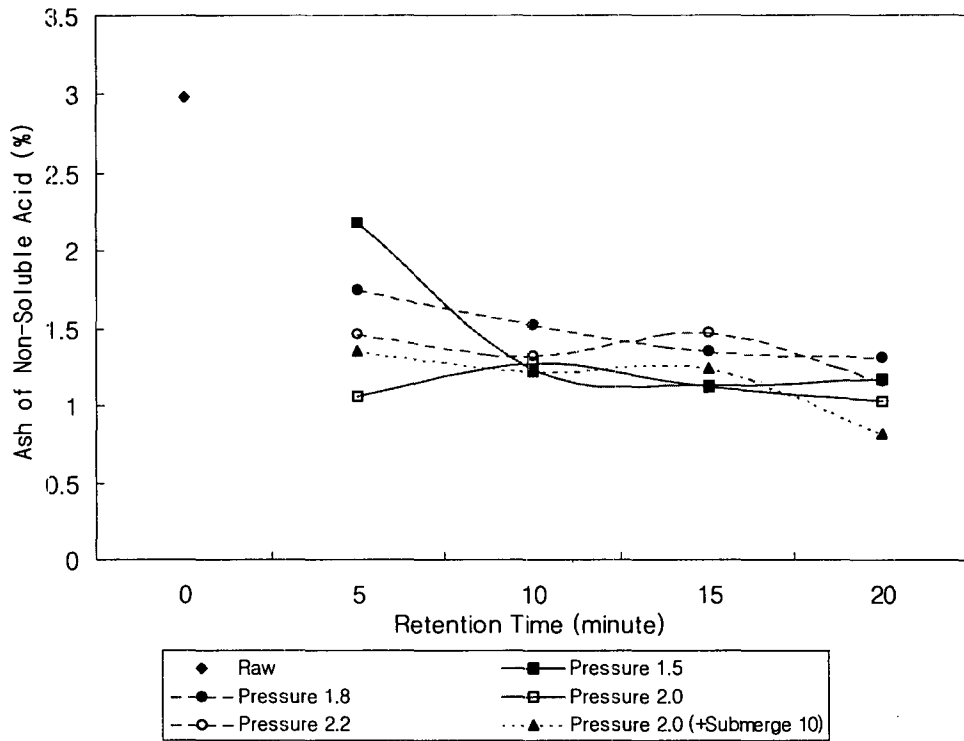


**Fig. 2. 35 Weight Percent of Ash with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time**

그림 2. 36에서는 각 수압에서 체류시간의 변화시 산불용성회분의 제거정도를 살펴 보았다.

산불용성회분의 경우 체류시간이 10분 이상인 경우에는 각 수압의 변화에 따라 제거정도는 큰 변화폭을 보이지 않고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 회분과는 달리 산 불용성회분의 경우 10분이 최적 체류시간이라 할 수 있으며, 15분에서도 약간의 감소를 보이고 있으므로 회분과 산불용성회분의 제거를 동시에 고려하면 15분이 최적의 체류시간이라 할 수 있다.

수압의 영향도 회분의 경우와 비슷한 경향을 보이고 있으나 산불용성회분의 경우 체류시간의 영향이 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다.



**Fig. 2. 36 Weight Percent of Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time**

그림 2. 37은 모델 세척기내에서의 수류를 나타내고 그림 2. 38은 세척후 모델세척기내에서 수삼의 상태를 나타낸다. 4차에 걸쳐서 모델세척기에서 실험한 결과 가장 성공적으로 볼 수 있는 3차 실험에서는 예비블림 방식을 채택하여 보다 효과적인 세척이 가능하였고 거의 대부분 회분이 5%이내를 나타내었다.

여기에서 Pump의 토출압력  $3.0 \text{ kg/cm}^2$  를 적용했을 시 예비블림이 없는 상태에서 도 양호한 세척효과를 나타내나 강한 수류로 인한 Carry Over 현상과 수삼의 잔가지 손상이 많았다.

표 2. 8은 3차 실험 조건이며 표 2. 9는 그 결과를 나타낸다.

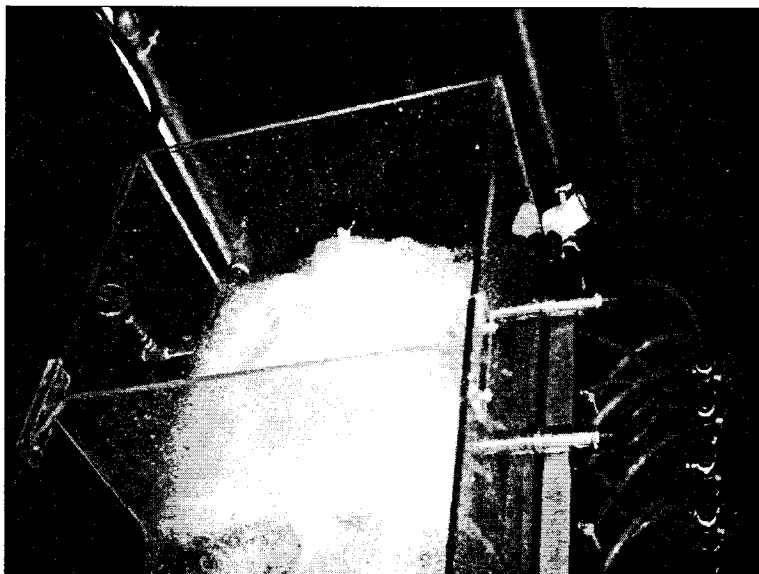


Fig. 2. 37 Turbulent Water Flow in Model Washer at Pressure  $2.0 \text{ kg/cm}^2$

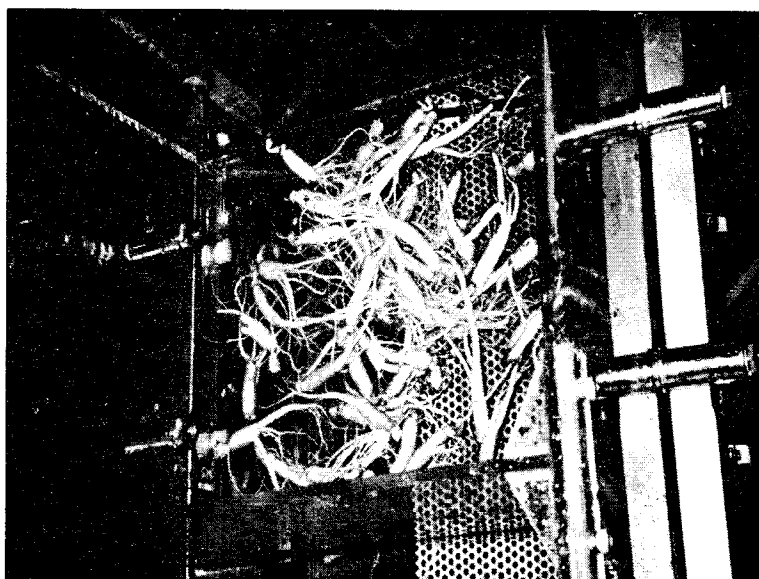


Fig. 2. 38 Ginseng in Washer after Ejector Washing System



**Table 2. 8 Operational Conditions of 3rd Experiment**

Sample	Feed Water Pressure( $kg/cm^2$ )	Retention Time(minute)	Optional Condition
S60	2.0	5	Submerging 10minute
S61		10	
S62		15	
S63		20	
S64	3.0	5	
S65		10	
S66		15	
S67		20	
S68	2.0	5	Submerging 5minute
S69		10	
S70		15	
S71		20	

**Table 2. 9 Results of 3rd Experiment**

Sample	Moisture Contents(%)	Ash (%)	Ash of Non-Soluble Acid(%)
Raw	65.3	6.33	2.41
S60	66.8	5.07	1.71
S61	65.7	4.94	1.52
S62	66.6	4.49	1.33
S63	74.0	4.27	1.12
S64	67.0	4.38	1.33
S65	69.5	3.64	1.39
S66	68.7	4.08	1.38
S67	73.2	3.64	1.31
S68	71.8	5.23	1.85
S69	69.1	4.68	1.31
S70	66.4	3.42	1.36
S71	66.7	3.86	1.45

모델세척기를 이용한 2차 실험에서 세척수 공급수압 보다 세척조 내에 체류하는 시간이 세척효과에 보다 결정적인 요인임을 알 수 있었다.

3차 실험에서는 체류시간을 중심으로 한 세척실험을 통해서 최적의 체류시간을 도출하기 위해서 세척수 공급압력  $2.0 \text{ kg/cm}^2$ 에서 예비블림 5분, 20분을 각각 적용하였고 체류시간은 5분부터 20분까지 5분 간격으로 세척하였다.

실험에 사용되어진 수삼의 대표성은 육안식별을 통해서 크기와 색도에 있어서 가장 중간적인 것을 채택하였는데 함수율은 65.3%이며 회분과 산불용성회분은 각각 6.3%, 2.14%를 각각 나타내었다.

그림 2. 39와 그림 2. 40에서는 5분과 20분의 예비블림을 한 후 에젝터 세척수 공급압력이  $2 \text{ kg/cm}^2$ 인 상황에서 5분부터 20분까지 5분간격으로 증가한 세척결과와 예비블림없이 공급압력  $3 \text{ kg/cm}^2$ 에서 체류시간을 5분에서 20분으로 증가시키며 세척한 결과를 나타내고 있다.

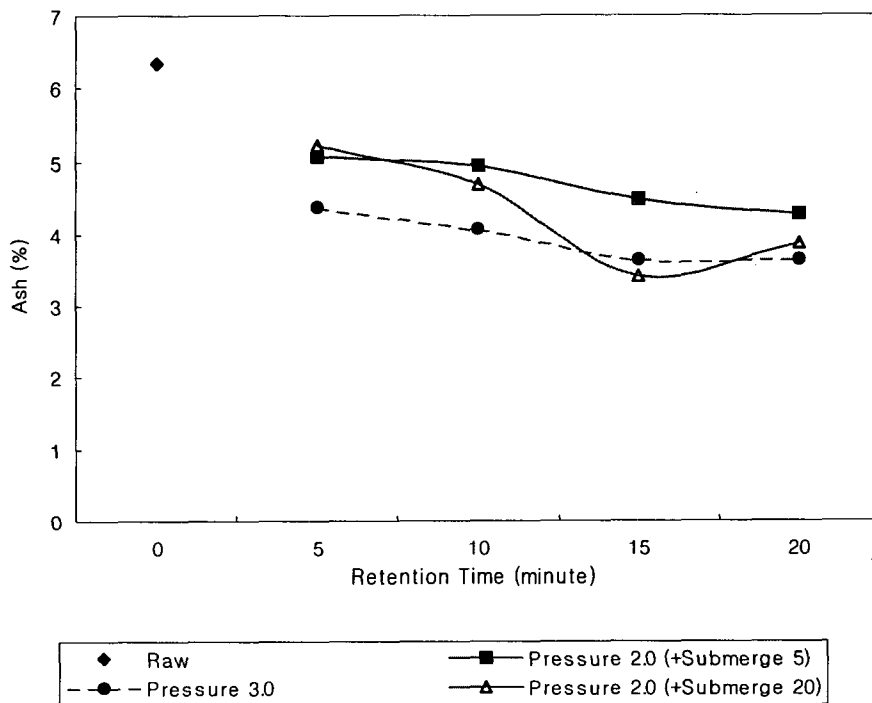
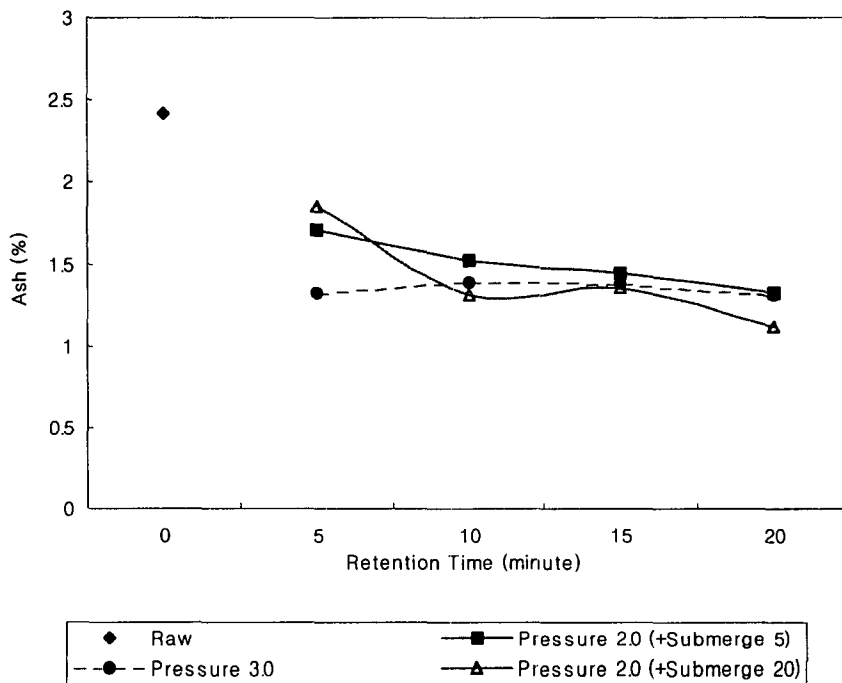


Fig. 2. 39 Experimental Results of Ash with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time

최소의 체류시간인 5분에서는 공급압력  $2 \text{ kg/cm}^2$ 인 경우 회분이 5%를 약간 상회하고 있으며, 그 이외의 경우에는 모두 기준치 이내를 나타내고 있다.

세척조와 예비블림조에서의 총 체류시간이 적은 예비블림 5분, 공급압력  $2 \text{ kg/cm}^2$ 인 경우와 공급압력  $3 \text{ kg/cm}^2$ 인 경우는 체류시간에 대하여 회분이 선형적으로 감소하며 체류시간 10분 이후는 계속적으로 양호한 세척결과를 나타내었다. 그러나 총 체류시간이 상당히 길어진 예비블림 20분, 공급압력  $2 \text{ kg/cm}^2$ 의 경우에는 세척조의 체류시간이 15분인 경우에 최적의 회분 감소를 나타내었고 그 이후에는 증가 추세를 나타내고 있다.



**Fig. 2. 40 Experimental Results of Ash of Non-Soluble Acid with Respect to Feed Water Pressure Ejector and Retention Time**

토양의 규소성분이 대부분을 차지하고 있는 산불용성회분의 경우는 예비블림에 의해서 제거가 용이하다는 특성을 보이고 있으며 공급압력  $2 \text{ kg/cm}^2$ , 체류시간 20분에

서는 회분 3.86%, 산불용성회분 1.12%를 보여 세척효과가 매우 높은 것으로 판단되어 진다.

최대수압을 적용하기 위하여 토출 가능한 최대수압이  $70 \text{ kg/cm}^2$ 인 Plunger Pump를 작동하여 모델세척기 내의 수류상태와 수압의 세척정도를 파악하기 위해서 최초  $5 \text{ kg/cm}^2$ 의 세척수 공급 수압으로 토출하였을 때 W자형 유동판에 의한 좌우대칭형 단일와류가 형성되지 않고 세척조 밖으로 분출되었다.

수압을 계속적으로 낮추면서 당초 목표로 하였던 좌우대칭형 단일와류가 형성되어 지는 최대 세척수 공급압력인  $3 \text{ kg/cm}^2$ 에서 세척실험을 수행하였다.

적용한 수압중 가장 높은 수압으로 인하여 급격한 난류현상을 육안으로 식별할 수 있었고 세척정도에 있어서 회분감소율이 다른 운전조건에 비해서 체류시간 증대에 따라 현저하게 낮아졌다.

그러나 산불용성회분의 경우는 거의 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다.

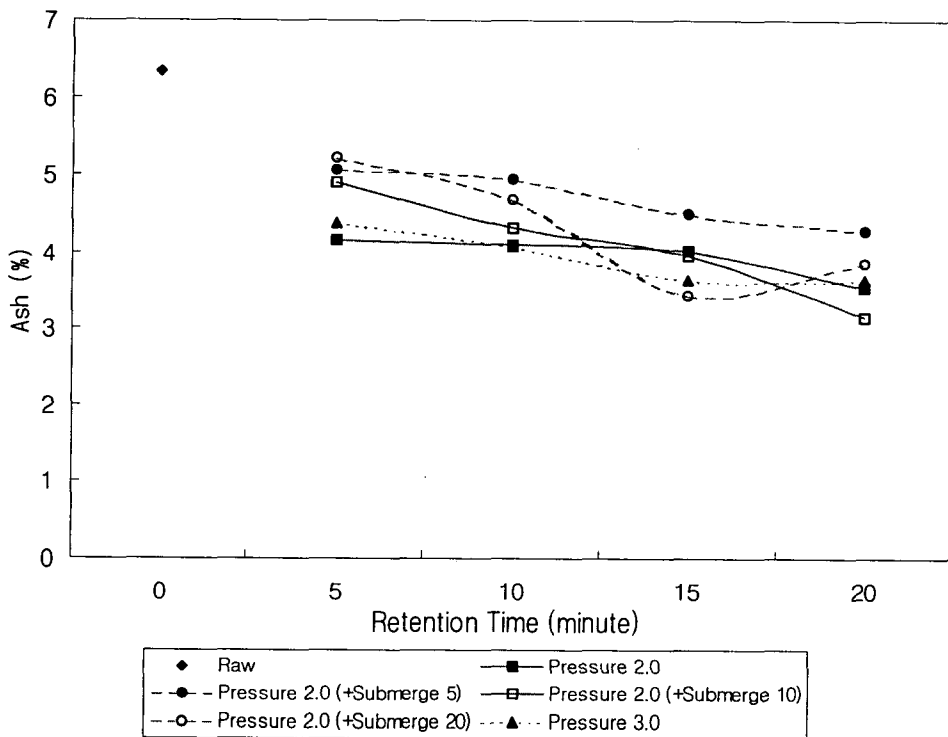


Fig. 2. 41 Experimental Results of Ash for the Retention Time and Submerging Time

그림 2. 41, 그림 2. 42는 2차 실험의 결과와 3차 실험의 결과를 함께 비교해 본 것이다. 각 실험에 사용된 수삼의 경우 거의 비슷한 크기와 Raw data를 가지고 있으므로 실시된 일시가 다르기는 하지만 예비블림조에서의 체류시간의 영향을 살펴보기 위하여 두 결과를 함께 비교분석하였다.

그림 2. 41의 경우 세척실험의 회분 결과를 나타낸 것으로 대부분의 결과가 체류시간이 증가할수록 회분함량은 감소하고 있으며, 공급압력이  $2 \text{ kg/cm}^2$ 인 경우보다  $3 \text{ kg/cm}^2$ 인 경우 회분감소가 두드러지고 있다. 공급압력이  $2 \text{ kg/cm}^2$ 이고 세척조에서의 체류시간을 10분에서 15분정도로 할 때, 예비블림은 10분정도를 유지하는 것이 가장 좋은 효과를 거둘 수 있었다.

그림 2. 42는 산불용성회분에 대하여 세척결과를 나타낸 것으로 역시 체류시간의 증가할 경우 산불용성회분의 함량이 감소함을 알 수 있다.

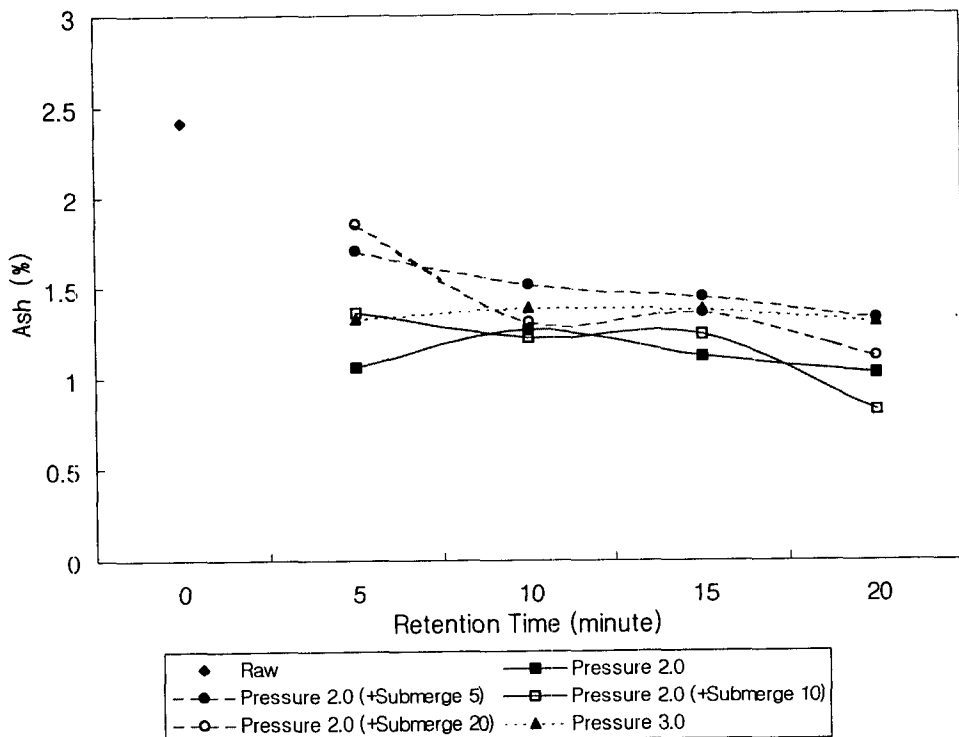


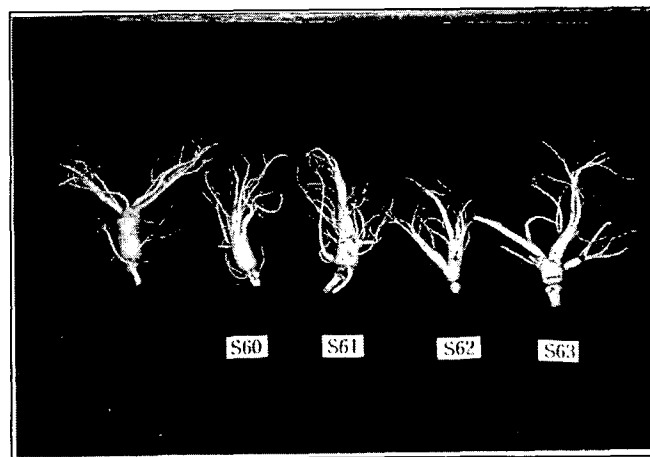
Fig. 2. 42 Experimental Results for the Retention Time and Submerging Time

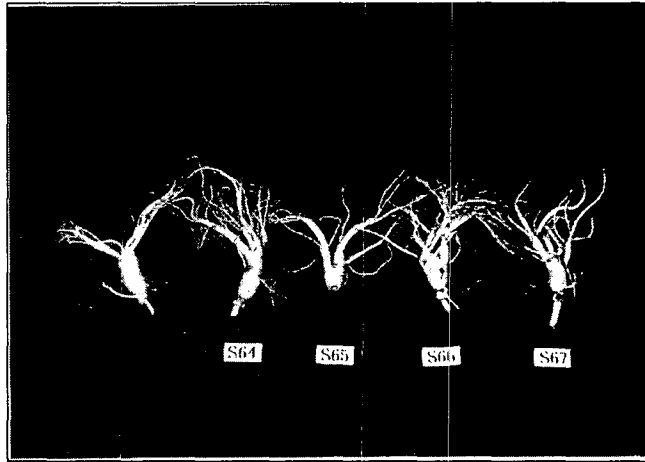
그러나 산불용성회분의 경우 공급압력의 증가가 회분감소에 큰 영향을 미치지 못하고 있으며, 세척조 체류시간은 10분에서 15분사이 시간의 증가에도 큰 변화를 보이지 않고 있으므로 산불용성회분의 경우만을 고려한다면 10분정도의 세척시간이 적당할 것을 알 수 있다. 예비블림조에서의 체류시간은 공급압력  $2 \text{ kg/cm}^2$ , 세척조 체류시간 10분일 때 약 10분에서 20분 사이를 유지하는 것이 최적이다.

이렇게 모델 세척기의 회분과 산불용성회분의 실험결과를 종합하여 볼 때, 세척조의 공급압력은  $2 \text{ kg/cm}^2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ , 세척조 체류시간은 10분~15분, 예비블림조 체류시간 10분~20분으로 유지하는 것이 최적의 세척효과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

그림 2. 43은 모델세척기에서 세척한 수삼의 상태이다. 수삼의 세척상태는 육안으로 판별하기에도 표피와 다리의 손상이 거의 없으며, 비교를 위해 제시된 원수삼의 경우와 비교하여 양호한 세척 결과를 얻을 수 있었다.

체류시간이 상당히 짧은 경우, 공급압력이 매우 낮은 경우를 제외하고 대부분의 세척수삼의 세척 정도는 육안으로 판별하기 어려웠으며, 그 세척정도를 판독하기 위하여 회분과 산불용성회분을 측정하였다.





**Fig. 2. 43 Washing Results of Ginseng**

## 제 4절 세척능력 500kg/hr 수삼세척기

### 1. 시작품의 설계 및 제작

인삼세척기의 2차원 유동장에 대한 계산을 수행하고 노즐 출구 속도, 난류 강도, 노즐 분사 각도가 유동장에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 비록 노즐 출구에서의 스프레이 분사 각도에 대해서는 고찰하지 않았지만 전체적인 유동현상은 비슷할 것으로 보이며 보다 정밀한 최적 제어를 위하여 향후 실험을 통해서 보정되어야 한다.

유동장의 해석은 유체 유동 해석을 상용 패키지-Fluent를 사용하였으며 노즐 출구의 유속은 전체적인 유동 형태에는 전혀 영향을 주지 않고 단지 실험적인 방법에 의해 인삼이 세척될 수 있는 범위를 선택하여 결정하여야 한다. 난류 유동을 고려한 계산은 와류 형태에 큰 영향은 없으나 버블 제트에 의한 2상 유동은 그 특성상 난류 유동이므로 이를 고려하는 것이 바람직하다. 마지막으로 노즐의 분사 각도는 인삼세척의 효율을 증대시키기 위한 가장 중요한 변수로서 본 연구에서는  $\theta_1 = 0^\circ$ ,  $\theta_2 = 45^\circ$  를 최적임이 입증되었다.

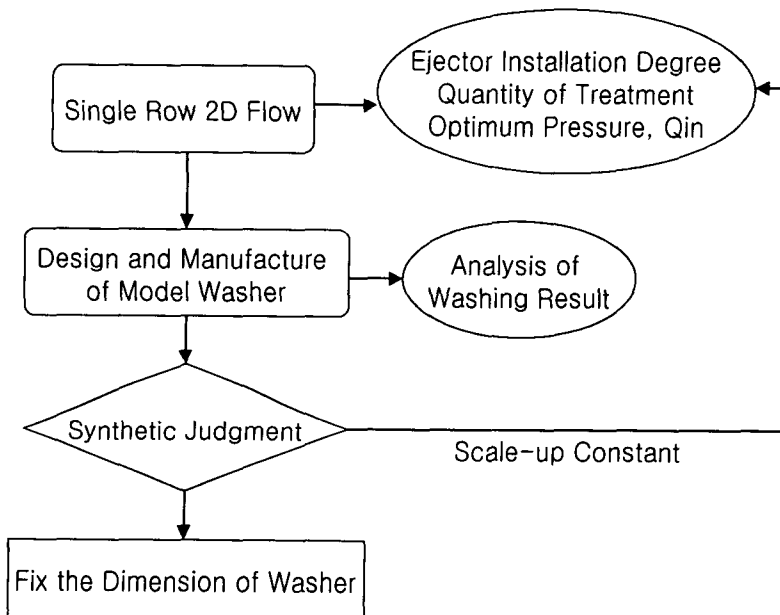


Fig. 2. 44 Design Procedure of Ginseng Washing Machine(500kg/hr)



인삼세척기의 유동장 해석은 그 자체만으로는 인삼세척 효과에 대한 완벽한 최적화를 이룰 수 없고 실험과 병행되어야 한다. 하지만 시제품의 제작과 성능 시험 과정에서 유동 해석을 통해 개략적인 유동 형태를 파악함으로써 그에 따른 시간과 개발 비용을 절감할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

그림 2. 44에서는 시작품을 설계체계를 나타내고 있다. PIV를 통한 최적 유동양상에 따른 세척기 내부의 기하학적인 구조설정과 적용 에젝터의 성능 특성을 고려하여 수량, 수압, 유속을 결정하고 특히 3차원 공간에서의 해석 자체가 매우 난이하므로 수압과 세척시간 변화를 통해서 세척의 최적화 조건을 찾고 모델 세척기의 Scale-up을 적용하여 시작품의 설계 및 제작한다. 즉,

$$A[Q_1, P_1, v_1, N_{D_1}, W_{B_1}] \propto \alpha A[[Q_2, P_2, v_2, N_{D_2}, W_{B_2}]$$

- 여기에서
- A : 모델 세척기
  - Q : 수량
  - P : 수압
  - v : 유속
  - $N_D$  : 노즐 간격
  - $W_B$  : 세척조 크기
  - $\alpha$  : Scale up 상수 이다.

모델세척기를 설계·제작하여 수삼세척에 적용한 결과 최적의 수삼세척의 목표치인 잔류회분 5%이하, 잔류산불용성회분 2%이하에 도달하는데 최적의 수압은  $2\sim 3 \text{ kg/cm}^2$ 이며 예비세척조의 효율성, 적정체류시간  $20\pm 5$ 분으로 나타났으며 세척시 수삼의 엉김작용과 각 수삼에게 일정한 체류시간을 주는 데는 한계가 있음을 발견하였다.

그러므로 세척능력 500kg/hr인 수삼세척기는 동일한 세척조건에서 세척가능체적을 늘이는 스케일업 기법을 적용하여 시작품의 설계결과 제시하면 표 2. 10과 같다.

본 시작품 설계에 적용된 Scale up계수는  $\delta = 6.7$ 이며 세척방식은 3단 회분-연속식으로 각 세척조는 별도의 공간이 확보되었지만 세척시간 지정에 따라 연속적인 공정이 이루어지는데 제 1단은 예비블림조이며 제 2단 및 제 3단은 에젝터 수류식 세척이 이루어진다.

Table 2. 10 Design Results

Item	Specific Data
Size	4,000L×1,100W×1,050H
Pump	Volute, 137 m <sup>3</sup> /hr, 2 kg/cm <sup>2</sup> , Driving Motor 25Hp
Ejector	Washing :34EA      Conveying :12EA
Surge & Distributor	∅8"×L47.2"
Frame	S/Q Pipe : 50×30×2t
Quality	STS 304
Power	220V×3∅×60Hz
Control	Batch+Auto

설계에 있어서 농산물중 가장 세척이 어려운 수삼의 세척이 가능하면 실제 약간의 세척시간 조절에 의해서 손으로 세척하기 어려운 약재나 농산물 즉 당귀, 천궁, 작약 등과 같은 근류 약용작물과 과일류에서 불순물과 농약을 제거해야 할 경우, 근류의 표피 손상을 없게 하며 외관을 유지해야 할 경우는 브라쉬형 세척기나 텀블러 세척기의 적용시 고압 노즐 세척기에도 점착성이 강한 불순물의 제거에는 한계가 있고 더욱 높은 수압을 사용하게 되면 세척물의 손상이 심하게 나타나는 편이다.

세척효율을 극대화하고 에너지 효율을 개선하기 위해서 고압수류 노즐과 압축공기를 사용하는 대신에 2~3 kg/cm<sup>2</sup> 수압으로 물과 공기의 걸보기 체적이 3.7 : 1인 에젝터를 설계·제작하여 최적의 이류체 발생장치를 적용하였다.

또한 상·하단 노즐배치는 엇갈림각 배열(Staggered Array)을 이용하여 "W" 자형 수류 유동판에 의해서 발생되어지는 좌우대칭 CCW 수류형성에서 Shadow Zone이 발생하지 않도록 하였다.

다단 격실형 세척조를 구성함에 있어서 제 1단 세척조는 예비 불림조로 활용함으로써 점착성 불순물을 불릴 수 있고 대부분의 불순물을 제거할 수 있어 폐수처리 문제를 간단화 할 수 있다. 또한 세척조내 체류시간과 수압을 임의로 조절할 수 있어

다양한 세척물성에 대응할 수 있도록 운전조건을 달리할 수 있고 적용범위 역시 선택 적일 수 있다.

전체 세척시스템의 작동 메카니즘은 다음과 같다.

첫째, 압축공기를 별도로 사용하지 않고 압력수를 이용한 에젝터를 그림 2. 45와 같은 구조의 세척용 압력수 주입구를 통하여 들어온 압력수와 부압에 의해서 흡입되는 공기는 공기 흡입구를 통하여 곧바로 노즐 목내에서 확산되어진 후 이류체 혼합실에서 압력이 더욱 감소하고 속도가 증가되므로 급격한 확산에 의한 균일한 이류체가 형성되어진다.

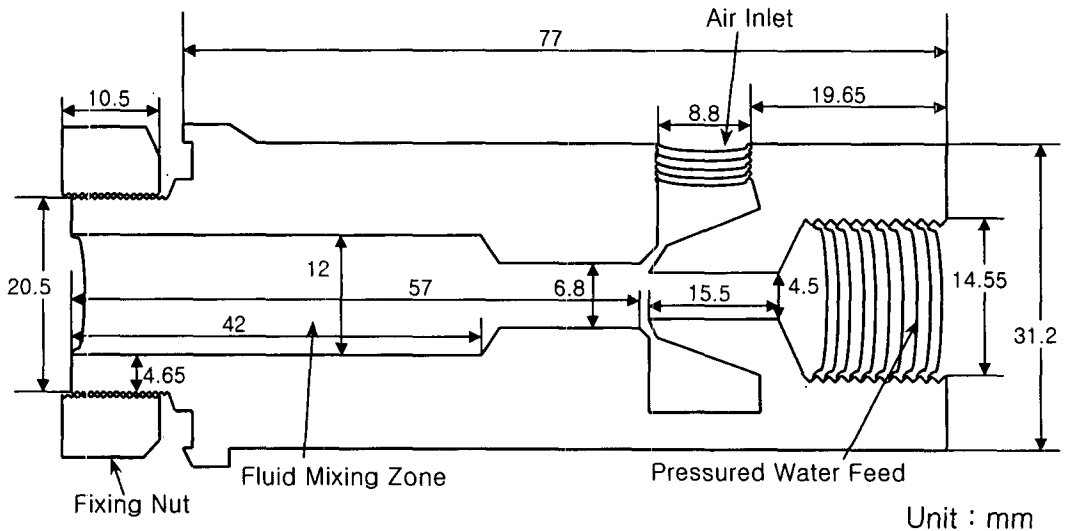


Fig. 2. 45 Schematic Diagram of Ejector

압력 수류식 세척에 공기를 혼합한 이류체를 적용할 경우 공기와 물의 밀도 차이가 커서 공기 부력에 의해 세척조 내의 물은 유동하여 상승과 동시에 와류를 발생시키는 연구결과를 기초로 하여 “1.68m 깊이의 물 속에서 0.000472 m<sup>3</sup>/sec의 공기를 분출할 때 상승되는 물의 체적은 공기체적의 120배가 된다. (Baines, 1961 ; Baines et al, 1959)” 또한 유동판은 다공판으로 하되 대칭 수류형성을 위해서 “W”자로 하였다.

둘째, 구조가 복잡하며 점착성 불순물이 생성된 농산물의 세척이 용이하도록 하기 위해 세척 정도에 따라 세척조 체류 시간을 자유롭게 조절할 수 있는 그림 2. 46과 같이 다단 격실형으로 하였다.

## 2. 실험장치 구성

세척수 공급장치는 구동모터 25Hp, 회전수 1750rpm, 토출량  $2.28 \text{ m}^3/\text{min}$ 인 2단 Volute 펌프로 구성되어 있으며 발생된 압력수는 제 1 압력수 분배 매니폴드와 제 2 압력수 분배 매니폴드로 공급되어 세척조 내 개별 에젝터의 세척용 압력수 주입구에서 고속으로 통과함에 따른 압력강하 현상으로 공기 흡입구로부터 다량의 공기가 흡입되어 이류체 혼합실에서 급속히 혼합되어진 후 세척조 내부에 공급되어진다. 에젝터는 고정너트에 의해서 세척조에 고정되어진다.

그림 2. 46은 실험장치 구성을 나타내고 있다.

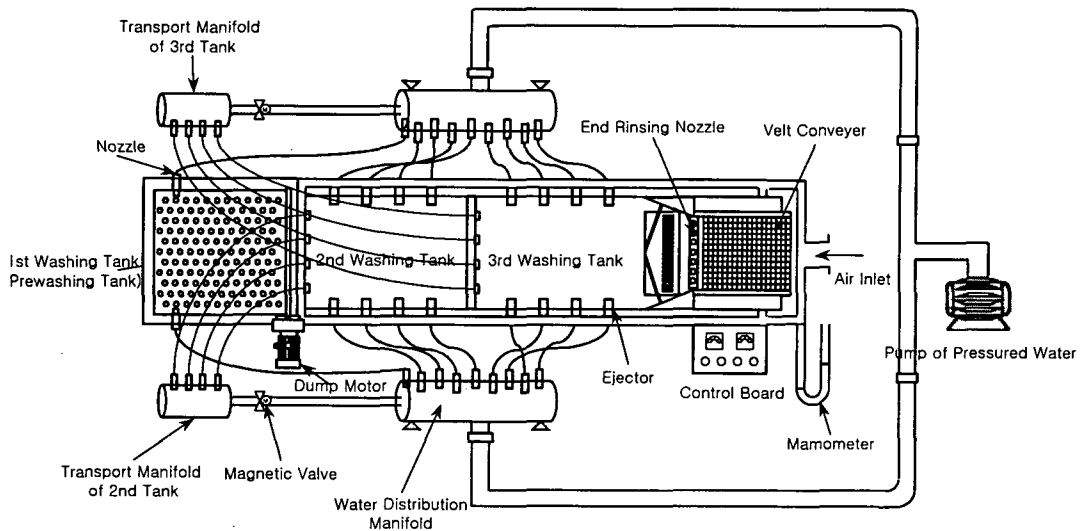


Fig. 2. 46 Schematic Diagram of Experimental Set up

그림 2. 46은 에젝터 수류를 이용한 다단 격실형 세척기의 전체 구성도(입면도)에서 세척물은 제 1단 세척조에 투입되면 다공판으로 형성된 제 1단 세척조 내부여과 Casing 위에 적치되어진 후 필요한 시간만큼의 예비불림이 이루어진다. 성충된 점착성의 불순물이 불림 과정을 거친 후 미리 입력된 체류시간에 의해서 덤프 기어 및 모터의 작동으로 제 2단 세척조에 이송되어진다.

제 2단 세척조 내부에 설치된 “W”자형 유동판에 의해서 좌우 에젝터에서 공급된 이

류체는 좌우 대칭형 유선을 나타내고 이 때 상부 노즐각( $\theta_1=0^\circ$ )에 의해서 하부 노즐각( $\theta_2=45^\circ$ )에 의한 CCW 선회속도는 급격히 줄어들면서 향류(Counter Flow)에 의한 세척효과는 최대가 되어지면 이 때 수삼이나 포도 등의 복잡한 구조의 세척물 구석구석 기포상승에 의한 세척수의 급격한 난류형성이 이루어지게 된다. 제 2단 세척조에서 적정시간 세척 후 사전 입력된 체류시간에 의해서 슬라이드식 W 자형 격실 도어가 상부에 설치된 구동모터에 의해서 상부로 이송되어지게 되면 제 2단 세척조 이송노즐에서  $2\text{ kg/cm}^2$ 의 수압에 의한 직선 이송류가 형성되어지고 이것은 제 2단 세척조 내의 세척물을 3단 세척조 내부로 이송하고 상부로 개방된 슬라이드식 “W”자형 격실 도어는 하부로 슬라이드식 격실 도어 프레임을 타고 내려와 원래대로 격실을 형성한다. 제 3단 세척조는 최종적으로 지정된 시간만큼의 세척을 하게되면 슬라이드식 “W”자형 격실 도어에 설치된 제 3단 세척조 이송노즐에 의해서  $2\text{ kg/cm}^2$ 의 수압에 의한 직선류가 발생되므로 세척물은 컨베이어 방향으로 이송되어지게 되고 제 3단 세척조 이송노즐의 작동과 동시에 살수노즐이 장착된 이송 컨베이어가 동시 작동되므로 세척기 상부로 이송되어지고 이 때 최종적으로 살수 노즐에 의한 행균이 이루어진다.

대부분의 농산물은 포장 단위가 있기 때문에 이러한 Batch-continuous 운전 방식을 채택함에 따라 운전의 효율성과 세척효과가 증대되어진다.

제 1단 세척조는 가능한 많은 불순물을 제거하고 점착성의 성층화된 불순물의 층을 와해시키는 예비 세척조로 운용을 하며 예비 세척 완료 후 다공 버켓의  $180^\circ$  변위 전환 운동으로 제 2단 세척조로 이송되어지며 적절한 시간동안 세척되어진 후 슬라이드식 “W”자형 격실도어를 통하여 제 3단 세척조로 이송되어지고 제 2단 세척조와 동일한 세척 공정 후 살수 노즐이 장착된 이송 컨베이어에 의해서 행균 과정을 거치면서 세척공정이 종료되어진다.

그림 2. 47는 2단 세척조와 3단 세척조의 체류시간 결정과 3단 세척조에서 세척 완료 후 이송 컨베이어로 이송하는 제 3단 세척조 이송 노즐이 장착된 것을 나타내는 부분 조립도다.

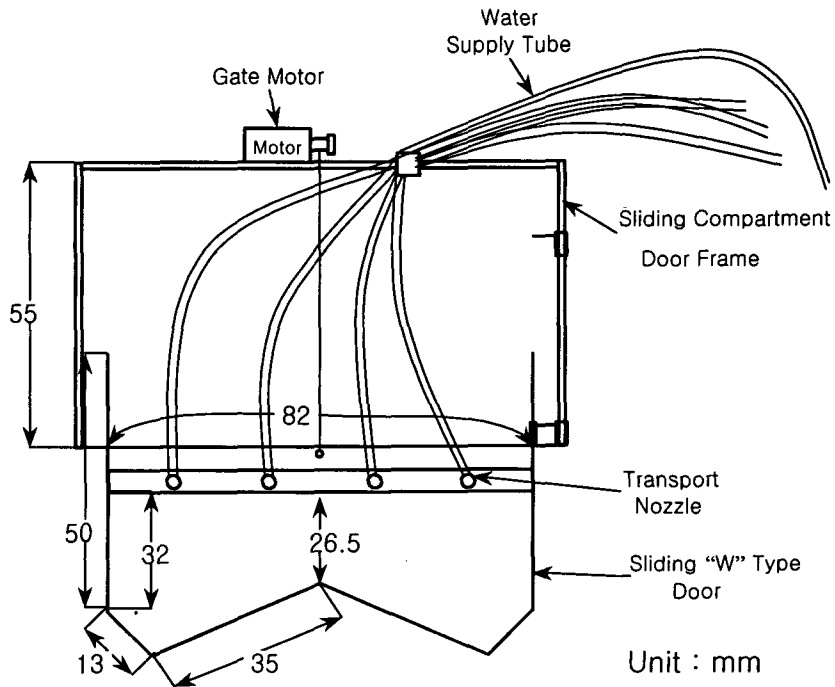


Fig. 2. 47 Conveying Nozzle Assembly

### 3. 실험 및 분석

회분-연속식으로 구성된 3개의 세척조를 이용한 시작품의 세척성능실험에서는 모델 세척기 실험결과 최적으로 나타난 세척수 공급수압  $2 \text{ kg/cm}^2$ 을 25마력 구동모터와 체결된 4단 Volute Pump를 이용하여 공급하면서 예비블립 시간 조절 즉 제 1세척기의 체류시간 및 제 2, 3 세척기의 체류시간을 조절하면서 세척한 결과 나타난 수삼의 회분과 산불용성회분의 잔류정도를 분석하여 세척조 결합에 따른 세척특성과 아울러 시작품세척기의 최적운전조건을 도출하고자 한다.

전체 실험은 2차례로 나누어 수행하였으며 원시료인 세척하지 않은 수삼의 시료를 포함하여 17개의 시료를 실험대상으로 하였다. 수삼의 가격문제로 인하여 용량에 충분한 양을 투입하지 못하였으며 일부는 홍삼가공업체로부터 지원받고 일부는 구입하여 처리능력의 20%인 100kg을 1,2차로 나누어 각각 세척실험하였다.

수삼의 채취 시기에 따른 세척결과의 차이점을 살펴보기 위해서 동일 실험조건하에서 20일간의 채취 시간차를 두었다.

Sequence 제어의 특성상 2차 및 3차 세척조의 시간은 동일한 체류시간을 두어 예비블림 공정인 제 1세척조 및 제 2, 3차 세척조의 체류시간을 5분부터 20분까지 5분 간격으로 체류시간의 변화를 주었다.

실험은 9월 21일과 10월 10일에 이루어졌으며 9월 21일 실험을 수행한 원료수삼의 함수율은 72.38, 회분 7.82, 산불용성회분 2.24% 였다.

**Table 2. 11 1st & 2nd Experimental Conditions of Full Scale Washing Machine**

Sample	Retention Time(min)		
	1st Washing Bath	2nd Washing Bath	3rd Washing Bath
S1	Raw	-	-
S2	5	5	5
S3	10	5	5
S4	15	5	5
S5	20	5	5
S6	5	10	10
S7	10	10	10
S8	15	10	10
S9	20	10	10
S10	5	15	15
S11	10	15	15
S12	15	15	15
S13	20	15	15
S14	5	20	20
S15	10	20	20
S16	15	20	20
S17	20	20	20

표 2. 12는 전체 세척결과를 나타내고 있다.

Table 2. 12 1st Washing Results Using by Experimental Set up

Sample	Moisture Contents(%)	Ash (%)	Ash of Non-Soluble Acid(%)
S1	72.38	7.82	2.24
S2	75.54	4.48	0.25
S3	73.40	5.00	0.26
S4	75.01	4.88	0.36
S5	71.77	4.07	0.72
S6	77.16	4.60	0.24
S7	79.69	4.30	0.34
S8	73.57	4.65	0.19
S9	77.18	4.07	0.39
S10	76.06	4.95	0.18
S11	74.28	4.59	0.27
S12	70.72	4.35	0.24
S13	74.15	4.31	0.27
S14	67.17	4.66	0.60
S15	75.67	4.64	0.57
S16	78.77	4.30	0.37
S17	75.70	3.72	0.25

그림 2. 48에서 시작품 세척기의 2차, 3차세척조의 체류시간을 5분으로 고정하면서 1차세척조의 예비블립 시간을 5분, 10분, 15분, 20분으로 변화시키면서 수삼의 세척 정도를 살펴보았다.

세척조 내에서의 총 체류시간이 2차 세척조, 3차 세척조 포함하여 10분 세척임에도 불구하고 회분의 경우 5% 미만, 산불용성회분의 경우 2% 미만으로 기준치 이내이다.

그러나 예비블립 시간증대에 따른 세척의 변화폭은 약간의 등락을 보이면서 회분의 경우는 개선되는 경향이 보이나 산불용성회분의 경우에는 오히려 그 반대의 경향을



나타내고 있다. 그러나 이와 같은 적은 수치상의 변화폭은 실제 데이터 측면에서 의의가 없다고 볼 수 있다. 수삼의 표피 특성상 체류시간을 상당히 증가하게 되면 표피의 손상이 발생되고 또한 사포닌의 용출이 심할 것이다. 따라서 되도록 적은 체류시간 동안 최적의 세척효과를 얻을 수 있는 조건을 구하여야 할 것이다.

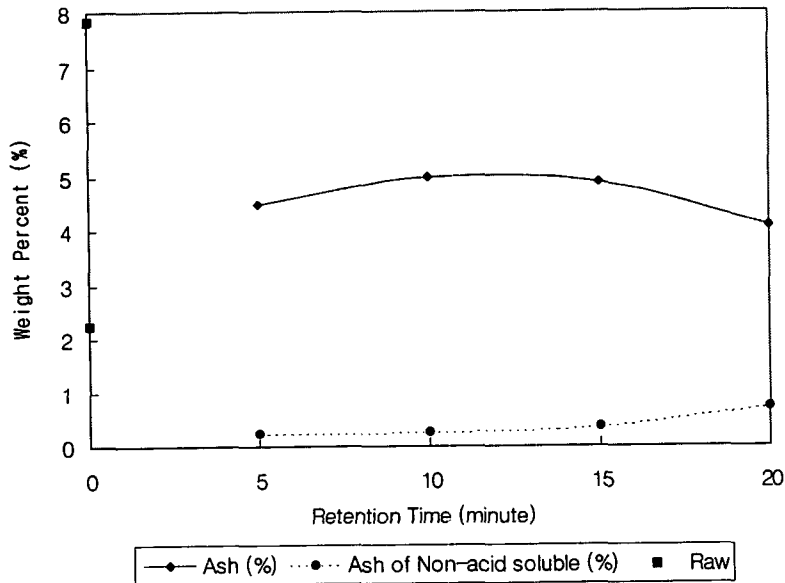


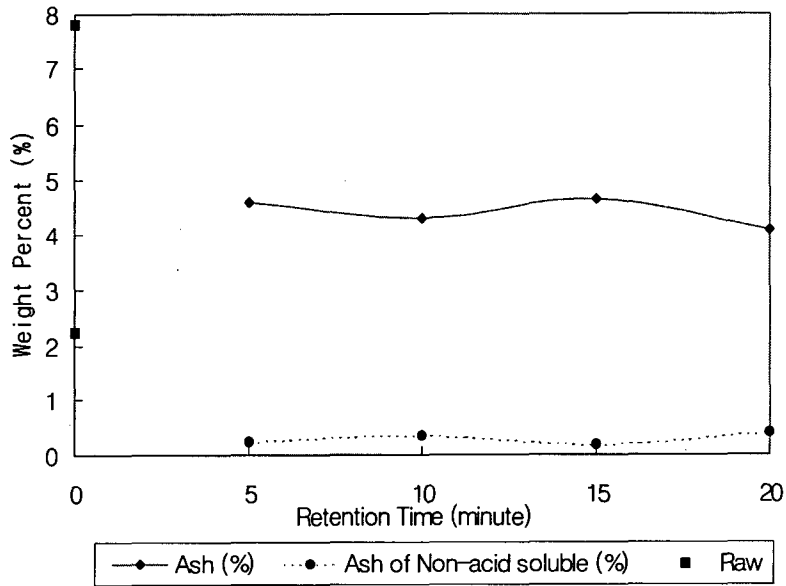
Fig. 2. 48 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 5 minute retention Time

그러므로 그림 2. 48에서는 10분~15분 정도가 최적의 체류시간임을 알 수 있었다. 산불용성회분의 측정치가 모델세척기의 경우와 확연하게 낮은 수치를 보이는 것은 채취시기와 상당히 밀접한 관계가 있는 것으로 보여진다. 모델세척기 실험시에는 채취후 시간경과가 무려 6개월이 경과된 상태이기 때문에 수삼의 함유율 역시 자연건조로 인하여 10% 정도 낮게 나타나고 토양중 함유된 규소성분이 건조과정을 통하여 표피에 강하게 점착되기 때문에 비록 2%보다 낮은 산불용성회분 잔류수치를 나타내지만 세척이 어려운 편이고 반대로 채취시기가 이를 경과한 시작품 실험의 경우는 1% 미만으로 용이하게 세척되어지고 있음을 알 수 있다.

제2 세척조, 제3 세척조의 체류시간을 각각 10분씩으로 하면서 예비블림 시간을 5

분, 10분, 15분, 20분으로 변화시키면서 세척효과를 그림 2. 49에 나타내었다.

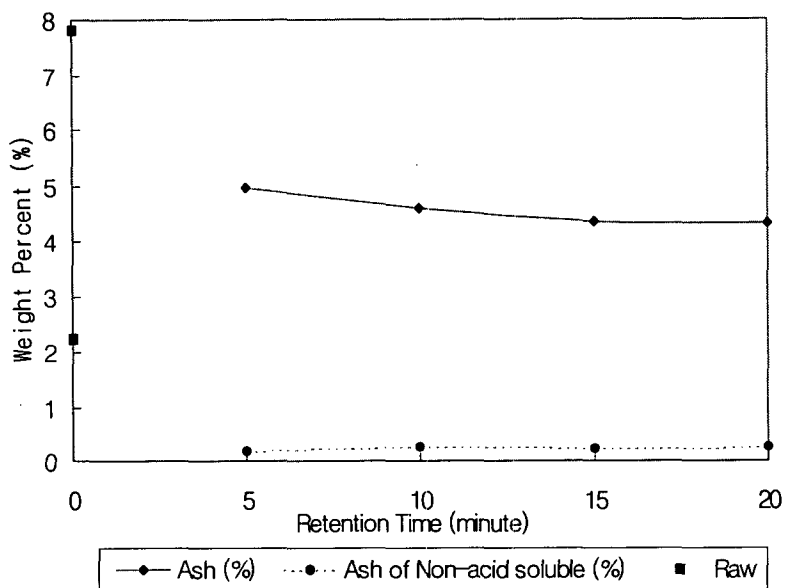
회분감소는 제2, 제3 세척조 체류시간 5분인 경우보다 훨씬 나게 나타나고 있으며 두가지 측정항목 공히 기준치를 만족하고 있다.



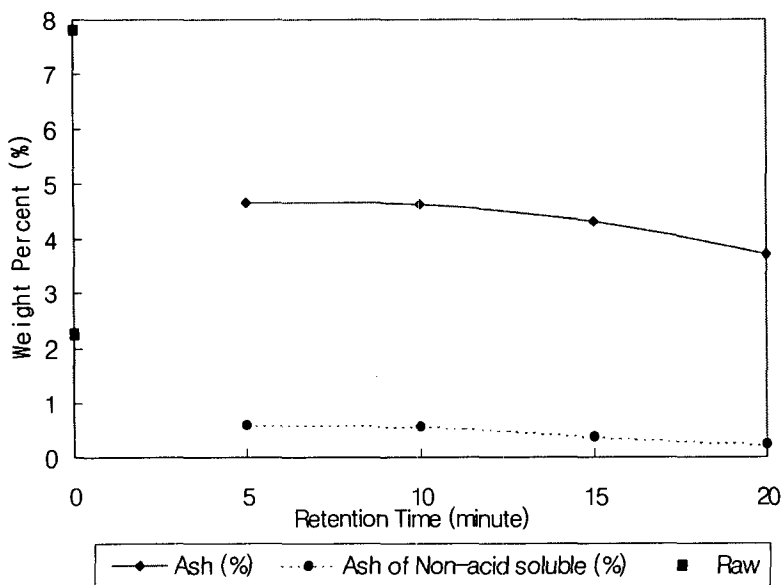
**Fig. 2. 49 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 10 minute retention Time**

그림 2. 50와 그림 2. 51에서는 제2, 제3, 세척조에서의 체류시간을 각각 15분, 20분으로 하면서 예비블림인 제1 세척조의 체류시간을 5분, 10분, 15분, 20분으로 각각 하였다.

그림 2. 50의 세척결과는 그림 2. 48과 별 차이점이 발견되지 않고 전체가 세척기준치 내에 들고 있으며 회분의 경우는 미소하게 예비블림 시간이 경과함에 따라 감소하는 추세이지만 산불용성회분은 거의 동일한 수치를 나타내고 있다. 이것은 본 시료의 세척 한계점이 회분의 경우 4.3%정도이고 산불용성회분의 경우는 0.2% 정도로 추정할 수 있다.



**Fig. 2. 50 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 15 minute retention Time**



**Fig. 2. 51 Washing Results with Variance of Washing Bath Retention Time in the Condition of the 2nd & 3rd Fixed by 20 minute retention Time**

그림 2. 52에서는 제 1 세척조와 제 2 세척조의 체류시간을 5분~20분으로 변경시키면서 예비블림시간 또한 5분에서는 20분으로 증가할 때에 회분의 변화를 살펴보았다. 회분의 경우에는 예비블림 10분과 세척시간(Retention Time, RT)이 5분인 경우를 제외하고 모든 경우에서 잔류기준치인 5% 미만을 나타내고 있어 에젝터를 이용한 수류식 세척기 시작품의 세척 효과가 상당히 양호하다는 것을 알 수 있었다.

예비세척조에서의 체류시간은 5분 이상인 경우 회분의 세척 효과에 미치는 영향은 크지 않다는 것을 알 수 있으며, 20분일 경우에는 회분 함량의 변화가 보이고 있으나 긴 수중 체류로 인하여 손실되는 수용성분을 고려할 경우 이러한 작은 변화폭은 세척 효과에 미치는 영향이 적을 것이다.

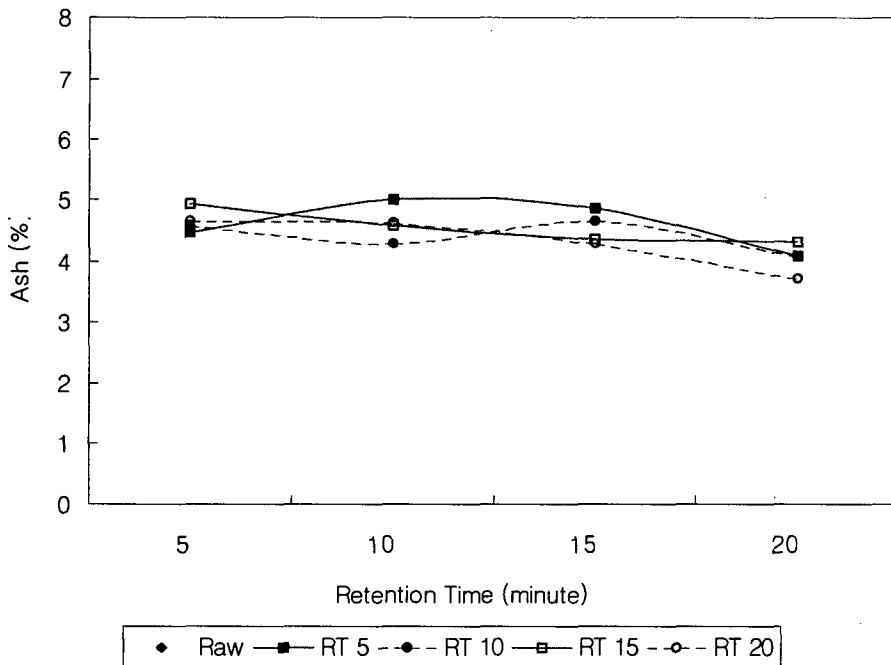


Fig. 2. 52 Washing Results of Ash with Variance of Submerging Time and the 2nd & 3rd Tank retention Time

그림 2. 53은 제 1 세척조와 제 2 세척조의 체류시간과 예비블림시간을 변화시키면서 산불용성회분의 변화를 알아 본 것이다. 산불용성회분의 경우에는 모든 조건에서

잔류기준치인 2% 미만을 나타내고 있어 수삼의 채취후 빠른 시간 안에 세척을 실시할 경우 산불용성회분의 제거가 용이하게 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

예비세척조에서의 체류시간이 산불용성회분의 세척 효과에 미치는 영향은 크지 않았으며, 제 2 세척조와 제 3 세척조의 체류시간이 10분~15분 사이에서 산불용성회분 함량이 가장 크게 낮아진 것을 알 수 있었다. 그러나 산불용성회분의 경우는 잔류기준치 2%에 비해서 매우 낮으므로 또한 지금까지 실험결과를 볼 때 체류시간의 최적조건을 산불용성회분의 감소량에 의존하여 선별하기는 어렵다.

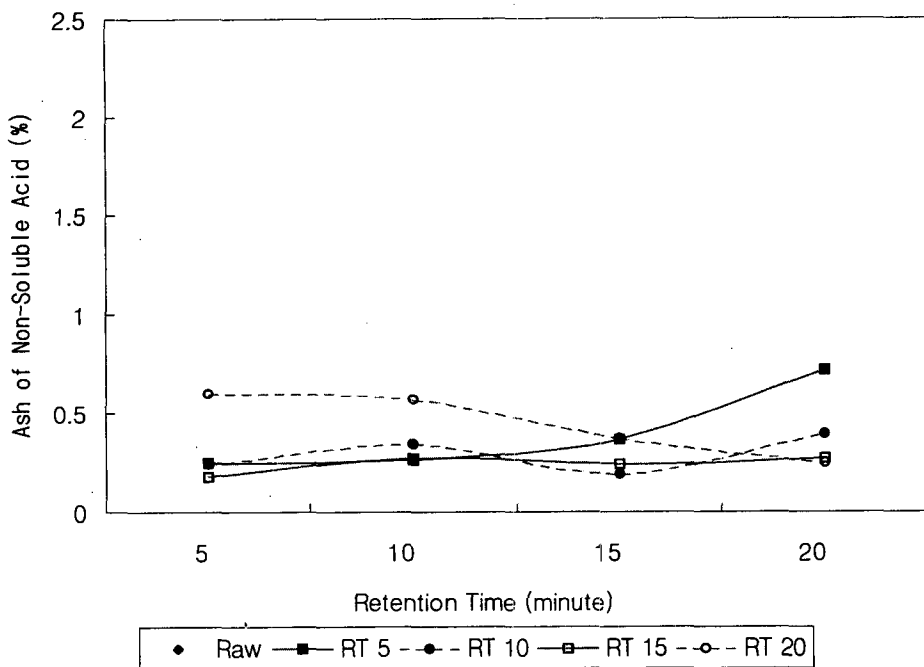


Fig. 2. 53 Washing Results of Ash of Non-Soluble Acid with Variance of Submerging Time and the 2nd & 3rd Tank retention Time

2차 세척실험에서는 1차 세척시와 동일한 실험조건으로 하였으며 원료수삼의 함수율은 73.75%, 회분 8.80%, 산불용성회분은 2.48%를 나타내었다.

원료수삼의 상태는 물성치 뿐만 아니라 육안으로도 매우 유사한 상태임을 알 수 있었다.

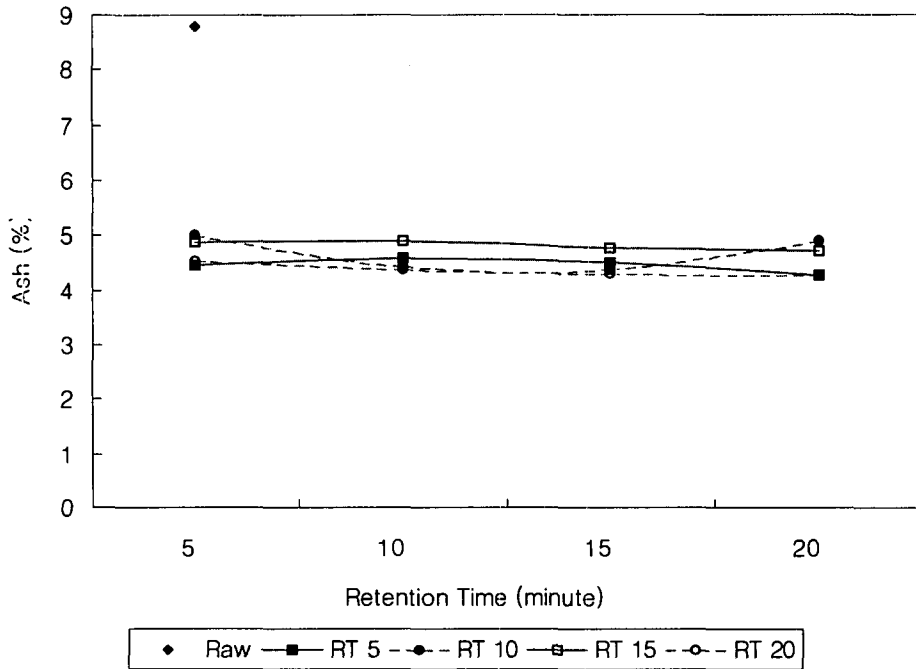
표 2. 13은 시작품 세척기를 이용한 2차 수삼세척실험의 결과치를 나타내고 있다.

Table 2. 13 2nd Washing Results Using by Experimental Set up

Sample	Moisture Contents(%)	Ash (%)	Ash of Non-Soluble Acid(%)
S1	73.75	8.80	2.48
S2	72.85	4.45	0.28
S3	72.46	4.58	0.18
S4	74.84	4.52	0.24
S5	78.08	4.29	0.23
S6	73.11	5.00	1.26
S7	76.21	4.43	0.13
S8	71.92	4.37	0.24
S9	71.12	4.90	0.27
S10	71.66	4.87	0.27
S11	73.79	4.91	0.38
S12	70.14	4.78	0.32
S13	74.92	4.72	0.20
S14	71.44	4.53	0.50
S15	81.78	4.37	0.33
S16	80.69	4.31	0.35
S17	72.73	4.28	0.29

2차 실험의 결과에서 예비세척조와 제 1 세척조, 제 2 세척조의 체류시간의 변경에 따라 회분함량의 변화를 그림 2. 54에 나타내었다. 세척 결과는 예비블림 5분과 세척 시간(Retention Time, RT)이 10분인 경우를 제외하고 모든 경우에서 잔류기준치 미만을 나타내고 있다.

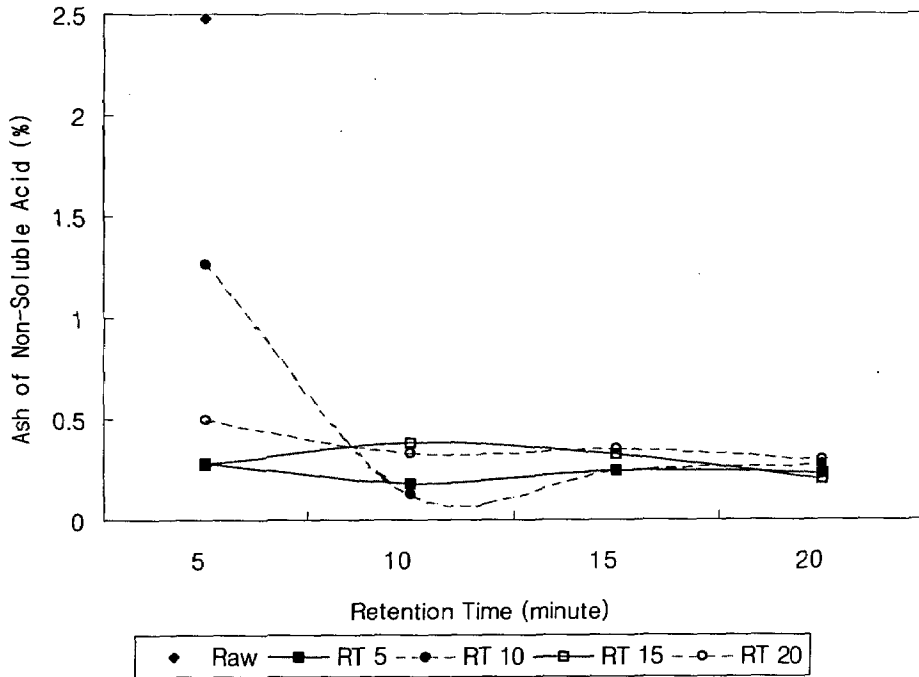
세척시간의 영향은 1차 실험에서와 같은 결과를 보이고 있으며, 세척시간이 길어지면 회분함량도 줄어드는 경향을 보이고 있으나 큰 변화가 아니기 때문에 반드시 세척 효과가 세척시간과 비례한다고 판단할 수 없다.



**Fig. 2. 54 Washing Results of Ash with Variance of Submerging Time and the 2nd & 3rd Tank retention Time**

그림 2. 54에는 각 세척조에서의 체류시간에 따라 측정된 산불용성회분을 나타내었다. 세척 결과는 모두 기준치 미만으로 실험 1과 같이 산불용성회분의 세척은 수삼의 채취 후 세척전까지 보관 기간과 보관 방법등의 영향을 많이 받고 있다는 것을 알 수 있었다.

2차 실험의 산불용성회분의 세척결과에서는 예비세척조 체류시간이 5분인 경우 세척시간의 영향을 크게 받고 있으며, 세척시간이 15분 이상인 경우에는 예비세척조의 체류시간의 영향이 거의 없다는 것을 알 수 있었다.



**Fig. 2. 55 Washing Results of Ash of Non-Soluble Acid with Variance of Submerging Time and the 2nd & 3rd Tank retention Time**

모델 세척기의 실험과 1차, 2차의 실험결과 분석을 통하여 수삼 채취 후 세척 전까지 경과된 시간은 산불용성회분의 제거 정도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 따라서 산불용성회분의 함량을 감소시키기 위해서는 채취 후 빠른 시간 안에 세척을 마쳐야 할 것이다. 20일 정도의 세척까지 걸린 시일이 미친 영향은 그림 2. 56과 그림 2. 57에 나타내었다.

1차와 2차 실험을 통하여 최적의 예비불림시간은 대부분 경우 5분보다 20분이 세척 효과에 우수하게 나타나지만 체류시간 증대에 따른 사포닌 용출을 고려하고 또한 실제 기준치내에서 회분 및 산불용성회분의 차이를 고려한다면 구태여 오랜기간 예비불림 할 필요없이 5분~10분 정도가 최적이라고 볼 수 있다. 제 2 세척조와 제 3 세척조의 최적의 세척 시간은 5분 이상이어야 회분 함량이 기준치보다 작게 세척되기 때문에 각 세척조에서의 체류시간은 10~15분이 적당하다.



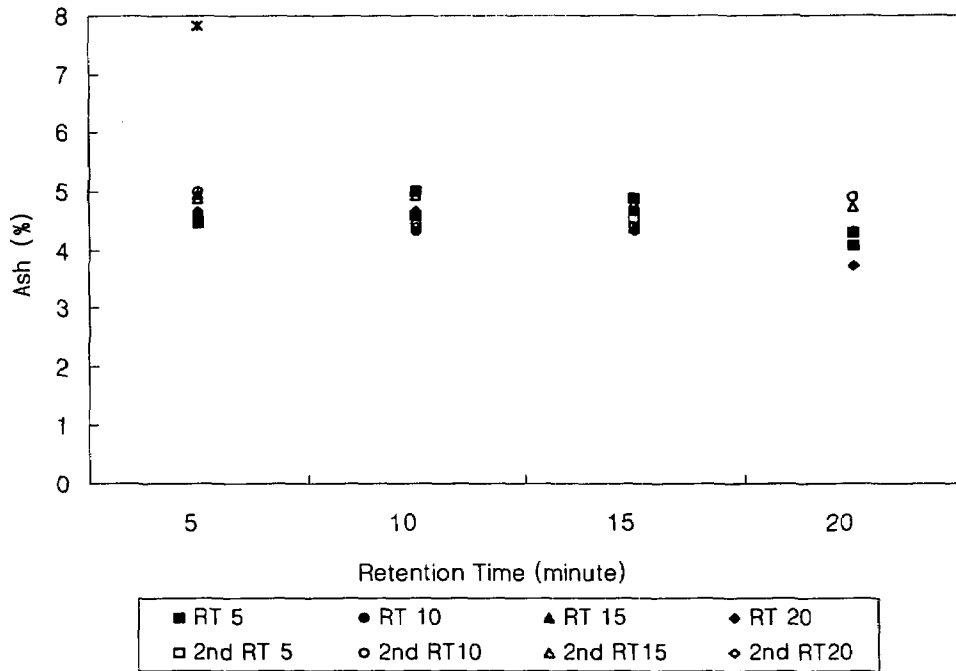


Fig. 2. 56 Washing Results of Ash at 1st & 2nd Experiment

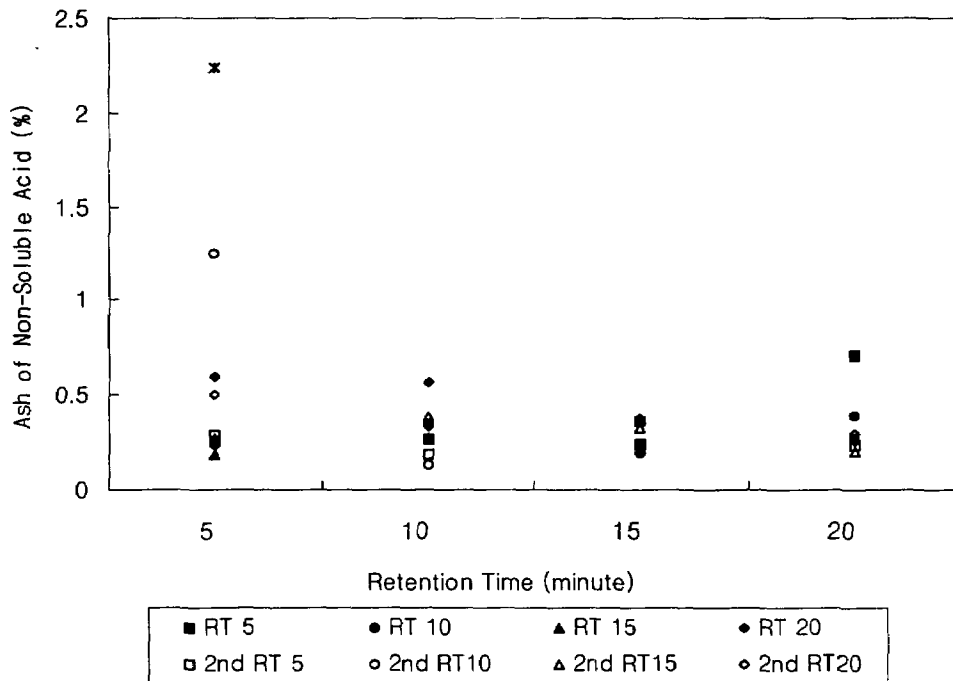


Fig. 2. 57 Washing Results of Non-Soluble Acid at 1st & 2nd Experiment

## 제 3장 결 론

원료수삼을 상품화 가공하기 위해서는 필수적으로 세척공정을 거쳐야 하는데 세척 공정에서 얼마나 깨끗하게 세척하는가 하는 문제도 중요하지만 세척기 내에서는 교반 및 이송과정에서 수삼이 꼬여 일부분이 절손이 되는 경우에는 상품의 가치를 상당 부분 상실하기 때문에 수삼의 잔뿌리나 표피의 손상 없이 얼마만큼 깨끗하게 세척하는가 하는 것이 상품의 부가가치를 결정하는 중요한 인자가 되는 것이다.

수삼의 복잡한 구조적 특성으로 인하여 수작업으로 세척할 경우에도 다리나 잔뿌리의 손상이 쉽게 발생한다. 또한 이 경우 개인 능력과 작업환경, 기분에 따라서 발생하는 작업결과는 상당히 다르게 나타나므로 이러한 문제점을 해결하고 부가가치향상을 위해서는 수삼의 손상을 최소화 하고 세척결과에 균일화를 기할 수 있는 고효율 기계식 세척공정이 필요하다.

이러한 수요자의 요구에 부응할 수 있는 수삼세척기를 개발하기 위하여 본 연구에서는 기존의 연구를 통해서 세척능력의 우수성이 입증된 물과 공기를 이용한 이류체를 적용하되 수조 하부에서 별도의 압축공기를 사용하지 않고  $2-3 \text{ kg/cm}^3$ 의 세척수 유입시 발생되어지는 부압에 의해서 자연적으로 공기유입이 이루어지는 에젝터 방식을 이용하였다.

또한 세척조하부의 W자형 와류유동안내판을 적용하였을 때 PIV(Particle Image Velocimetry) 유동해석 결과 나타난 상호대칭 와류유동을 활용하여 구조적으로 복잡한 수삼의 구석구석에 이류체 난류가 가능하도록한 모델세척기를 설계, 제작하고 유동해석과 운전 및 실험결과를 토대로하여 체적스케일업을 통한 시작품을 개발할 수 있었다.

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 수압에 의한 수삼의 내압정도를 알아보기 위한 단구경 노즐분사 시험에서 수압 증가시 세척 효과는 증가되나  $3 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  이상의 수압에서는 수초이내 표피는 물론 몸통과 다리의 절손이 일어나므로  $2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  이하의 수압이 적절한 것으로 나타났다.

2. PIV 유동해석을 기초로 한 세척조 내의 단일방향성 와류 형성원리를 적용하여 설계에 기준이 되는 모델세척기를 설계 및 제작하여 세척실험한 결과 최적세척조건은 에젝터 공급수압  $2\text{ kg}_f/\text{cm}^2 \sim 3\text{ kg}_f/\text{cm}^2$ , 체류시간  $20 \pm 5$ 분으로 나타났으며 세척결과는 회분5% 미만, 산불용성회분 2% 미만으로 기준치 내에 드는 양호한 수준이었다.

3. 에젝터는 기존의 연구내용을 접목하되 최적인전시 세척수량에 대한 공기의 체적비율이 20% 가능한 것을 기준 사양으로 설계 및 제작하였다. 에젝터 배열은 CFD해석에 의한 와류공백구역을 최소화 하기 위해서 에젝터 배열을 엇갈림각으로 하였고 최적향류가 될 수 있도록 상부에젝터  $\theta_1 = 0^\circ$ , 하부에젝터  $\theta_2 = 45^\circ$  인 장착각도로 하였다.

4. 시작품 세척기는 모델세척기에 대한 스케일업상수가 6.7인 체적스케일 기법을 적용하였고 모델세척기의 실험 결과 나타난 최적세척 조건을 채택하였고 세척능력 향상과 농산물 세척에 대한 확대적용이 가능할 수 있도록 단(Stage)별 세척개념을 도입함에 따라 모델세척기 실험결과 나타난 예비블림의 효율성을 적용할 수 있도록 1단계 세척조는 예비블림조로 활용하고 2단계세척조와 3단계세척조는 에젝터수류식 세척조로 구성한 Batch-Continuous 시스템으로 자동화 운전을 통해서 수삼의 체류시간을 임의로 조절할 수 있도록 하였다.

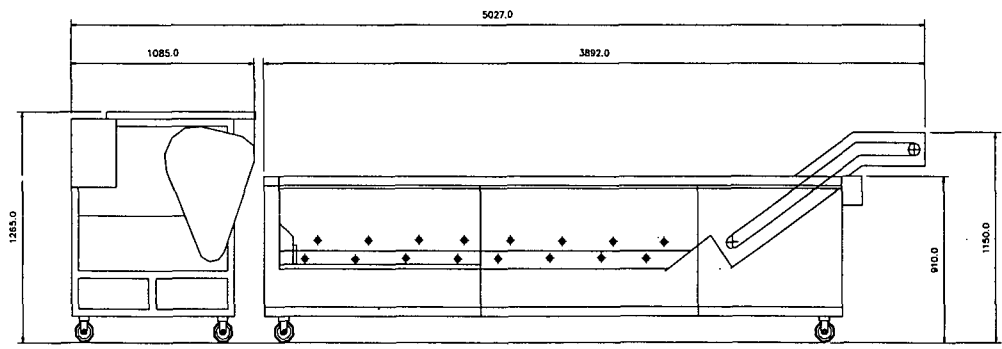
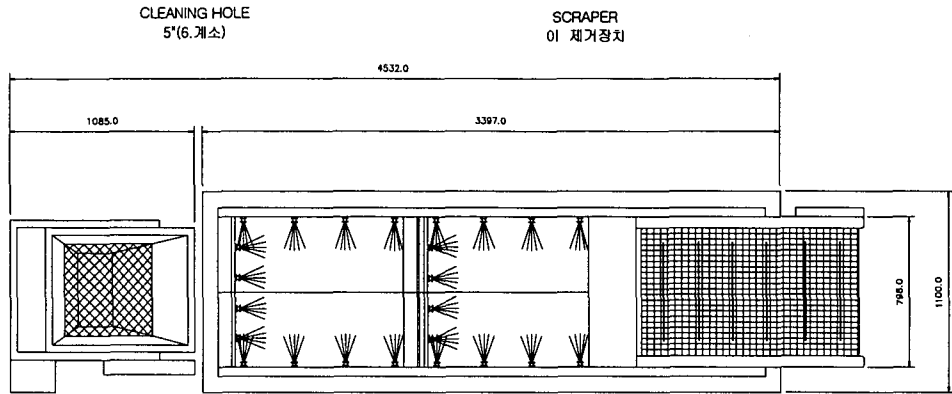
5. 시작품 세척기를 이용한 실험결과 15분~20분 정도가 최적의 체류시간임을 알 수 있고 산불용성회분에서 모델세척기의 경우와 확연하게 낮은 수치를 보이는 것은 채취시기와 상당히 밀접한 관계가 있는 것으로 보여진다. 모델세척기 실험시에는 채취후 시간경과가 무려 6개월이 경과된 상태이기 때문에 수삼의 함유율 역시 자연건조로 인하여 10%정도 낮게 나타나고 토양중 함유된 규소성분이 건조과정을 통하여 표피에 강하게 점착되기 때문에 비록 2% 보다 낮은 산불용성회분 잔류수치를 나타내지만 세척이 어려운 편이고 반대로 채취시기가 이를 경과한 경우는 1% 미만으로 용이하게 세척되어지고 있음을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

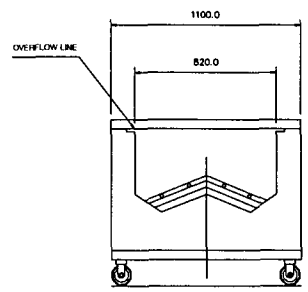
1. 한국식품연감. 2000. 농수축산신문 610-640
2. 인삼산업법. 1999. 농림부. 72-85
3. 김상헌. 1996. 채소류 폐기물 처리 시스템 개발. 농림부 313-320
4. 송치성. 2000. 인삼자동세척 시스템 개발에 관한 연구. 산업자원부 43-60, 111-116
5. 농림부. 2000. 식품위생법의 식품공정 제 7 일반시험법
6. 보건복지부. 2000. 대한약전[제 1부, 제 2부]. 1133
7. 식품공전. 2000. 한국식품공업협회. 544-545
8. 박재복. 1992. 주요 농산물 가공기계 개발에 관한 연구. 한국식품개발연구원. 12-33
9. 植田辰洋. 1982. 氣液二相流. 東京大學校.
10. Peebles, F. N. & Garber, H. J. Studies on the motion of gas bubbles in liquids. Chem. Eng. Prog., 49-2(1953), 88-97
11. Dumitrescu, D. T. 1943. Stromung an einer luftblase im senkrechten . Rohr, Z. angew. Math. Mech, 23-3, 139-149

12. Chuichi Arakawa. 1994. Computational Fluid Dynamics for Engineering.  
University of Tokyo Press
  
13. John A. Roberson and Clayton T. Crowe. 1993. Engineering Fluid  
Mechanics. Houghton Mifflin

# Appendix I. Design Plan

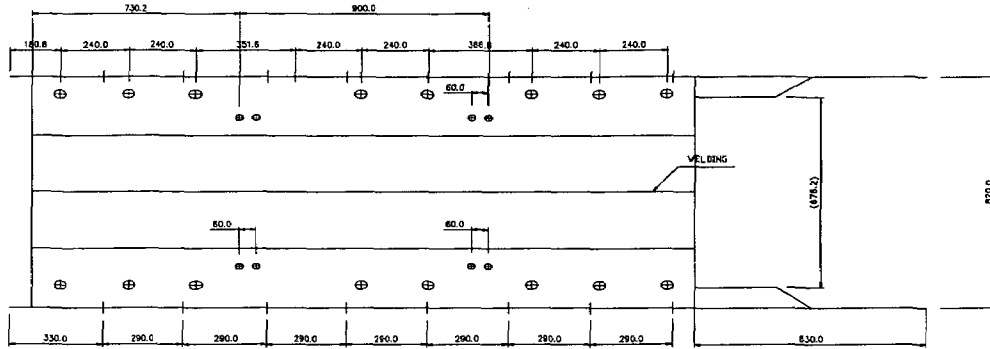


Specification	
Model	Ginseng washing machine
Size	5027L * 1100W * 1150H
Detercent	Tap Water
Pump	2nd stage volute pump, 2m <sup>3</sup> /min
Drive Motor	AC 440V, 3φ, 18KW
Frame	S/O PIPE : 50 * 30 * 21(STS304)
Tank	STS304 * 2t * Polishing
Casing	STS304 * 1t * Hairline
Electric Power	440V * 3φ * 60Hz
Wash	: 16EA
Convey	: 12EA
Water Pressure	: 3Kg/Cm <sup>2</sup>
Washing Method	: Ejector Bubble Turbulent Type
Control	: Sequence Type

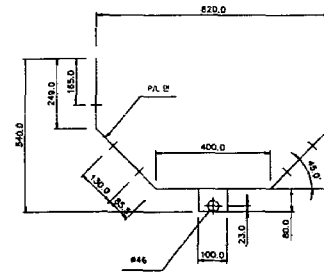
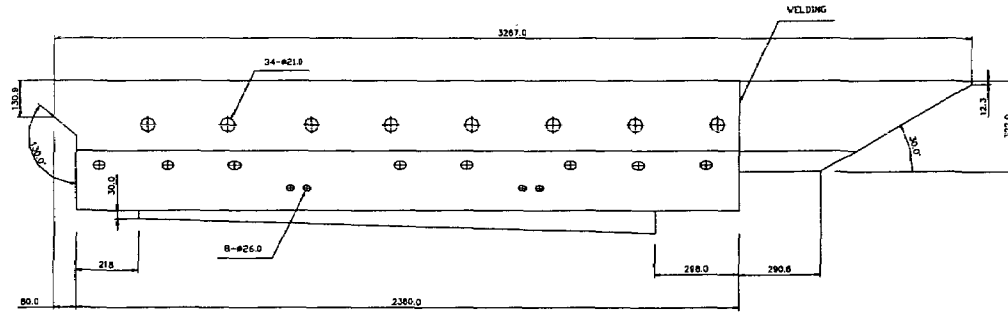


NO	DESCRIPTION	M'TL	Q'TY	REMARKS
한국기계연구원		TITLE	SCALE	
		ASSEMBLY DWG	1	15
APP	CHK	DSN	DWN	DATE
				01.10.30
				DWG NO
				GWM-1

NO.	DESCRIPTION	M'TL	Q'TY	SIZE	REMARKS
-----	-------------	------	------	------	---------



① 寸法: 1EA  
 材質: ST8304 P/L\*28 2.0T



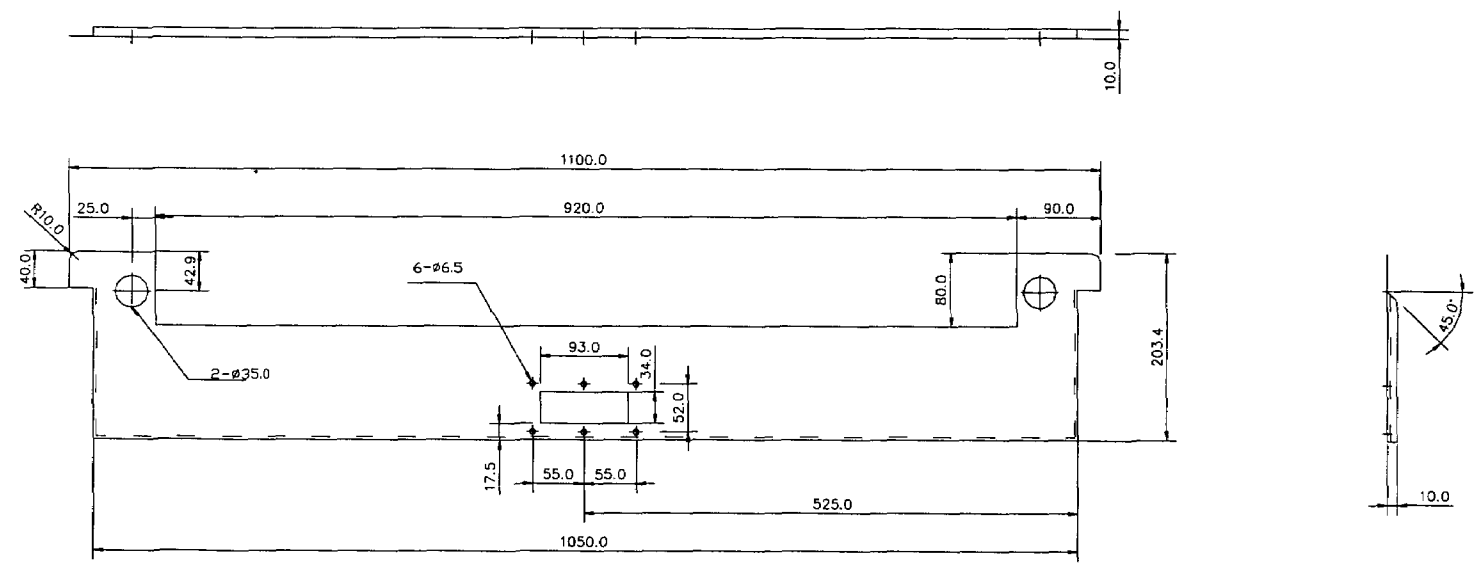
ROUGHNESS (R max)	NO	REV. SYM.	REVISION RECORD	DATE	APP	△												
▽	▽	▽	▽	△														
100s	25s	6.3s	0.8s	△														

CLIENT				PROJECT			
한국기계연구원				Ginseng Washing Machine			
				TITLE		SCALE	
				TANK PLATE-2		15	
APP	CHK	DSN	DWN	DATE	DRAWING.NO	SHEET.NO	
				01.10.30	GWM-2		

☐	STEAM IN	▲	GAS SUPPLY	□	COLD WATER	☎	FAN	⊕	DRAIN	⊙	1 PHASE
●	STEAM OUT	///	TRENCH	■	HOT WATER	⊗	HOOD	⊖	FLOOR DRAIN	⊚	3 PHASE

NO.	DESCRIPTION	M'TL	Q'TY	SIZE	REMARKS
-----	-------------	------	------	------	---------

① 수량: 1EA  
 재질: STS304 1.5T 2B



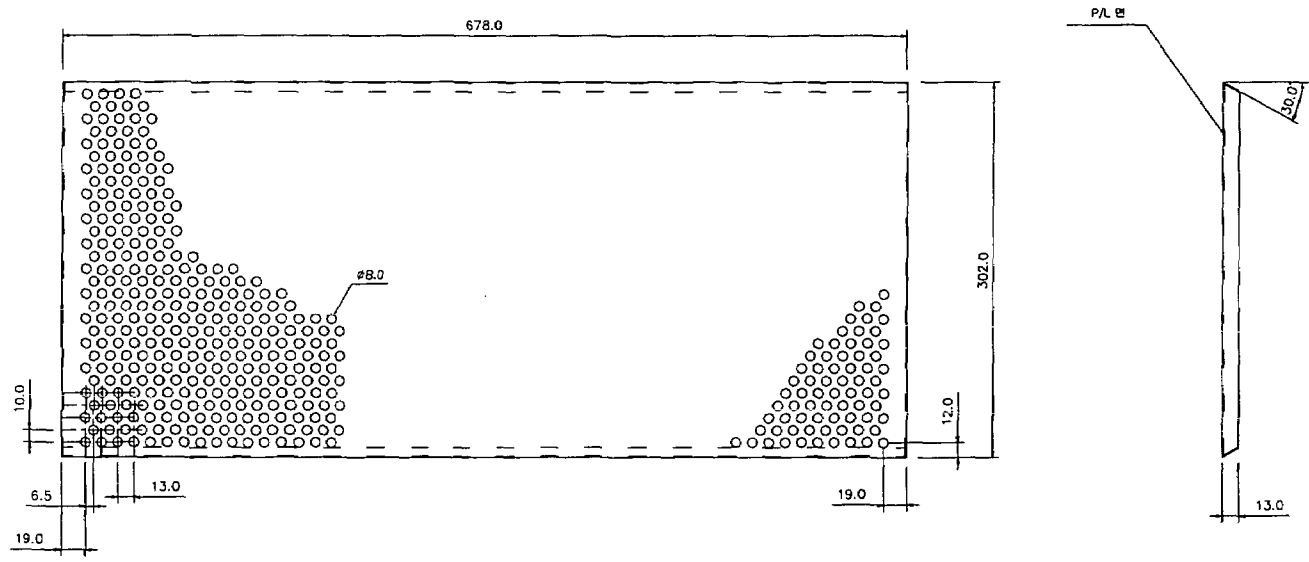
CLIENT				PROJECT Ginseng Washing Machine			
한국기계연구원						TITLE TANK PLATE-04	SCALE 5
APP	CHK	DSN	DWN	DATE	DRAWING.NO	SHEET.NO	
				01.10.30	GWM-3		

ROUGHNESS (R max)	NO.	REV.SYM.	REVISION RECORD	DATE	APP	△
▽	▽	▽	▽	▽	△	
100μ	25μ	6.3μ	0.8μ	△		
☐	▲	▲	○	⊖	⊕	⊙
STEAM IN	GAS SUPPLY	COLD WATER	FAN	DRAIN	1 PHASE	
■	TRENCH	HOT WATER	HOOD	FLOOR DRAIN	3 PHASE	



NO.	DESCRIPTION	M'TL	Q'TY	SIZE	REMARKS
-----	-------------	------	------	------	---------

① 수량: 6EA  
 재질: STS304 P/L \*2B 1.5T



- 120 -

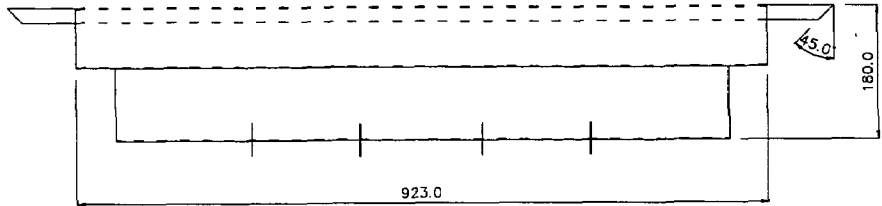
ROUGHNESS (R max)	NO.	REV. SYM.	REVISION RECORD	DATE	APP	△
▽▽▽▽	△					△
100s 25s 6.3s 0.8s	△					△

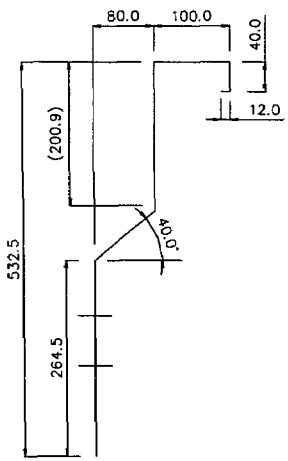
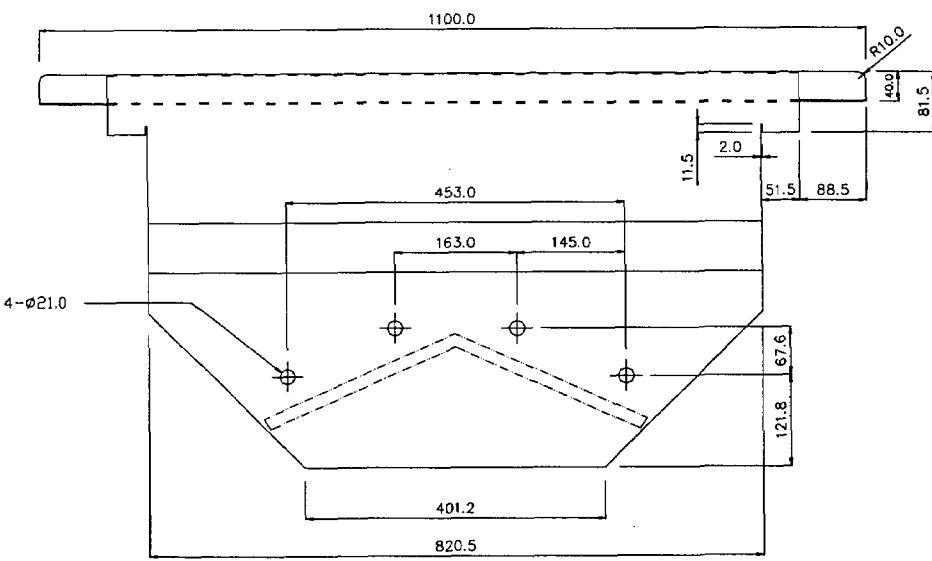
<input checked="" type="checkbox"/> STEAM IN	<input checked="" type="checkbox"/> GAS SUPPLY	<input type="checkbox"/> COLD WATER	<input type="checkbox"/> FAN	<input type="checkbox"/> DRAIN	<input type="checkbox"/> 1 PHASE
<input checked="" type="checkbox"/> STEAM OUT	<input type="checkbox"/> TRENCH	<input type="checkbox"/> HOT WATER	<input type="checkbox"/> HOOD	<input type="checkbox"/> FLOOR DRAIN	<input type="checkbox"/> 3 PHASE

CLIENT				PROJECT Ginseng Washing Machine			
한국기계연구원						TITLE STRAINER	SCALE 3
APP	CHK	DSN	DWN	DATE	DRAWING.NO	SHEET.NO	
				01.10.30	GWM-4		

NO.	DESCRIPTION	M'TL	Q'TY	SIZE	REMARKS
-----	-------------	------	------	------	---------



① 수량: 1EA  
 재질: STS304 P/L 2.0T

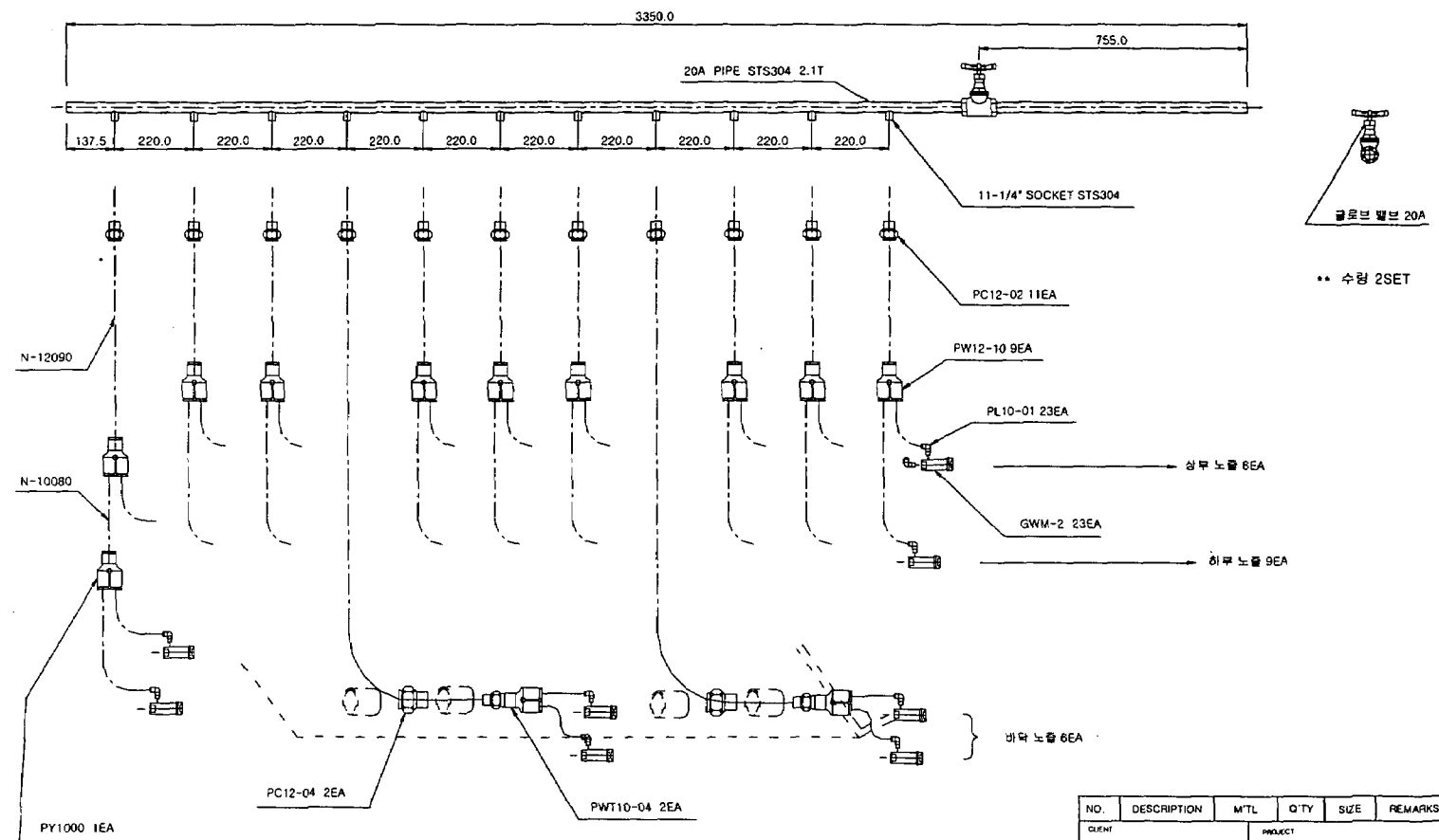


CLIENT				PROJECT			
				Ginseng Washing Machine			
한국기계연구원				TITLE		SCALE	
				TANK ??		5	
APP	CHK	DSN	DWN	DATE	DRAWING.NO	SHEET.NO	
				01.10.30	GWM-5		

ROUGHNESS (R max)	NO.	REV.SYM.	REVISION RECORD	DATE	APP	△									
▽	▽	▽	▽	▽	▽	△									
100s	25s	6.3s	0.8s												
☐	▲	△	○	⊖	⊕	⊗	⊙	⊚	⊛	⊜	⊝	⊞	⊟	⊠	⊡
STEAM IN	GAS SUPPLY		COLD WATER	FAN	DRAIN									1 PHASE	
STEAM OUT	TRENCH		HOT WATER	HOOD	FLOOR DRAIN									3 PHASE	



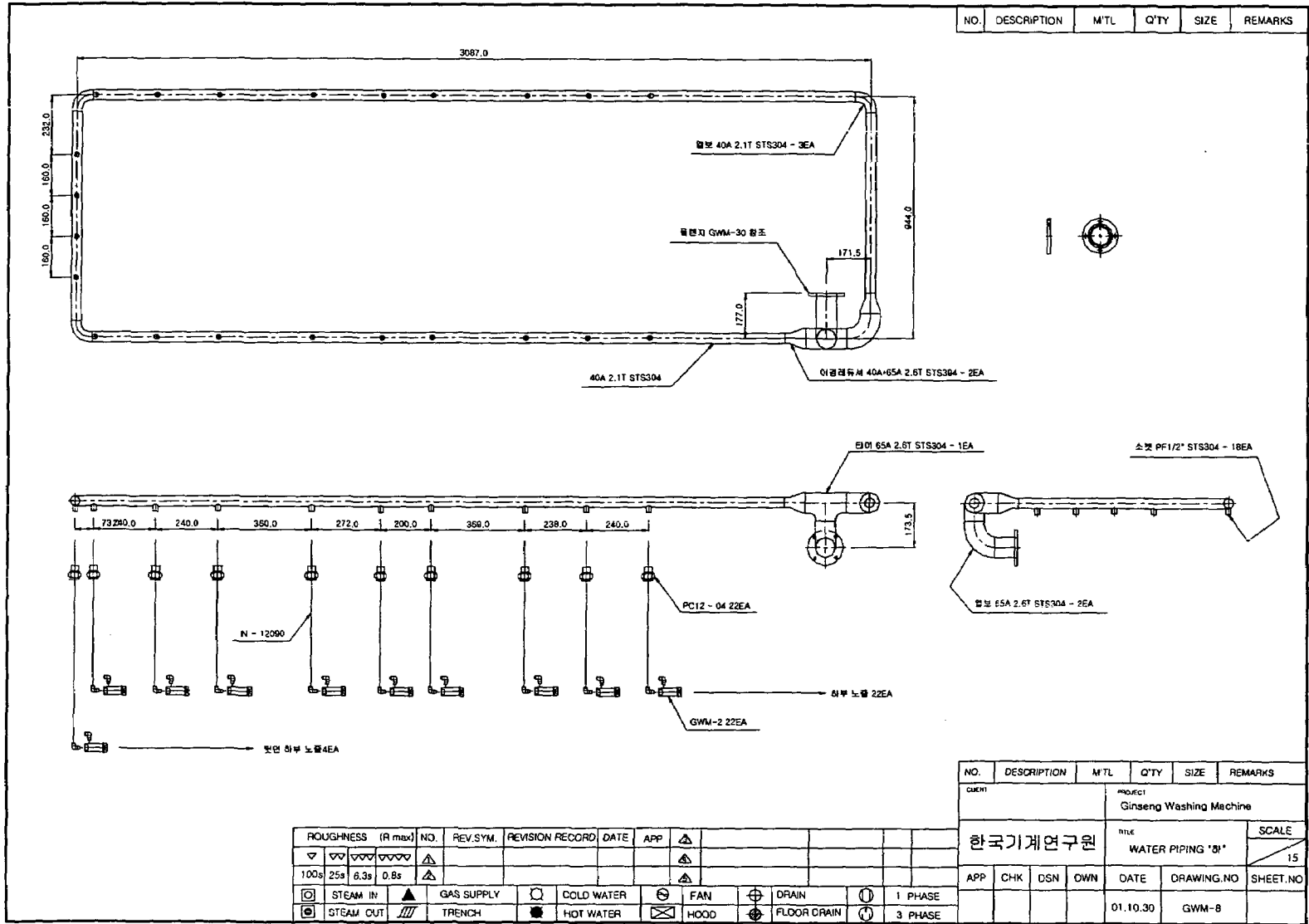
NO.	DESCRIPTION	MTL	QTY	SIZE	REMARKS
-----	-------------	-----	-----	------	---------



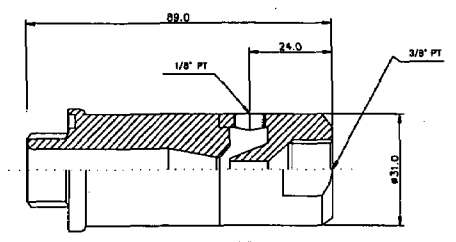
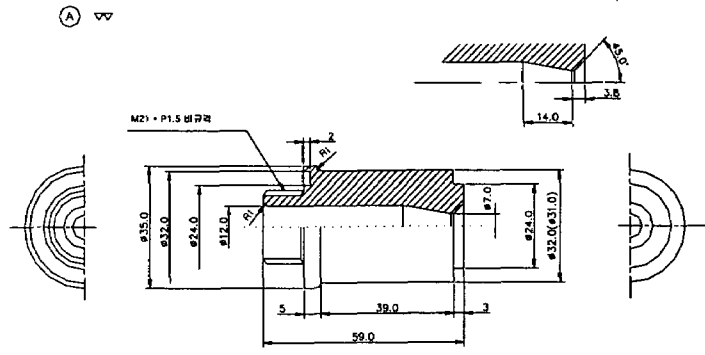
공로브 밸브 20A  
 \*\* 수량 2SET

NO.	DESCRIPTION	MTL	QTY	SIZE	REMARKS
CLIENT		PROJECT			
		Ginseng Washing Machine			
한국기계연구원				TITLE	
				AIR PIPING LINE	
				SCALE	
				12	
APP	CHK	DSN	DWN	DATE	DRAWING.NO
				01.10.30	GWM-7
STEAM IN		GAS SUPPLY		1 PHASE	
STEAM OUT		TRENCH		3 PHASE	

ROUGHNESS (R max)	NO.	REV.SYM.	REVISION RECORD	DATE	APP	△												
▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	△														
100s	25s	6.3s	0.8s															
☐	▲	⊖	⊕	⊗	⊘	⊙	⊚	⊛	⊜	⊝	⊞	⊟	⊠	⊡	⊢	⊣	⊤	⊥
☐	▲	⊖	⊕	⊗	⊘	⊙	⊚	⊛	⊜	⊝	⊞	⊟	⊠	⊡	⊢	⊣	⊤	⊥
☐	▲	⊖	⊕	⊗	⊘	⊙	⊚	⊛	⊜	⊝	⊞	⊟	⊠	⊡	⊢	⊣	⊤	⊥

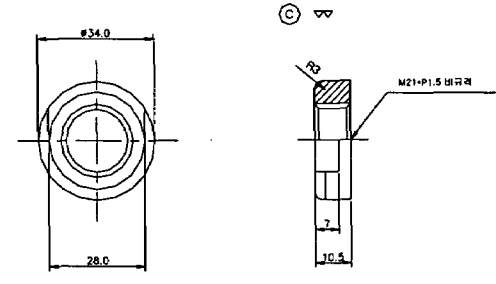
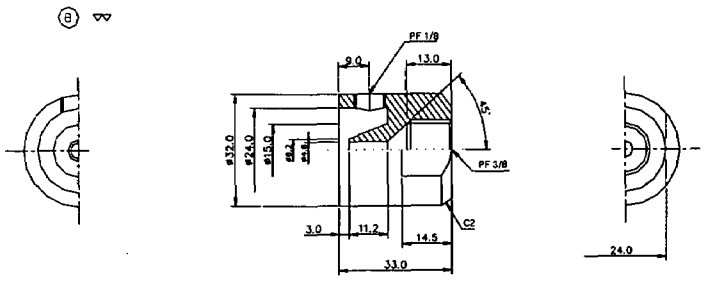


NO.	DESCRIPTION	M'TL	Q'TY	SIZE	REMARKS
-----	-------------	------	------	------	---------



A,B 용접후 표면 가공 하여  
용접표시 없앨것.

\*\* EJECTION BODY ASS'Y \*\*



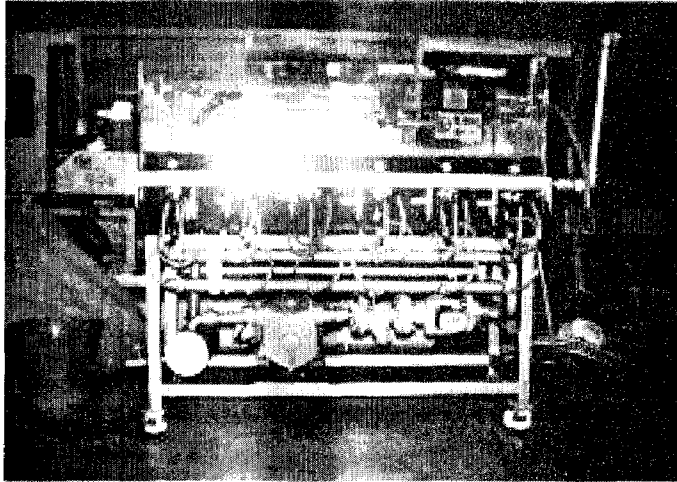
C	NUT	STS304	50		
B	NOZZLE	STS304	50		
A	BODY 'A'	STS304	50		
NO.	DESCRIPTION	M'TL	Q'TY	SIZE	REMARKS

CLIENT				PROJECT			
한국기계연구원				Ginseng Washing Machine			
TITLE						SCALE	
EJ/NOZZLE BODY						1	
APP	CHK	DSN	DWN	DATE	DRAWING.NO	SHEET.NO	
				01.10.30	GWM-9		

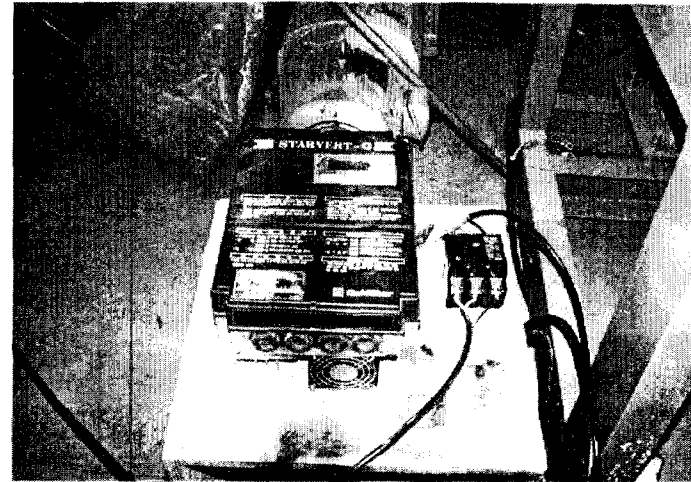
ROUGHNESS (R max)	NO.	REV. SYM.	REVISION RECORD	DATE	APP	△
100μ 25μ 6.3μ 0.8μ						
☐ STEAM IN	▲ GAS SUPPLY	☐ COLD WATER	☐ FAN	⊕ DRAIN	① 1 PHASE	
⊙ STEAM OUT	/// TRENCH	■ HOT WATER	⊗ HOOD	⊕ FLOOR DRAIN	③ 3 PHASE	



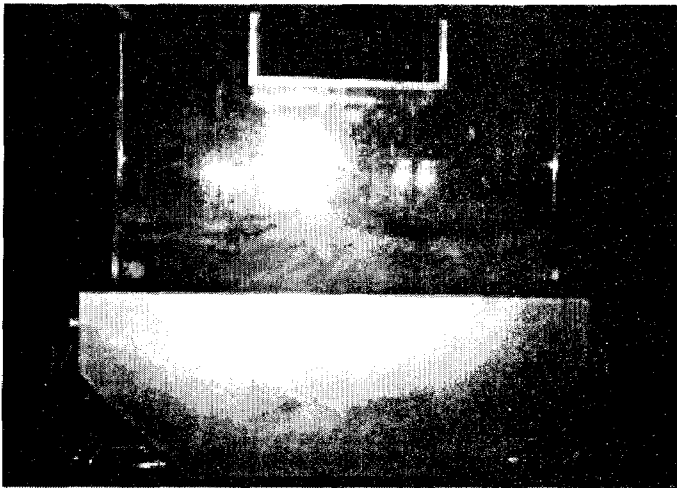
Appendix II. Figures of Experiment & Equipment



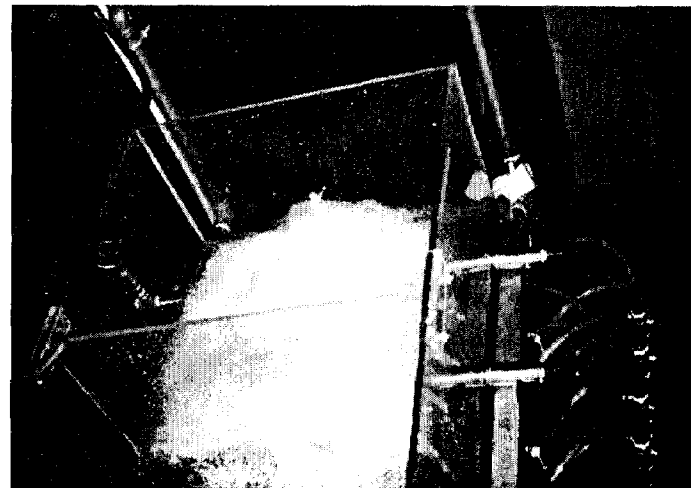
Picture 11. 모델 세척기의 측면



Picture 12. 모델 세척기의 Control Board

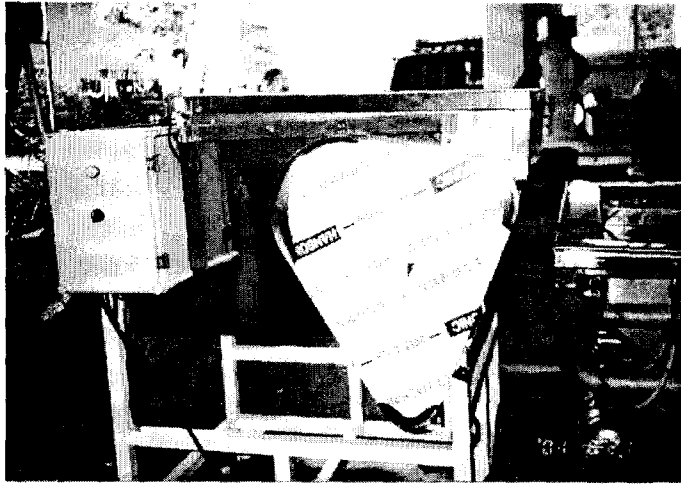


picture 13. 모델 세척기내부 수류형성 측면

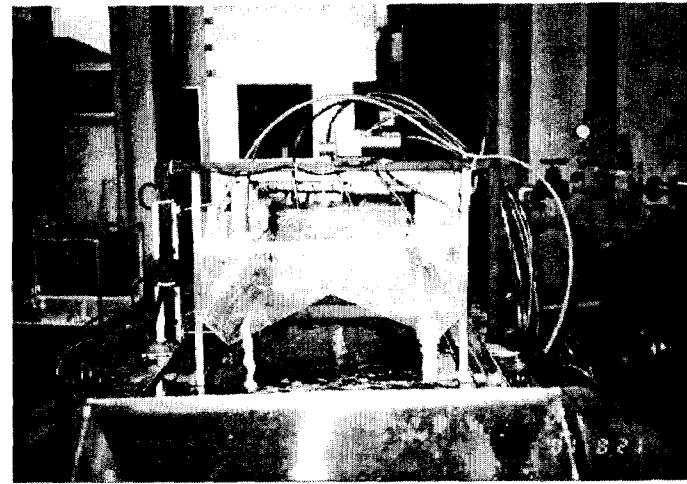


Picture 14. 모델 세척기 내부 수류형성 상부

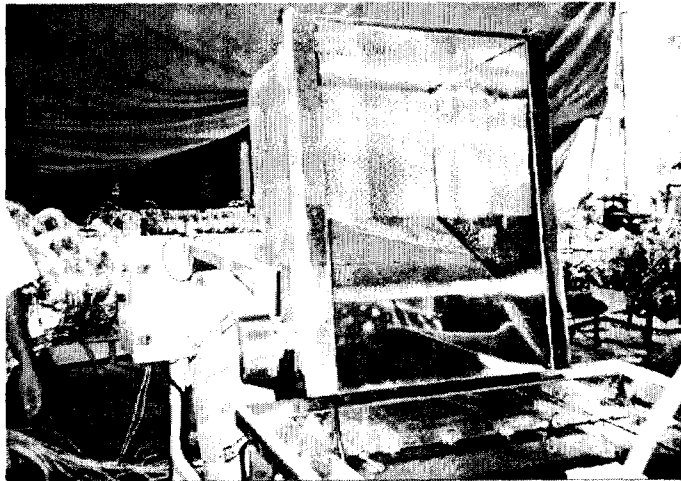




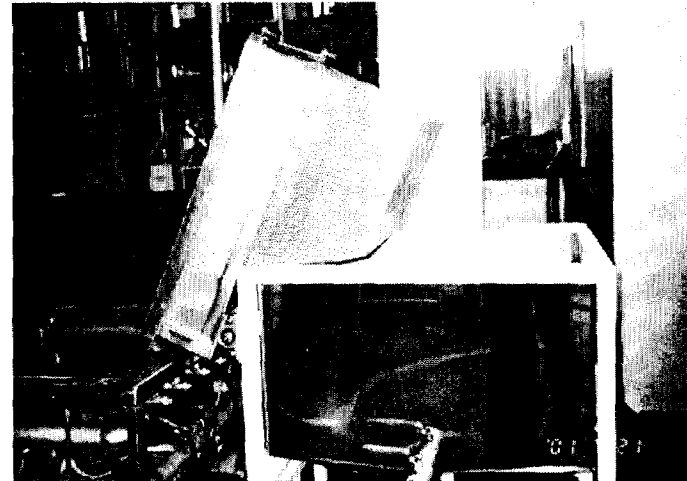
Picture 15. 예비세척조의 측면 모습



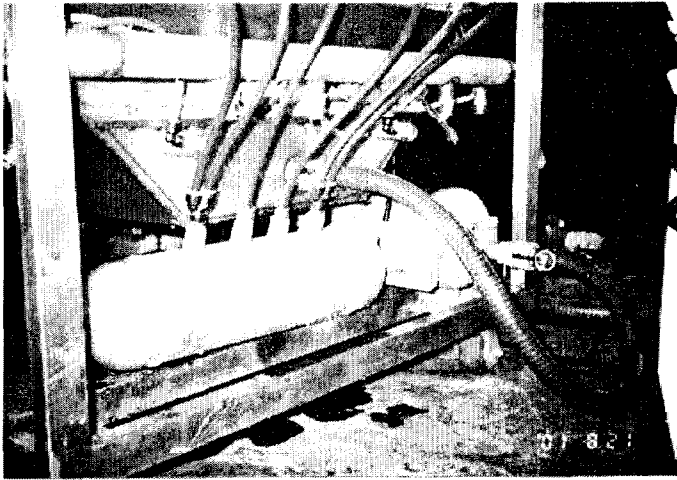
Picture 16. 수삼 이송시의 모습



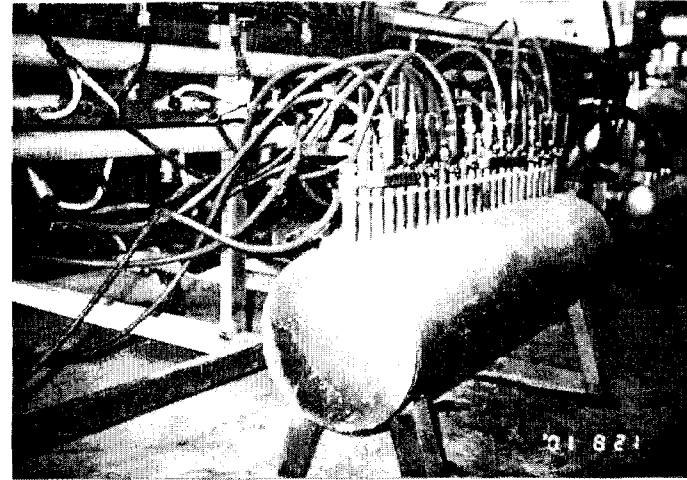
Picture 17. 예비세척조의 덤프시 모습



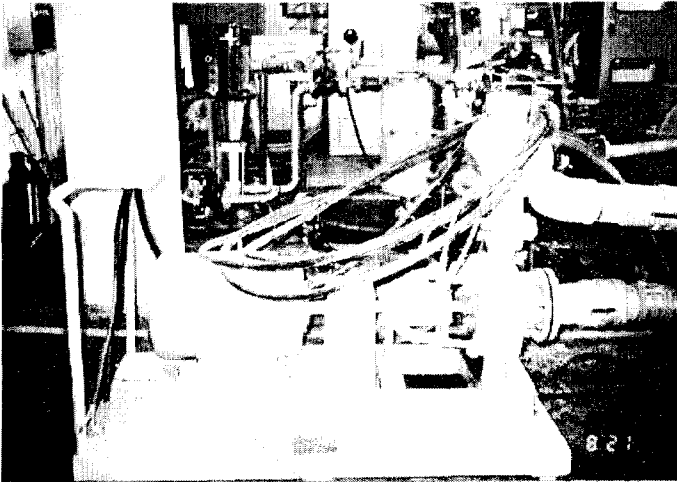
Picture 18. 예비세척조의 덤프시 모습



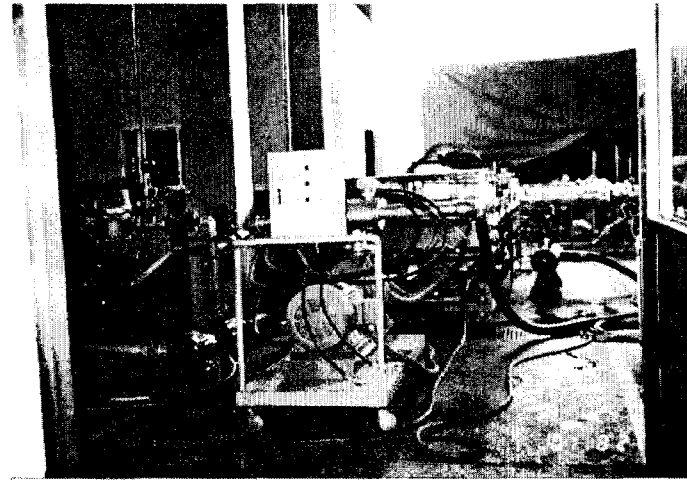
Picture 19. 이송노즐 매니폴드



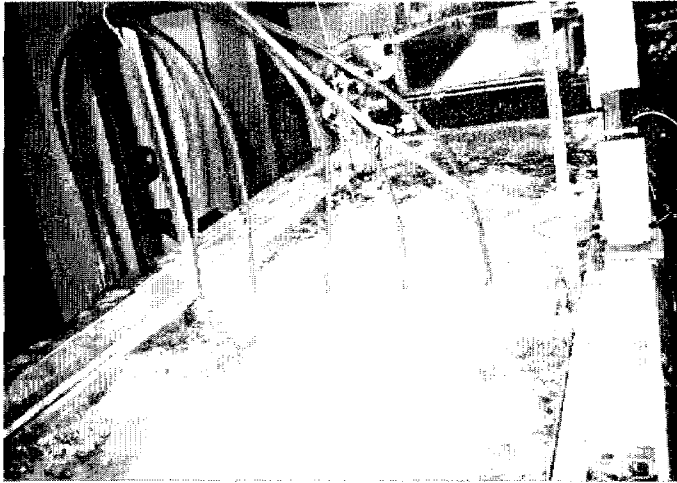
Picture 20. 압력수 분배 매니폴드



Picture 21. 압력수 공급 펌프



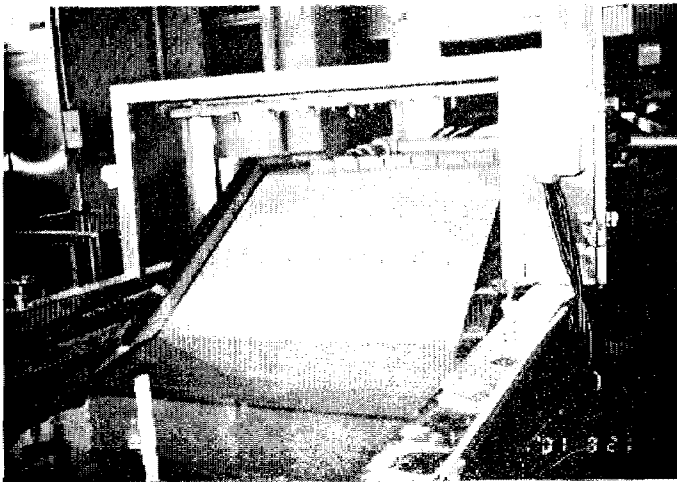
Picture 22. Control Board



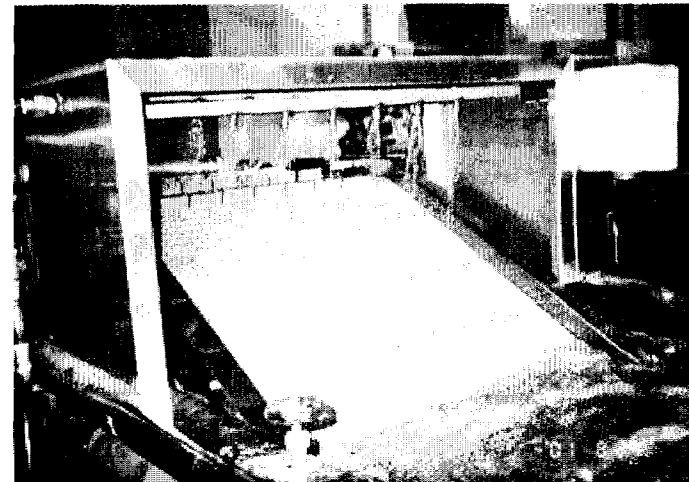
Picture 23. 세척조의 수류형성



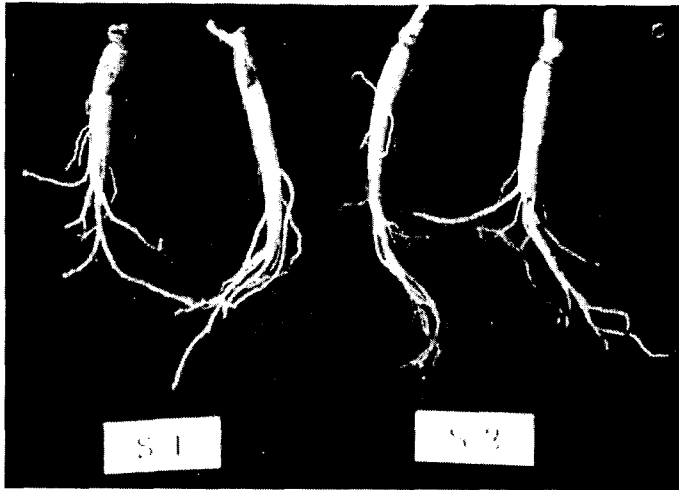
Picture 24. 제 2 세척조의 이송 수류 형성



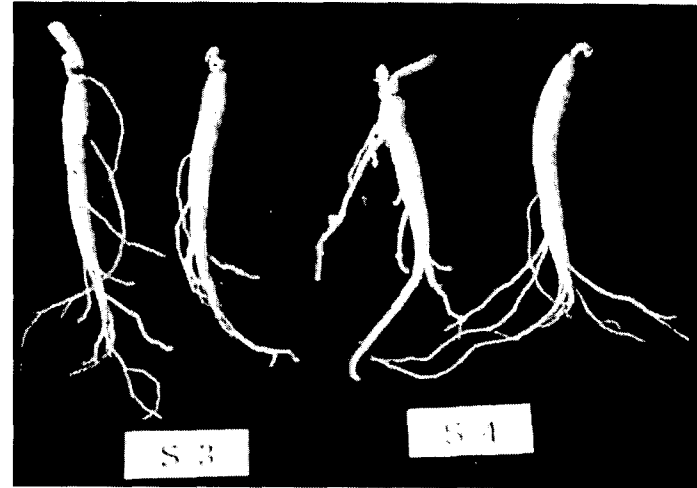
Picture 25. 벨트 컨베이어의 정면



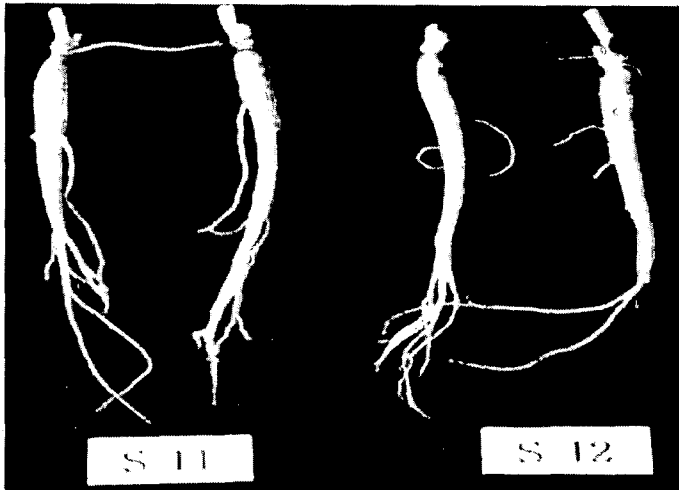
Picture 26. 행굼노즐에 의한 마지막 세척



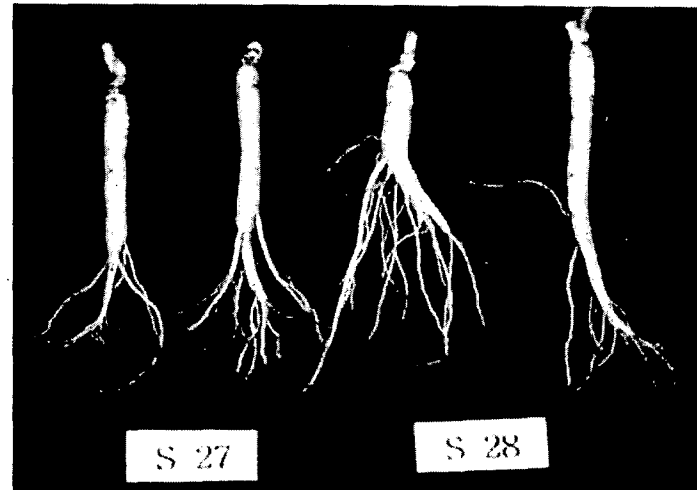
Picture 27. 세척 전 수삼



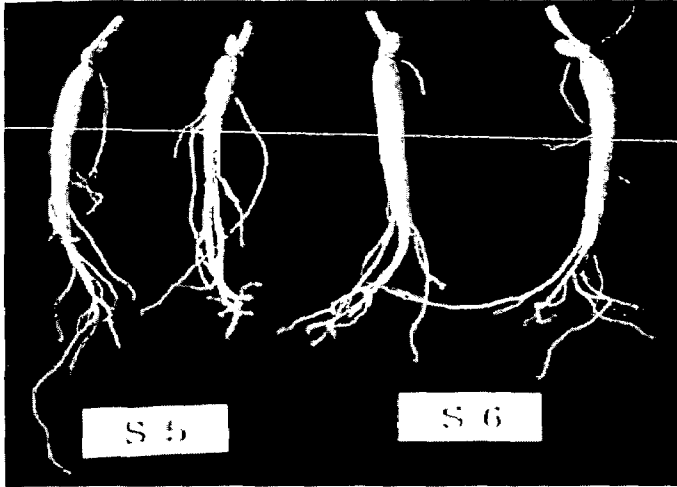
Picture 28. 예비블림 5분후 각 세척조에서 5분 세척



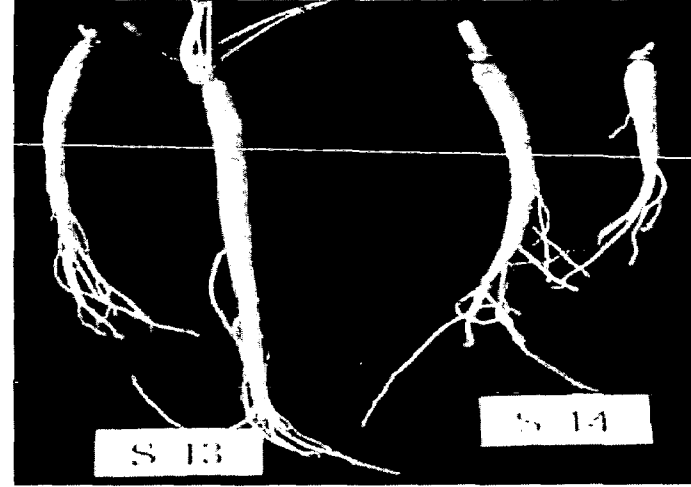
Picture 29. 예비블림 5분후 각 세척조에서 10분 세척



Picture 30. 예비블림 5분후 각 세척조에서 20분 세척



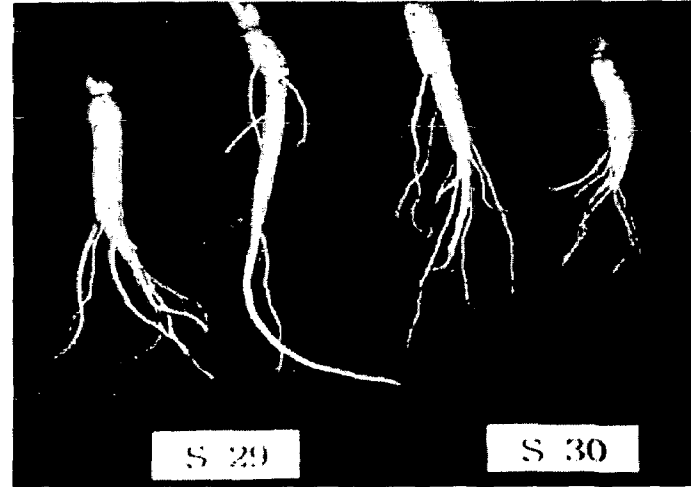
Picture 31. 예비불림 10분후 각 세척조에서 5분 세척



Picture 32. 예비불림 10분후 각 세척조에서 10분 세척



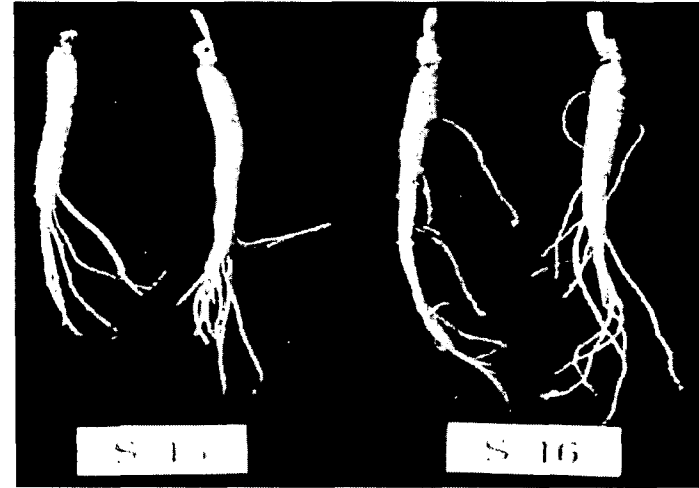
Picture 33. 예비불림 10분후 각 세척조에서 15분 세척



Picture 34. 예비불림 10분후 각 세척조에서 20분 세척



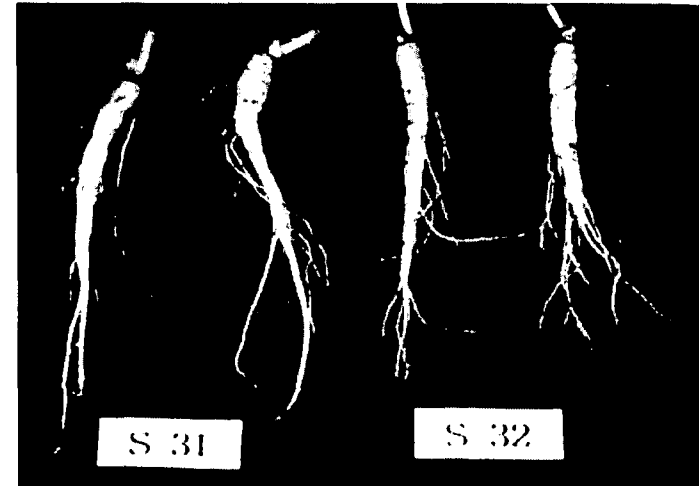
Picture 35. 예비불림 15분후 각 세척조에서 5분 세척



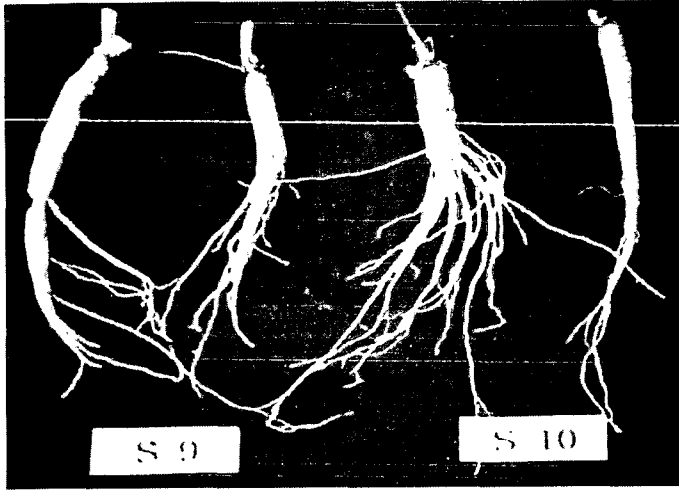
Picture 36. 예비불림 15분후 각 세척조에서 10분 세척



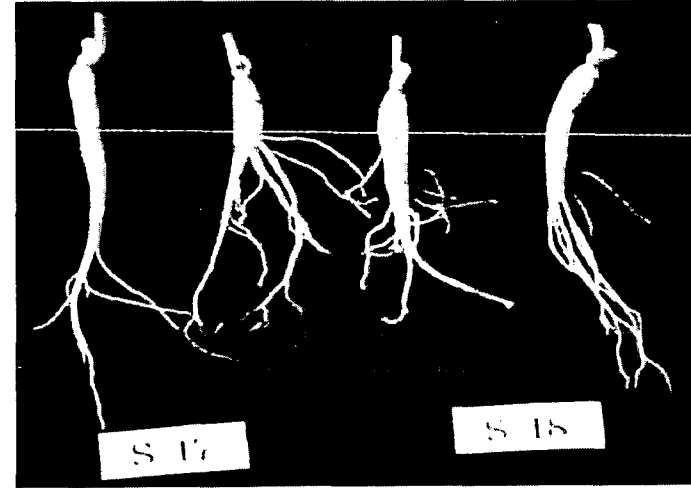
Picture 37. 예비불림 15분후 각 세척조에서 15분 세척



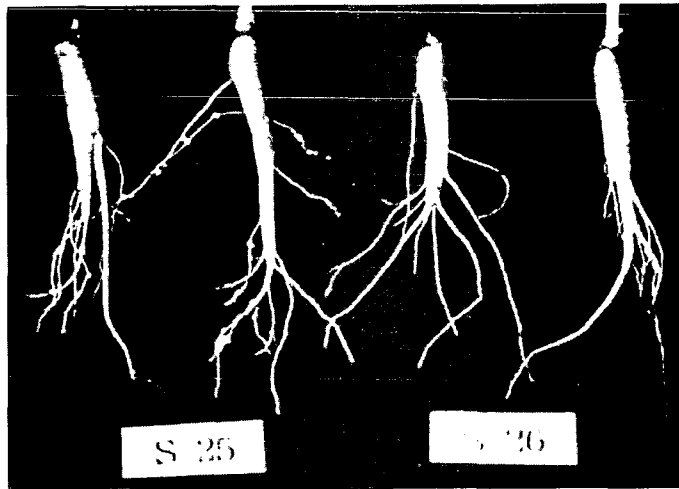
Picture 38. 예비불림 15분후 각 세척조에서 20분 세척



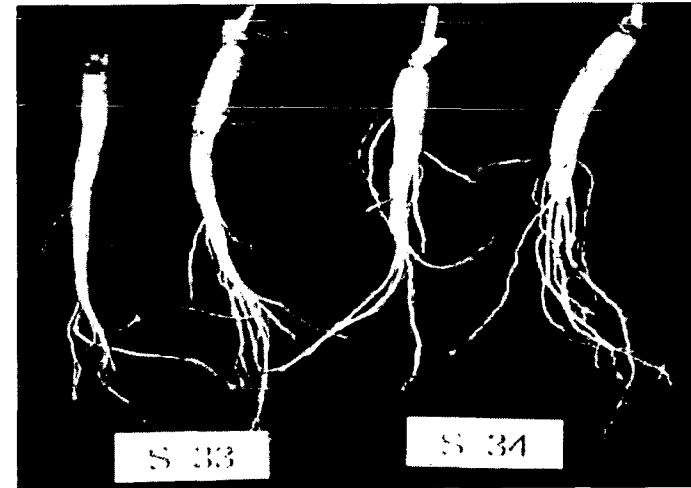
Picture 39. 예비불림 20분후 각 세척조에서 5분 세척



Picture 40. 예비불림 20분후 각 세척조에서 10분 세척



Picture 41. 예비불림 20분후 각 세척조에서 15분 세척



Picture 42. 예비불림 20분후 각 세척조에서 20분 세척