



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

양생 장치 최적설계를 위한
건조특성에 관한 연구



2007 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

기계공학부 에너지 시스템 전공

정 호 윤

공 학 석 사 학 위 논 문

양생 장치 최적설계를 위한 건조특성에 관한 연구

지도교수 이 연 원

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2007 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

기계공학부 에너지 시스템 전공

정 호 윤

정호윤의 공학석사 학위논문을

인준함

2007년 2월 23일



주 심 공학박사 김 남 식 (인)

위 원 공학박사 김 민 남 (인)

위 원 공학박사 임 우 조 (인)

목 차

Abstract

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 동향	1
1.2 연구 목적	3
제 2 장 실험장치 및 방법	4
2.1 이론적 배경	4
2.2 실험장치	13
2.3 실험방법	16
제 3 장 실험 결과 및 고찰	20
3.1 풍량의 변화에 따른 중량과 함수율의 변화	20
3.2 입구 온도 변화에 따른 중량과 함수율의 변화	28
3.3 입·출구 간격의 변화에 따른 중량과 함수율의 변화	32
3.4 내부 Heat Balance	34
제 4 장 전산수치모사	37
4.1 해석모델 및 지배방정식	37
4.2 유동장 해석 결과	48
제 5 장 결론	56
참 고 문 헌	

A Study on Drying Characteristics for Optimal Design
of Curing Equipment

Ho Yun Jung

Department of Mechanical Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Recently, we have many problems on the process of the sewage sludge. In past, the sewage sludge was treated by reclaimed land or thrown away in the sea. But these methods caused environmental pollution. Today, many researchers are studying various methods for reducing its volume. One of these method, this study is to reduce the moisture of sewage sludge and to solidify it using a dryer and curing equipment. In this research, we investigated about design parameter and operation condition of the curing equipment. The curing equipment reduces the percentage of water content from 30% of dryer to 10%.

So, we have to study the curing characteristics and performance of curing equipment. For example, there are internal flow characteristics and change of the percentage of water content. And we investigated the change of data at outlet along the initial condition, temperature, humidity and air flow. Using this data, we achieve the experimental results of curing efficiency by each geometry and operating condition. And we also investigated numerical analysis of internal flow using CFD code. This research is basic study for optimal design of curing equipment.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 동향

하수 슬러지란 통상 수중의 부유물질이 부상 또는 침전의 작용에 의해 액체에서 분리된 일종의 폐기물이며, 상수, 공업용수, 하/폐수 처리 과정과 일반산업체(식품, 제지, 제약, 분뇨, 축산 등)의 수처리 과정 및 제품생산 공정 등 발생원은 매우 다양하다. 그리고 정부의 수질개선 및 환경오염 방지를 위한 노력으로 하수처리장의 신설 및 확장 계획에 따라 하수슬러지 발생량은 향후 계속하여 늘어날 것으로 예상된다. 2002년 기준, 하수 슬러지 발생량의 7% 정도가 매립 처분되고 64%에 이르는 양이 해양 투기 되고 있어 발생량의 대부분이 단순 처리되고 있다. 현재 유기성 폐기물의 직매립이 금지되고 해양투기 경우에도 런던 협약, 환경단체의 저지활동, 정부의 억제정책 등에 따라 향후에는 점차 감소될 것으로 예상됨으로 이외의 처분방안의 검토가 필요하다. 이러한 슬러지는 약 70~80%에 해당되는 다량의 수분을 함유하고 있으며, 수처리 공정 및 화학 공정의 다양화로 인하여 유기/무기화학 폐기물 등과 더불어 발생량은 급증하고 있는 추세이다.

일반적으로 슬러지를 처리하는 방법으로는 소각, 매립, 퇴비화, 해양투기, 보관 등이 있으며, 국내의 처리현황은 대부분 매립에 의존하고 있다. 그러나 슬러지의 최종처리 단계인 매립은 처리비가 저렴하

며 대량처리가 가능하다는 장점을 지닌 반면, 광범위한 매립지의 확보곤란, 수질 및 토양오염 발생, 에너지 효율의 측면에서도 많은 문제가 발생하는 등의 문제점을 지니고 있어, 점차적으로 소각 및 재활용의 비율이 점차 증가하는 경향이다. 이 중 최근 슬러지를 이용하여 자원화 하는 방안이 활발하게 이루어지고 있다. 슬러지를 이용하여 자원화 하는 방법은 매립과 투기 등의 방법에서 발생할 수 있는 추가적인 오염을 방지할 수 있고, 소각과 열분해의 방법과 비교하여 에너지 효율 측면에서 더욱 유리하다고 할 수 있다.

이에 다량의 수분을 함유하고 있는 각종 슬러지의 경우, 보관 및 위생적으로 불안전하며, 취급하기가 어려워, 최종처리 이전 단계에서 슬러지를 건조시켜 최종처리 공정의 효율을 증가시키는 방안에 대한 연구가 광범위하게 진행되고 있다.

1.2 연구 목적

본 연구는 하수 슬러지를 자원화 하기위한 연구의 일환으로 슬러지를 건조 장치와 양생장치를 이용하여 내부 함수율을 낮춰 자원화 하는 연구 중 양생 장치의 최적화 설계와 최적의 운전 조건을 알아보는 연구이다. 이에 선행연구로서 실험용 Demo Plant를 이용하여 Pilot Plant를 설계하기 위한 데이터 값을 도출한다. 양생 장치의 경우 건조 장치에서 함수율을 약 30%까지 줄인 슬러지를 함수율을 10%대까지 낮춰 고형화 하는 장치이다. 따라서 양생 장치 내부의 유동특성 및 함수율 변화 등에 관한 양생특성을 파악해야 하며, 초기 입구에서의 온도, 습도, 풍량 등의 입구 조건에 따른 출구조건의 변화와 함수율의 변화를 파악한다. 이렇게 하여 구한 결과를 바탕으로 하여 내부 형상과 양생 장치의 가동 조건의 변화에 따른 양생 장치의 성능을 실험에 의해 측정하고, 수치해석을 통한 내부 유동특성을 파악하여 양생 장치의 내부설계 기초자료로 사용하고자 한다. 양생 장치의 양생 성능을 파악하기 위해 양생 장치에 공급되는 풍량, 입·출구 간의 간격과 온도를 변화시킴에 따라 내부의 함수율이 어떻게 변화하는지를 파악하고 입구와 출구에서의 온도와 습도 데이터를 통해서 내부에서의 증발량을 계산함으로써 양생장치 설계를 위한 지침을 마련한다.

제 2 장 실험장치 및 방법

2.1 이론적 배경

(가) 양생장치 기술개요

현재 하수슬러지처리방법 중 슬러지 고형화 처리법의 경우 생석회와 시멘트가 주성분인 고화제를 사용하여 슬러지를 고형화 후 매립장의 일일복토재로 사용되고 있는데, 기존의 슬러지 처리방법 중 에서 비교적 저렴한 비용으로 처리되고 있다. 그러나 처리과정에서 강알카리성 고화제의 사용에 따른 pH상승으로 악취발생 및 일부 중금속성분 용출농도 증가 우려와 생산된 고형물의 복토재 이외의 처분대안 곤란 등의 문제가 지적 되어 왔다. 기존의 건조방식의 경우에서는 처리후의 감량효과는 우수하나 과도한 열량소요로 인하여 운영비가 고가이고, 처리후의 건조물의 처분방안이 제한된다는 단점을 가지고 있다.

본 기술은 하수슬러지와 고화제를 혼합하여 슬러지를 입자화한 후, 강제 공기순환에 의하여 양생, 안정화(악취제거, 압축강도 증가, 중금속 용출 억제)시켜 고형물의 악취 발생 및 중금속용출 문제를 해결하면서, 양생기에 공급하는 양생용 공기는 저온의 폐열을 이용하여 공급하여 처리한다.

양생 장치는 건조 성형장치를 통과한 슬러지를 일정한 수분량을

함유하도록 함수율을 조절하는 역할을 한다. 양생 장치는 여러 개의 플레이트가 설치되어 있으며, 슬러지가 투입되는 방향과 반대 방향으로 열풍을 공급하여 슬러지 내의 수분량을 조절하는 역할을 한다. 따라서 슬러지 내에 존재하는 플레이트의 배열과 형상은 슬러지 수분량을 조절하는데 있어서 중요한 요소로 작용하게 된다. 본 연구에서는 이러한 부분에서 양생 장치의 내부 형상과 초기에 입구 조건의 변화에 따라 양생 성능이 어떻게 변하는지를 알아 볼 것이다. Fig. 2.1.1은 슬러지를 건조하여 양생 장치를 통하여 최종적으로 우리가 사용할 수 있는 자원화 된 슬러지를 생산하는 전체적인 시스템의 개략도를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 일정한 수분량을 가지는 슬러지는 건조 성형기를 통해서 내부의 함수율이 감소하여 양생 장치로 보내진다.

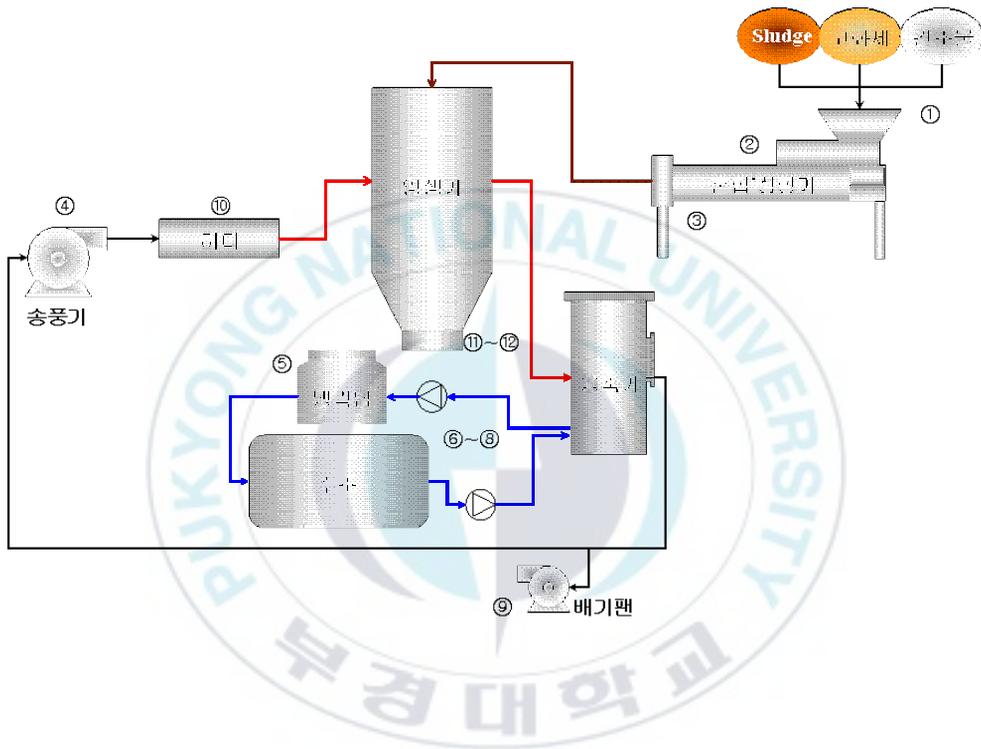


Fig. 2.1.1 Schematic diagram of drying system

(나) 제철슬래그의 고형화 반응원리

슬러지 고형화 처리법에서 사용되는 고화제는 주성분이 제철부산물인 STS 슬래그이며 생석회와 $Al_2(SO_4)_3$ 가 일부 첨가된다. 하수슬러지에 혼합된 고화제는 흡수 및 발열반응, 수화반응, 이온교환반응, 포졸란반응 등에 의하여 슬러지가 안정화되며 각 반응별 내용은 다음과 같다.

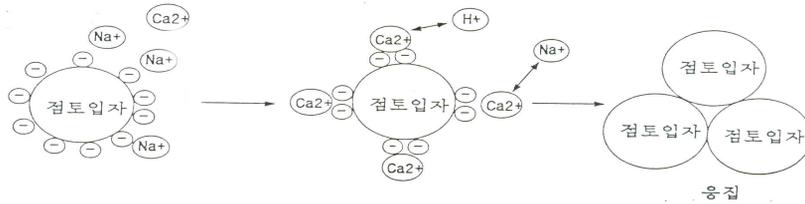
- 흡수반응과 발열반응에 의한 함수비 저하



생석회 1kg당 약 320g의 물을 흡수하고 약 280kcal의 열을 방출하여 450g의 수분을 증발시킨다.

- 이온교환반응에 의한 용출억제

슬러지중에 음이온으로 대전되어 있는 점토입자의 표면에 부착된 수소이온 (H^+), 나트륨이온 (Na^+), 칼륨이온(K^+)등과 석회 용해시 발생하는 Ca^{2+} 이 서로 이온교환 되어 점토입자 표면의 대전반발력이 감소되어 입자가 응집단립화 됨으로 비표면적이 축소되어 용출이 억제된다.



- 포졸란 반응에 의한 장기강도의 증가

슬러지 중의 슬러지 중의 점토입자와 콜로이드를 형성하고 있는 SiO_2 및 Al_2O_3 가 석회와 화학적으로 반응하여 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 및 켈레나이트수화물 ($x\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 등을 생성하는 포졸란 반응이 일어나며 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (ettringite)등이 생성되어 슬러지내의 중금속성분이 물리·화학적으로 고정되고 생산된 고형물의 강도가 증가된다.

이상의 화학적 반응에 의하여 하수슬러지는 수분이 감소되고 중금속 성분은 고형물내에서 물리·화학적으로 고정되어 용출이 억제되며 강도가 증가된다.

(다) 양생공정의 원리

본 연구에서 양생은 건조공정과 고화제에 의한 고화처리가 동시에 진행된다. 건조공정은 95°C 의 저온의 열풍을 이용하여 통기 건조 방식으로 건조가 이루어지며 투입시의 함수율을 30%로 조정한다

음 10%이하로 건조함으로써 첨가제 소요량 절감과 이에 따라 처리 후 감량효과를 높일 수 있다.

일반적으로 하수슬러지 내부의 수분 분포 형태는 Fig. 2.1.2의 슬러지내 수분 분포와 같이 Free Water, Interstitial Water, Surface Water, Bound Water 등으로 구분된다. Free Water는 슬러지 표면에 존재하고 수분 중 대부분을 차지하며, Interstitial Water는 슬러지내의 분자와 분자 사이에 존재하고, Surface Water는 슬러지 분자 표면에 막으로 되어 있으며, Bound Water는 슬러지 분자에 화학적으로 결합되어 존재하고 있다.

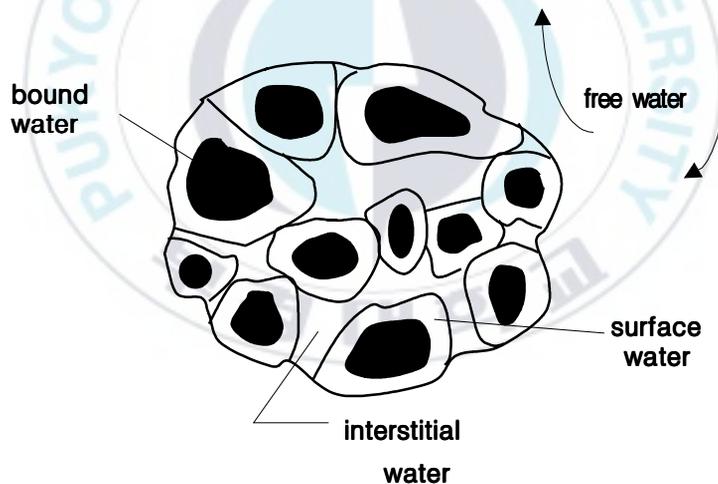


Fig. 2.1.2 Moisture distribution in sludge

일반적인 하수슬러지의 건조과정에서 건조속도곡선은 Fig. 2.1.3의 건조율 모식도 에서와 같다. A단계는 하수슬러지의 예열기간으로 함수율의 변화가 미미하며 열매체가 하수슬러지의 온도를 상승시켜 수분이 증발될 수 있는 온도까지 가열된다. B단계는 온도가 상승한 하수슬러지에서 수분이 증발되는 단계이며 시간에 따라 일정한 수분증발 속도를 보이는데 이 시기가 항률 건조단계이며, C단계는 슬러지의 함수율이 슬러지의 한계함수율에 도달하여 증발속도가 감소하게 되며 이 때가 감률건조단계이고, D단계에서는 더 이상의 함수율이 감소하지 않게 된다.

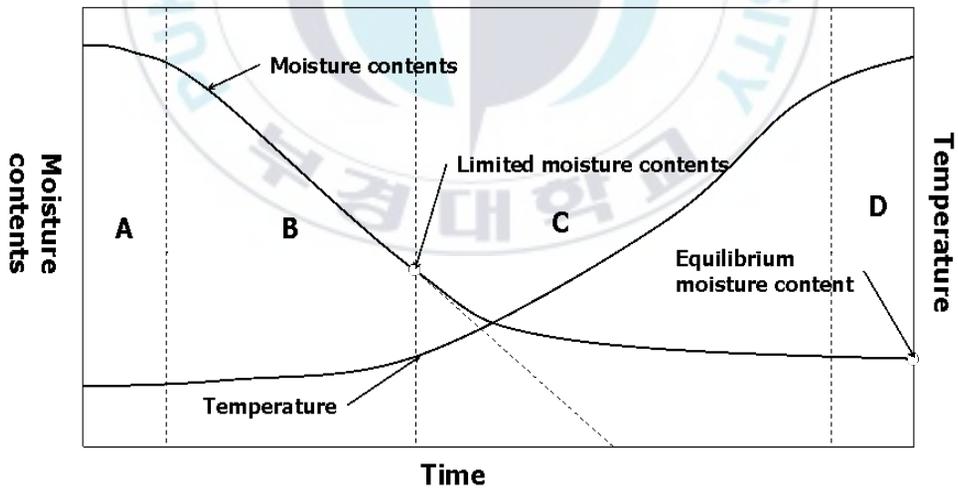


Fig. 2.1.3 A dryness factor mimetic diagram

(라) 기대효과

- 환경적 기대효과

하수슬러지를 고형화하여 강도를 부가하므로 고형화 효과에 의해 중금속 용출의 저감효과가 있으며, 처리과정에서 생석회 등의 알칼리 계통의 첨가제가 부가되어 pH가 10~12 정도를 유지하므로 사이로 저장 및 실외 야적시에도 부패되지 않는다. 또한 처리과정이 알칼리 상태에서 이루어지므로 산성계 악취는 발생 억제되며 알칼리계 악취는 양생과정에서 열에 의해 강제제거되어 처리가 용이하다.

그리고 하수슬러지의 처리과정에서 첨가제에 의한 화학반응과 부가되는 에너지에 의한 슬러지내 수분 증발로 중량감소 효과가 있다. (45~65% 중량 감소)

마지막으로 하수슬러지를 고형화하여 강도를 부가하고 악취를 감소시키므로 처리물에 혐오감이 없고 작업자 혹은 장비의 취급성이 좋다. 또한 고화물 성분 중 산성화된 토지를 복원하는 석회성분이 다량 포함되어 있어 산성화된 산림 및 도시의 조경용 수림의 토지개량제로의 활용성도 기대된다.

- 기술적 기대효과

제철부산물인 슬래그는 현재 대부분이 시멘트 원료와 비료원료 성분으로 사용되고 있으며, 본 기술에서는 이러한 슬래그 중 사용시 분쇄 등의 가공없이 직접 사용할 수 있는 Stainless steel 슬래그를 하수슬러지에 부가하여 환경에 유해한 중금속 용출, 부패, 악취발생

을 억제시키는 역할로 활용하므로 제철공정 부산물의 활용성을 증가시킬 수 있다.

기존의 소각, 건조방식에서 벗어나 재활용도에 따른 유용 성분을 하수슬러지에 첨가하여, 하수슬러지의 재활용방안을 넓힘으로써, 관련 업계에서는 저렴한 비용의 원료 확보라는 측면에서 하수슬러지 고형물에 대한 관심이 증가하여 다양한 방식의 하수슬러지 고형물 이용방안이 강구될 것으로 기대된다. 그리고 기존 과형화 처리 방식에서는 하수 슬러지와 고화제를 혼합한 다음 건축물 내에 야적하여 혼합 및 교반을 통해 양생 과정을 거쳐야 하기 때문에 비교적 넓은 부지가 소요된다. 하지만 본 연구는 사각 저장조 내에서 양생을 수행하기 때문에 시설 부지가 적게 소요되고 양생 과정 및 처리물의 취급성이 용이하다.

2.2 실험장치

아래의 Fig. 2.2.1에 본 실험의 개략도가 나타나 있다. 우선 본 실험에 사용된 장비는 파일럿 장치와 시간에 따라 중량을 측정할 수 있는 Load Cell, 그리고 열풍을 공급하기 위한 Heater 와 Blower, 입·출구 간의 차압을 측정하기 위한 차압 측정장치, 입·출구에서 온도와 습도를 측정할 수 있는 센서와 입구에서 유속을 측정할 수 있는 속도계로 구성되어 있다. 그리고 각 센서에서 측정된 데이터를 취합할 수 있는 컴퓨터를 사용하여 실험을 수행하였다. Fig. 2.2.2에 실제 양생시스템의 모습을 나타내었다.

실제 양생 장치에 사용되는 슬러지의 경우, 건조 성형장치를 거친다. 건조 성형장치를 거쳐 나온 슬러지의 함수율은 약 30%이다. 따라서 본 실험에서 사용된 슬러지의 경우 초기 함수율을 약 25%와 30%로 하여 실험을 수행하였다. 초기 함수율의 경우 양생 장치 내부의 열 및 물질 전달을 해석하는데 중요한 인자로 작용하기 때문에 실험에 앞서 양생 전의 슬러지와 양생 후의 슬러지의 함수율을 각각 측정하였다.

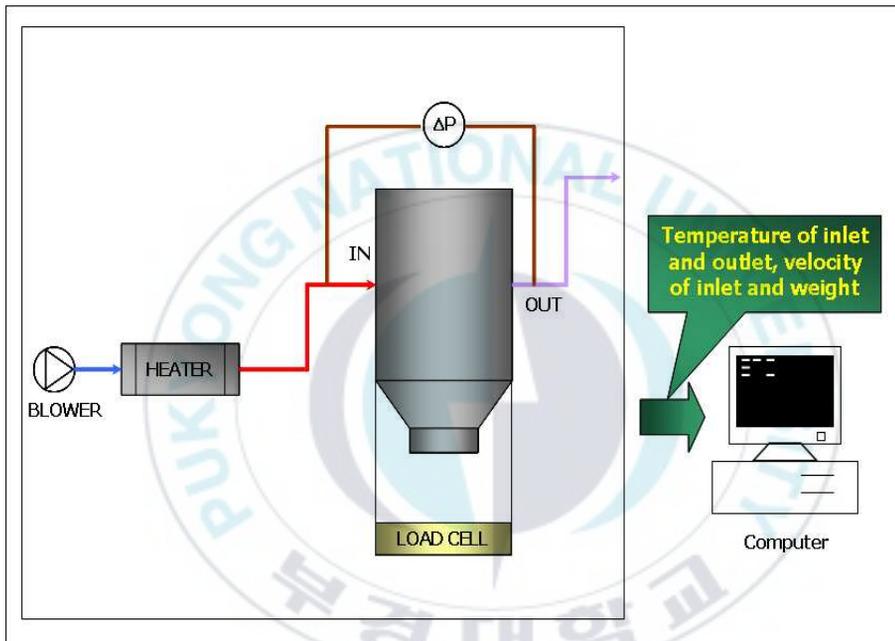


Fig. 2.2.1 Experimental system of curing equipment

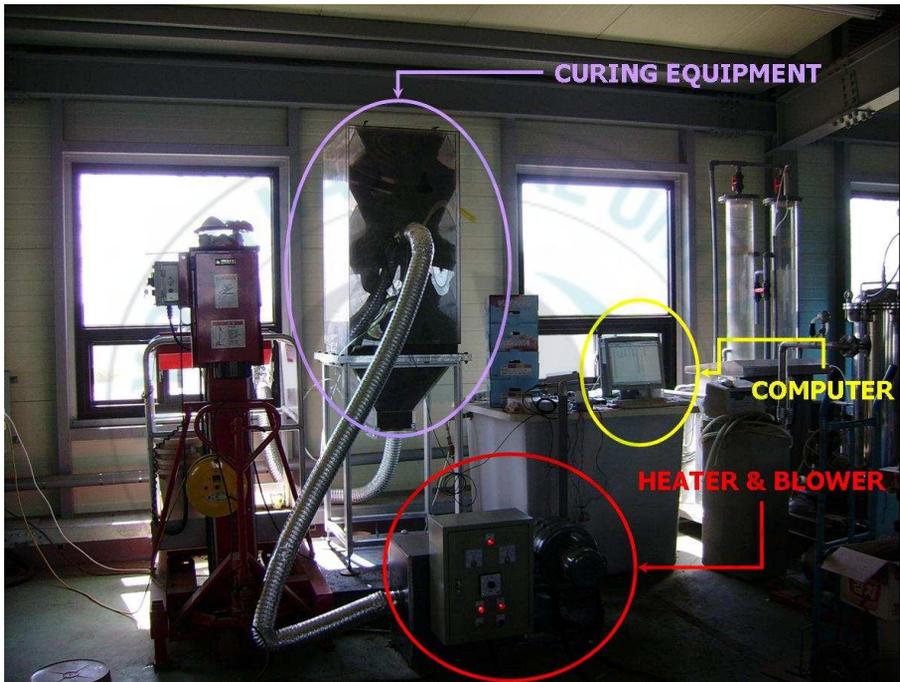


Fig. 2.2.2 Photograph of curing system

2.3 실험방법

본 실험은 초기 함수율 30%의 슬러지를 사용하여 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 함수율을 맞추기 위해 건조 슬러지와 슬러지를 혼합하여 사용하였다. 그 혼합 비율은 건조 슬러지와 슬러지의 비율은 2.35:1이 된다. 본 실험에 사용된 슬러지의 경우 이와 같은 혼합 비율로 건조 슬러지와 슬러지를 혼합하였다.

양생 장치에 온풍을 공급하기 위해 사용되는 장치는 Fig. 2.1.2 (e)에 나타나 있는 송풍기와 히터이다. 3.6 m³/min, 4.3 m³/min, 5.0 m³/min, 5.7 m³/min 그리고 6.4 m³/min의 풍량을 사용하였다. 풍량의 경우 실제 양생 과정에서 중요한 요소이기 때문에 다양한 경우에 대해서 실험을 수행하였다. 온도의 경우 양생 장치의 입구에 유입되는 온도를 기준온도를 설정하였다. 실제 공급되는 공기의 온도는 본 실험에서 68.5 °C, 75 °C 그리고 81.5 °C의 세 가지 케이스에 대해서 실험을 수행하였다. 또한 입·출구간의 간격을 100 mm, 200 mm, 300 mm로 변경하였다. 입구와 출구의 간격은 200 mm를 기본형으로 하였고, 기본형에서 간격을 줄이거나 늘리면서 실험을 수행하였다. 100 mm와 200 mm의 경우에는 실험 장치 내부에 입구와 출구가 3세트가 있지만 300 mm의 경우는 두 세트가 있다. 각 케이스에 대해서 내부에 슬러지를 충전할 수 있는 체적은 100 mm일 때, 0.165 m³, 200 mm일 때 0.351 m³이고 300 mm일 때, 0.346 m³이다. 내부의 체적은 입출구 간격이 200 mm와 300 mm일 때 내부 체적이 비슷하고, 100 mm일 때는 내부의 체적이 급격히 감소하는 것을 알 수 있

다.

풍량을 변화 시킨 본 실험에서 정확한 풍량의 측정은 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 아래의 Fig. 2.3.1에 나타난 바와 같이 양생 장치의 입구 부분에 유속계를 설치하여 양생 장치의 입구로 유입되는 풍량을 측정하였다. 이러한 경우 관의 중심 부분에서의 풍량을 측정하였다.



Fig. 2.3.1 Photograph of hydrometer and manometer at entrance of curing system

관의 입구에서의 측정된 유속과 연속방정식을 이용하여 풍량을 계산한 결과는 Table 2.3.1에 나타난 것과 같다. 가장 아래에 있는 풍량 $10.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 은 송풍기의 최대 풍량을 나타낸다. 실제 풍속의 경우 시간에 따라 변화하기 때문에 정확한 풍량을 맞춰야 한다.

양생 장치의 성능을 확인하기 위해서 양생 장치의 출구에서의 온도와 습도는 중요한 결과이다. 이를 측정하기 위해서 본 연구에서는 출구 부분에 온 습도계를 설치하여 시간에 따른 온도와 습도를 측정하였다. Fig. 2.3.2는 실험 장치에 부착된 온도계와 습도계를 나타낸다. 이는 차후에 양생 장치에서 빠져나가는 수분량을 측정하는데 사용한다.

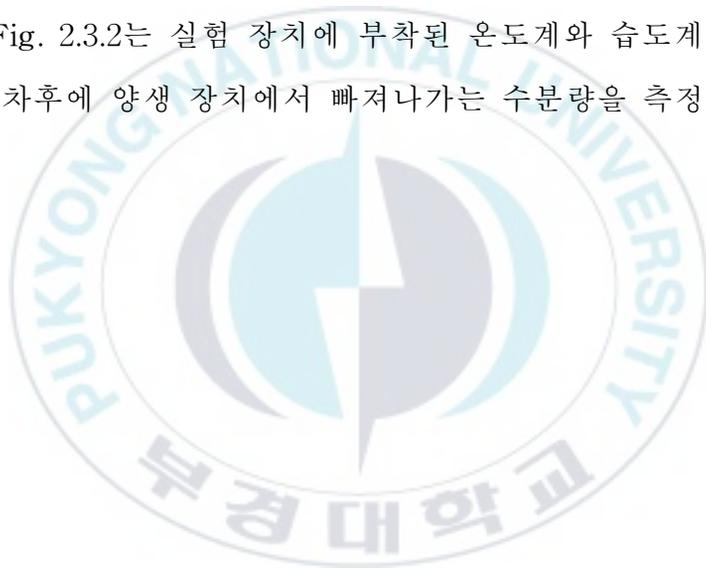


Table 2.3.1 Flow rate magnitude according to velocity

Velocity of inlet (m/s)	Flow rate (m ³ /min)
9.43	3.6
11.26	4.3
13.09	5.0
14.93	5.7
16.77	6.4
26.72	10.2



Fig. 2.3.2 Photograph of measuring instrument at exit of system

제 3 장 실험 결과 및 고찰

3.1 풍량의 변화에 따른 중량과 함수율의 변화

양생 장치의 성능을 결정하는 요소 중 가장 중요한 요소가 시간에 따른 증발량의 변화이다. 이를 확인 할 수 있는 방법 중 하나가 시간에 따라 변하는 양생 장치의 중량을 체크하는 것이다. 본 연구에서는 입구 풍량의 변화에 따라 증발량이 어떻게 변하는지를 관찰하기 위해 입구의 풍량을 3.6 m³/min, 4.3 m³/min, 5.0 m³/min, 5.7 m³/min 그리고 6.4 m³/min의 경우에 대해서 실험을 실시하였다. 중량 변화의 경우 20분 간격으로 측정을 하였고, 측정의 오차는 ±1 kg 이다.

초기 함수율은 30%의 함수율을 가지는 슬러지를 사용하였고, 이때 온도는 양생 장치로 유입되는 온도를 기준으로 하여 68.5 °C를 사용하였다. Fig. 3.1.1에 시간에 따라 양생 장치의 중량이 어떻게 변화 하는지를 측정한 결과를 나타내었다. 중량의 측정은 양생 장치 하부에 약 45 kg의 건조 슬러지를 넣고, 측정한 후 그 무게를 0.0 kg 으로 설정을 하였다. 이후 실험을 위해 30%의 함수율을 가지는 슬러지를 채우고 무게를 측정하여 그 변화를 시간에 따라 관찰하였다.

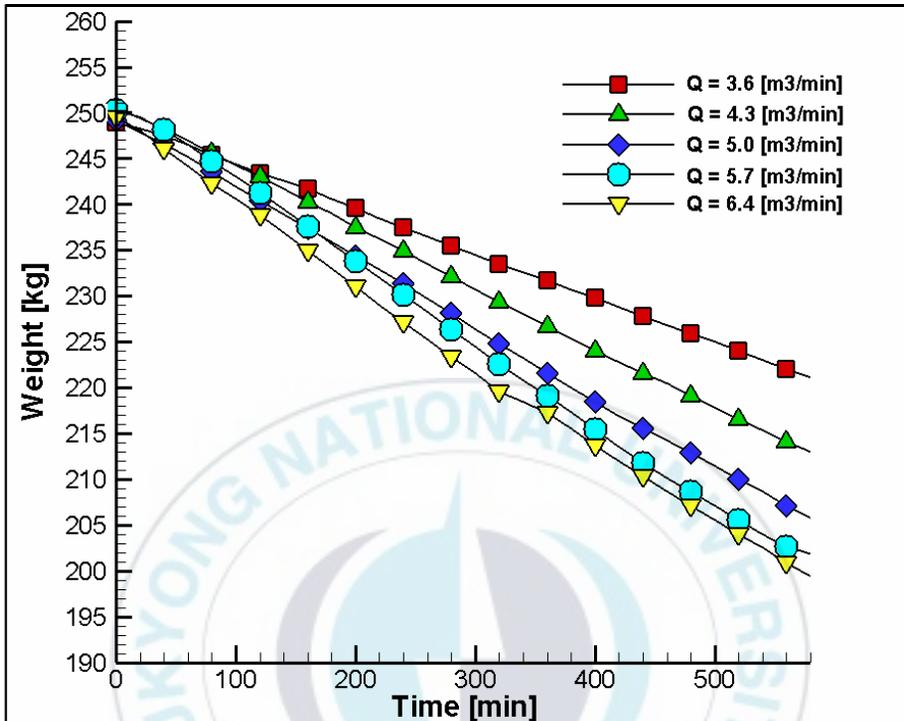


Fig. 3.1.1 Weight variation along the each flow rate

Fig. 3.1.1의 결과에서 알 수 있듯이 시간이 지남에 따라 양생 장치의 중량은 거의 선형적으로 변하는 것을 알 수 있다. 각 경우에 대해 선형 보간법을 사용하여 Table 3.1.1와 같이 구할 수 있다. 각 식에서 기울기는 각 풍량에서의 중량 감소율을 나타낸다. Table 3.1.1에서 알 수 있듯이 풍량이 증가할수록 그래프의 기울기가 급격하게 변하는 것을 알 수 있다.

또한 풍량이 증가함에 따라 그 증발량 또한 증가하는 것을 알 수

있다. 하지만 풍량이 $5.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 이상에서는 풍량 증가에 따른 건조량은 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 풍량의 증가에 따라 어느정도의 한계점이 있음을 나타내는 것이다.

본 연구에서 가장 중요한 실험결과인 시간에 따른 중량의 변화는 풍량이 증가함에 따라 증발량이 더 증가한다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 Table 3.1.2에 나타내었다. 또한 초기 풍량이 $0.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 씩 증가하지만 중량의 증가량은 줄어드는 것을 알 수 있다. 특히 $6.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 와 $5.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 를 비교하면 풍량이 충분히 증가했지만 중량의 감소량은 0.06 kg 이다. 이 결과를 토대로 적절한 풍량을 결정함으로써 양생 장치의 효율적인 구동이 가능하다.

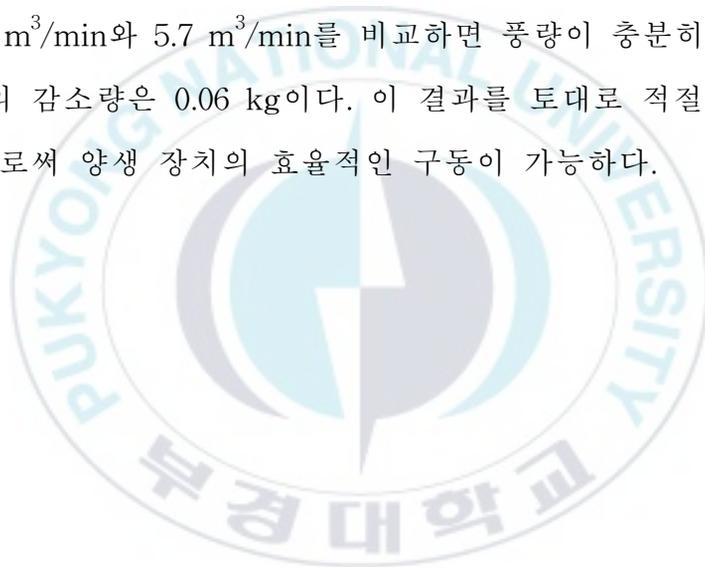


Table 3.1.1 Linear interpolation equation of weight along the various flow rate

풍량 (m ³ /min)	선형 보간 식
3.6	$Y = -0.94x + 249.8$
4.3	$Y = -1.25X + 251.5$
5.0	$Y = -1.45X + 250.7$
5.7	$Y = -1.61X + 251.6$
6.4	$Y = -1.67X + 257.5$

Table 3.1.2 Mean weight for each flow rate

풍량 (m ³ /min)	중량의 평균 변화량 (kg)	편차 (kg)
3.6	0.93	0
4.3	1.25	0.86
5.0	1.50	0.25
5.7	1.67	0.17
6.4	1.73	0.06

본 연구에서 사용한 슬러지는 건조 성형장치를 거친 상태로 가정하여 실험을 수행하였기 때문에 초기 함수율을 30%로 하여 실험을 수행하였다. 최종적으로 자원화가 가능한 10% 내외의 함수율을 갖는 건조 슬러지를 만드는 것을 목표로 하기 때문에 함수율이 10% 정도가 될 때까지 실험을 수행하였다. 실험 결과 함수율 역시 중량변화와 유사하게 선형적으로 감소하는 것을 확인하였다. 다만, 시간이 경과함에 따라 함수율이 초기에 비해 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 이것은 증발량의 경우 시간이 경과함에 따라 큰 변화가 없지만 슬러지 내부에 포함되어 있는 수분의 양은 시간에 따라 점점 감소하기 때문에 이러한 현상이 발생하는 것으로 사료된다.

또한 앞의 풍량에 따른 중량 변화의 결과와 마찬가지로 풍량이 증가할수록 함수율의 감소폭이 줄어든다. 풍량 $5.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 와 $6.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 에서는 함수율도 비슷하게 감소한다. 즉, 실제 양생 장치를 운전할 때 풍량의 선택에 있어서 $5.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 가 풍량 $6.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 보다 경제적인임을 알 수 있다.

Fig. 3.1.2에 시간에 대한 함수율의 변화를 나타내고 있다. Fig. 3.1.2는 풍량이 $3.6 \text{ m}^3/\text{min}$, $4.3 \text{ m}^3/\text{min}$, $5.0 \text{ m}^3/\text{min}$, $5.7 \text{ m}^3/\text{min}$, $6.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 일 경우에 대해서 동일한 시간(580분)까지의 결과를 비교한 것이다. 하지만 실제 양생에 소요된 시간과 580분 일 때의 함수율은 Table 3.1.3에 나타나 있다. 특징적으로 양생에 소요된 시간 역시 풍량이 증가할수록 감소폭이 적어짐을 알 수 있다.

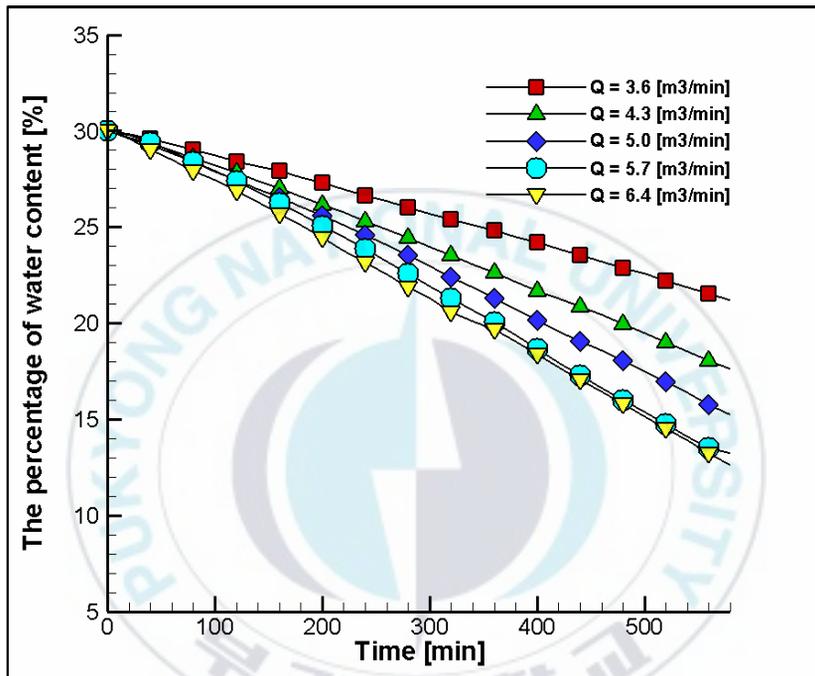


Fig. 3.1.2 Change of the percentage of water content along the flow rate and time

Table 3.1.3 The necessary time of recuperation and the percentage of water contents after 580 min

풍량 (m ³ /min)	함수율 10%까지소요 시간 (min)	580분 후의 함수율 (%)
3.6	1000	21.20
4.3	780	17.64
5.0	660	15.24
5.7	620	13.22
6.4	600	12.59

본 연구에서 입·출구 사이의 차압은 U자 마노미터 관을 이용하여 측정하였고, 내부에 사용된 유체는 물로 하였다. 즉 차압은 mmAq의 단위로 측정되었다. Fig. 3.1.3에 U자 마노미터 관을 이용하여 측정된 풍량의 변화에 따른 입구와 출구에서의 차압이 나타나 있다. 차압의 경우 풍량이 증가할수록 차압이 커지는 것을 알 수 있다. 또한 일정한 풍량에 대해서는 큰 변화가 없이 거의 일정한 차압을 가지는 것으로 나타나 있다.

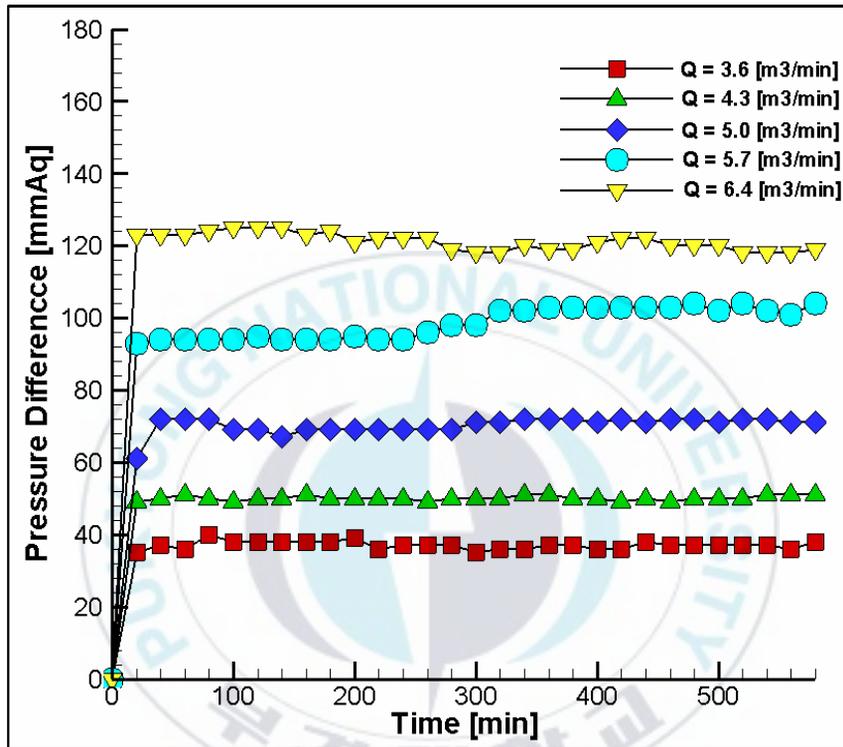


Fig. 3.1.3 Pressure drop of inlet and outlet according to various flow rate and time

3.2 입구 온도 변화에 따른 중량과 함수율의 변화

양생 장치의 실험에서 입구 온도는 공급되는 열량을 결정하기 때문에 중요한 결과이다. 본 연구에서는 입구의 온도 (Heater에서 설정한 온도가 아니고 양생장치로 들어가는 온도를 기준으로 함)를 68.5 °C, 75.0 °C, 81.5 °C로 하여 실험을 수행하였다. 입구 온도의 경우 Heater에서 양생 장치까지 이어진 관에서 열 손실이 있을 수 있기 때문에 이 부분에서의 손실에 영향을 받지 않도록 하였다.

Fig. 3.2.1과 Fig. 3.2.2에 입구 온도의 변화에 따라 중량이 어떻게 변화하는지와 실제 각 시간별로 증발량이 어떻게 나타나는지를 나타내고 있다. 아래의 결과에서 알 수 있듯이 온도의 변화에 따라 중량의 변화가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 하지만 입구의 온도가 81.5 °C일 때, 다른 경우와 비교해 볼 때 조금 더 증발하는 것을 알 수 있다. 이를 통해서 온도가 양생 장치의 효율에 어느정도 영향을 주지만 본 연구에서 일반적으로 열량, 특히 현열의 경우 온도가 증가하면 열량 또한 증가하기 때문에 온도에 영향이 없다고는 할 수 없다. 하지만 사용된 온도차는 그러한 영향을 나타내기에 부족하다고 사료된다. 온도가 이보다 더 높을 경우 보다 증발량이 증가할 것으로 생각된다.

또한 Fig. 3.2.3에 온도의 변화에 따른 내부 함수율의 변화를 나타내고 있다. 이 경우에도 온도 68.5 °C와 75.0 °C일 때의 차이는 거의 없었지만 온도가 81.5 °C일 때, 다른 두 경우에 비해 함수율이 조금 더 감소하는 것을 알 수 있었다.

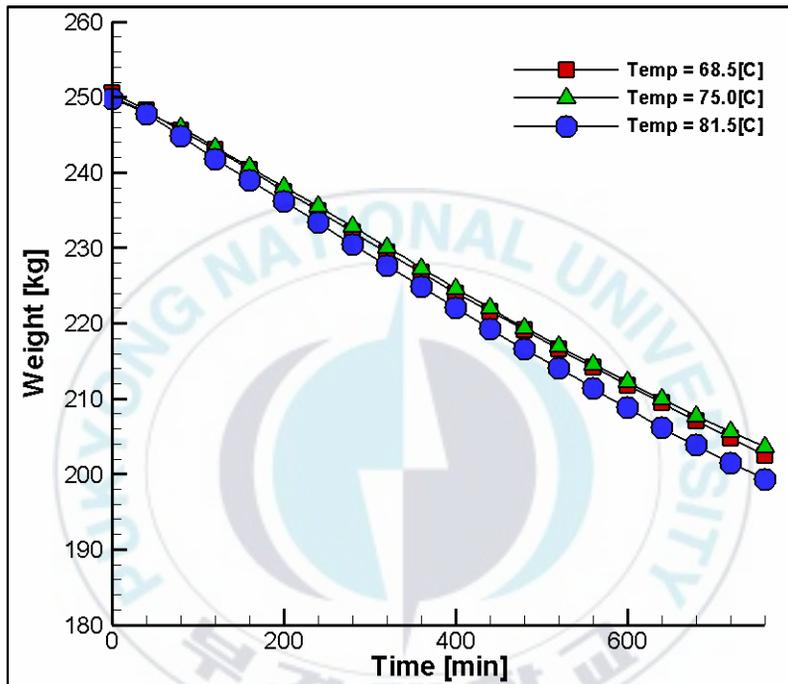


Fig. 3.2.1 Weight distribution along the temperature of inlet and time

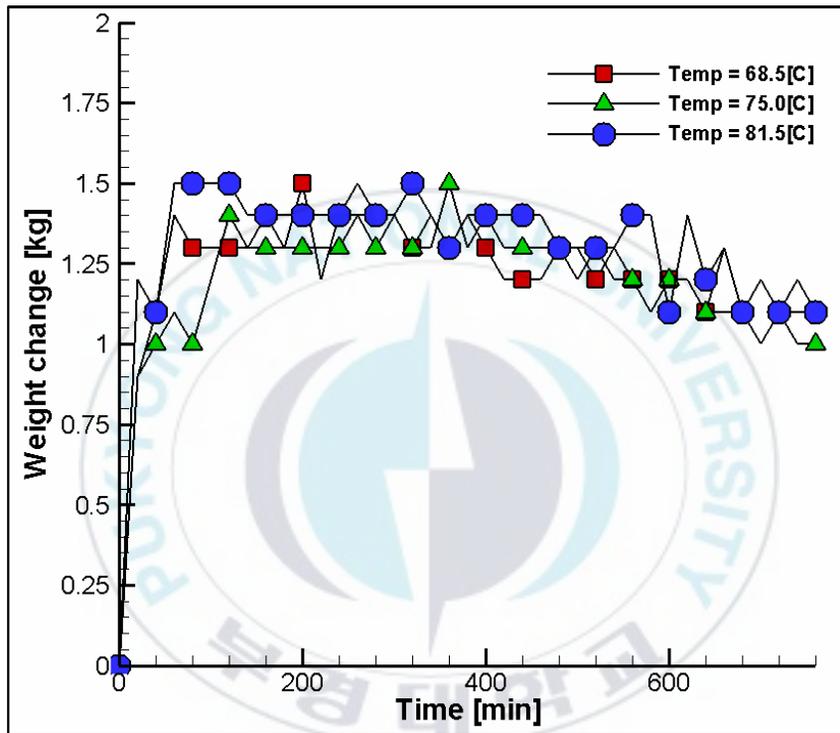


Fig. 3.2.2 Evaporation loss distribution along the various temperature of inlet

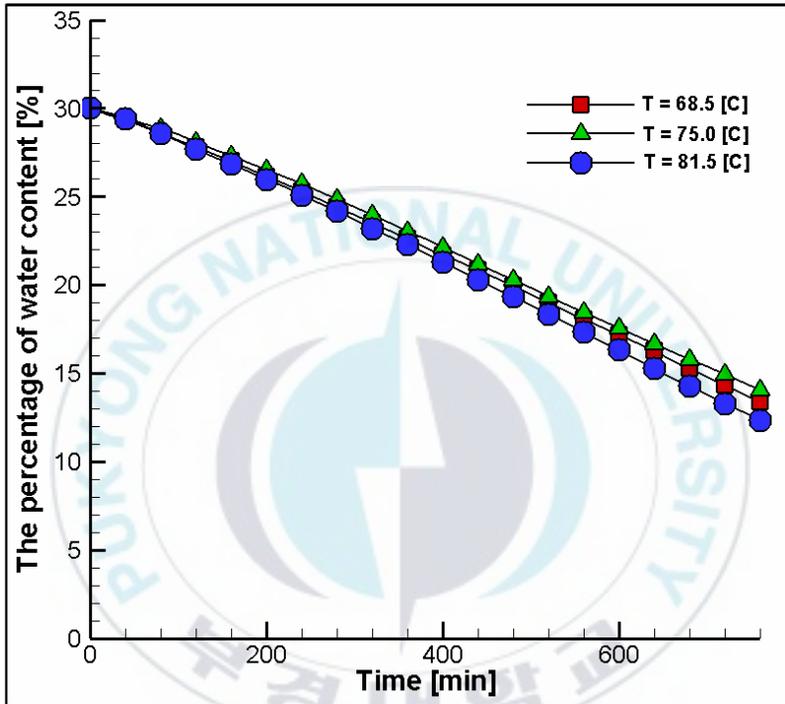


Fig. 3.2.3 The percentage of water content distribution along the inlet temperature

3.3 입·출구 간격의 변화에 따른 중량과 함수율의 변화

Fig. 3.3.1에 입구와 출구사이의 거리 변화에 따른 증발량을 나타내고 있다. 이 경우 풍량은 $4.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 이고 양생 장치의 입구 온도는 $75.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 설정하여 실험을 수행하였다. Fig. 3.3.1에 나타나 있는 A, B, C type은 입구와 출구사이의 거리가 각각 200 mm, 300 mm, 100 mm를 나타낸다. 각 type에 대해서 내부에 슬러지를 충전할 수 있는 체적은 A type일 때 0.351 m^3 , B type일 때 0.346 m^3 이고, C type일 때 0.165 m^3 으로 각 type에 따라서 내부의 체적이 달라지는 것을 알 수 있다. 또한 A type과 B type의 경우 내부의 체적이 비슷하지만 C type의 경우 다른 type에 비해 적은 체적을 가진다. 따라서 입출구 간격의 변화에 따른 중량감소의 경우 초기에 들어갈 수 있는 슬러지의 양이 다르기 때문에 전체적인 중량의 변화는 표시하지 않았고, 시간에 따른 증발되는 수분의 양에 대해 데이터를 정리하였다.

Fig. 3.3.1에서 나타난 바와 같이 입·출구 간격에 따라 증발량의 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 입·출구의 간격은 내부의 유동에 많은 영향을 미쳐, 양생 효율을 결정하는데 많은 영향을 미칠 것으로 예상하였지만 실제 양생 효율에는 큰 영향을 미치지 않았다.

Table 3.3.1에 입·출구 간격의 변화에 따른 양생 장치의 성능을 보여주고 있다. 실험 결과 각 Type에 따라 양생 성능의 차이는 크게

없는 것을 알 수 있지만 그 중에서 기본형인 Type A의 경우에 증발량이 가장 많은 것을 알 수 있다.

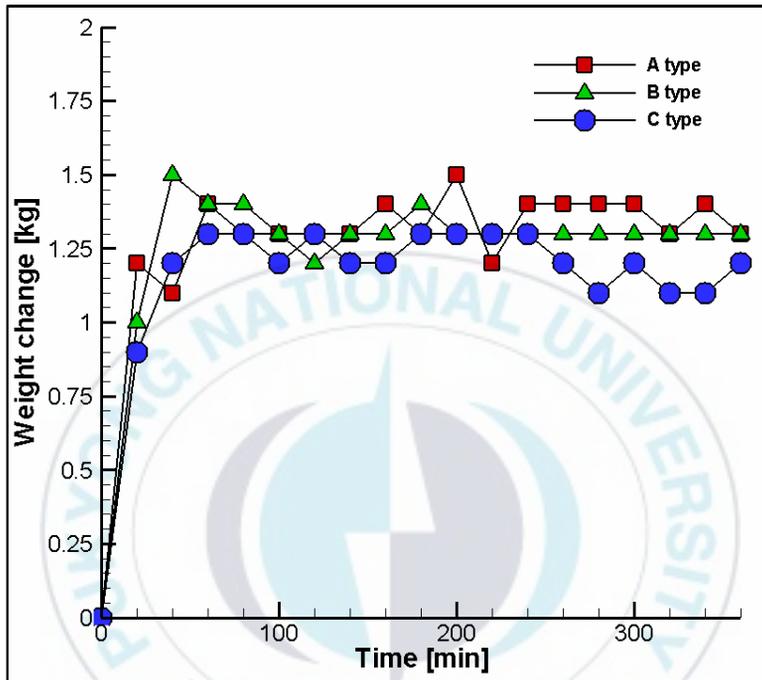


Fig. 3.3.1 Evaporation loss distribution along the each type

Table 3.3.1 Mean evaporation loss along the each type

Type	평균 증발량 (kg)
Type A	1.21
Type B	1.20
Type C	1.14

3.4 내부 Heat Balance

양생 장치 내부의 Heat balance는 실제 양생에 사용된 열량이 얼마인지를 추정해 볼 수 있는 자료로 차후 설계를 위해서 중요한 자료로 사용된다. 본 연구에서는 풍량 4.3 m³/min의 경우에 대해서 내부의 Heat balance를 계산하는 과정을 기술한다.

초기 공급되는 외기의 상태를 정확하게 알아야 한다. 외기의 경우 건조공기와 수증기의 혼합상태로 생각할 수 있다. 따라서 외기의 엔탈피(Enthalpy)를 구해야 한다. 다음은 습공기 (건조공기와 수증기가 혼합된 상태)의 엔탈피를 구하는 식이다.

$$h = C_p \cdot t + (\alpha + C_x \cdot t)x \quad (3.4.1)$$

t : 습증기의 온도 (°C)

x : 습증기의 절대습도 (kg/kg')

α : 0°C의 수증기 증발잠열 (kcal/kg)= 597.3

C_x : 수증기의 정압비열 (kcal/kg°C)= 0.44

C_p : 건조공기의 정압비열 (kcal/kg°C)= 0.24

외기의 평균 온도는 13.2 °C이고, 평균 상대습도는 68%이다. 다음의 조건을 통해서 구한 외기의 엔탈피는 7.02 kcal/kg이다. 공급되는 풍량은 4.3 m³/min로 시간당 258 m³/hr= 334 kg/hr이다. 이 때 공급되는 외기의 엔탈피는 2348.5 kcal/kg이 된다.

실험에서 외기는 송풍기를 지나게 된다 송풍기의 경우 외기의 엔탈피에 추가적으로 더해지는 부분은 없다. 송풍기를 지난 습공기는 Heater를 지나게 된다. Heater에서의 공급 열량은 Heater 전 후 공기의 엔탈피의 차이로 생각할 수 있다. Heater 공급 전의 공기는 외기와 같은 상태이고, Heater를 지난 공기는 온도는 상승하지만 절대 습도는 변하지 않는다. 따라서 식 (3.4.1)을 이용하여 Heater를 지난 후의 공기 엔탈피를 구할 수 있다. 이 때 Heater를 지난 공기의 온도는 양생장치 입구에서 구한 $68.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이다. 이 값을 사용하여 구한 공기의 엔탈피는 6838 kcal/hr 가 되고, Heater에서 공급된 열량은 4489 kcal/kg 이 된다. 이 값은 5.22 kW 이다. 이 공기는 양생 장치로 공급되는 열원이 된다.

양생 장치 내부에서는 고온의 공기는 슬러지가 함유하고 있는 수분을 증발시킨다. 내부에서 증발에 필요한 열량을 계산하기 위해 출구 부분의 엔탈피를 구해야 한다. 앞에서 구한 식 (3.4.1)에서 출구 부분의 엔탈피를 구하면 5558 kcal/hr 이다. 즉 입구와 출구의 엔탈피 차이는 약 1280 kcal/hr 의 차이가 난다. 이 중 일부분의 열량은 양생 장치 벽면을 통해 방출되거나 장치의 틈새로 배출된다. 이 방출되는 열량은 입구에서 들어오는 열량의 9%로 하면 약 615 kcal/hr 의 열량이 사용된다는 것을 알 수 있다. 또한 양생 장치 내에서 물 1 kg 을 증발시키기 위한 열량은 175.6 kcal/kg 이었다. Table 2.3.5에 각 풍량에 대해서 물 1 kg 을 증발 시키는데 필요한 열량이 나타나 있다. 이 값은 양생 장치의 성능을 결정할 수 있는 중요한 요소이다. Table

3.4.1을 통해서 구한 결과 가장 좋은 효율을 나타내는 풍량은 5.7 m³/min일 때이다. 풍량이 6.4 m³/min의 경우 충분한 풍량이 공급되고, 실제 증발되는 양은 5.7 m³/min의 경우보다 많았지만 효율적인 측면에서 풍량이 5.7 m³/min의 경우가 본 연구에서 최적의 조건으로 판단할 수 있다. 4.3, 5.0, 6.4 m³/min의 풍량에서는 물 1 kg을 증발시키는데 필요한 열량이 비슷하게 나타났다. 이는 풍량이 클 경우 많은 열량을 공급할 수 있어 증발량은 증가하지만 효율적인 측면에서는 큰 차이가 없음을 보여준다.

Table 3.4.1 The calorie required per evaporation of 1 kg water

풍량 (m ³ /min)	물 1 kg을 증발시키는데 필요한 열량 (kcal/kg)
3.6	720.1
4.3	739.9
5.0	173.1
5.7	151.2
6.4	170.1

제 4 장 전산수치모사

4.1 해석모델 및 지배방정식

(가) 해석모델

본 연구에서 내부 유동장의 경우 실험적인 방법으로 해석하기에는 무리가 있어서, 수치해석적 방법을 사용하여 양생 장치 내부의 유동특성을 파악하였다. 전산수치모사에 사용된 해석 모델은 실험에 사용된 3가지 타입의 Demo Plant에 대해 수치해석을 실시하였다. Demo Plant는 실제 양생 장치인 Pilot Plant의 설계를 위한 예비단계의 모델로서 각종 양생 특성을 파악하기 위해 만든 실험 모델이다. Fig. 4.1.1에 수치해석에 사용된 3가지 타입의 해석 모델의 정면도를 나타내었다. Fig. 4.1.1은 실제 양생 장치중에서 내부유동을 해석하기 위해 필요한 부분을 계산영역으로 하였다. Fig. 4.1.2는 각 타입에서의 입·출구 조건을 나타낸다. Type A의 경우는 입·출구 간격 200 mm, 입구 개수 6개, 출구 개수 9개이고, Type B는 입·출구 간격 300 mm, 입구 개수 4개, 출구 개수 6개이다. 마지막으로 Type C의 경우는 입·출구 간격 100 mm, 입구 개수 6개, 출구 개수 9인 경우에 대해 해석을 실시하였다.

Type A, B, C의 모델에 실험조건인 $4.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 풍량을 입구조건으로 하여 내부 유동장을 조사하였다. 양생 장치 내부에 들어 있

는 슬러지는 유동장에 저항으로 작용한다. 이를 계산하기 위해 양생 장치 내부를 Porous media(다공성 매질)로 처리하여 슬러지에 의한 저항효과를 계산하였다.

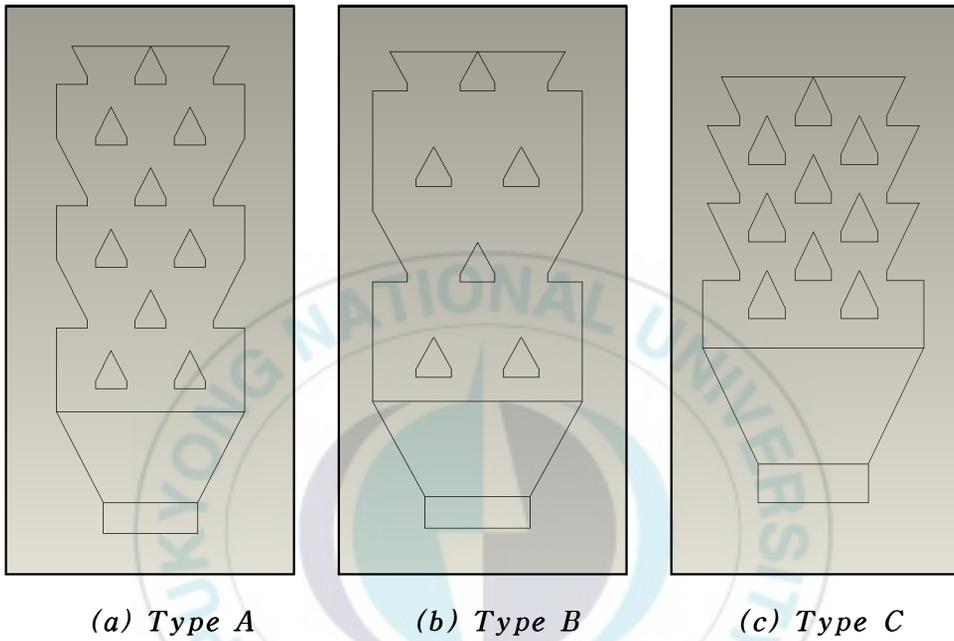
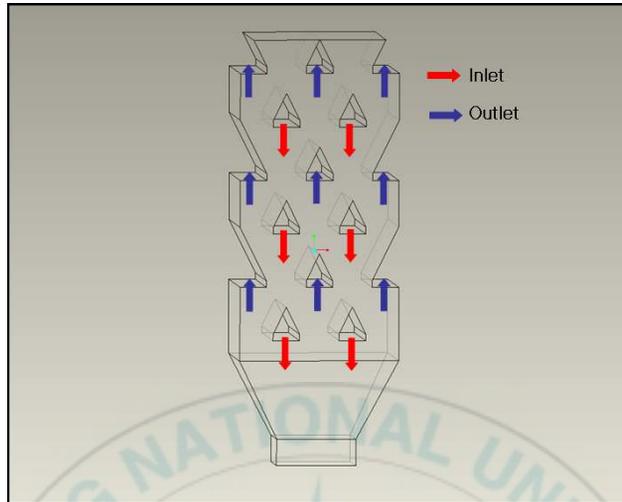
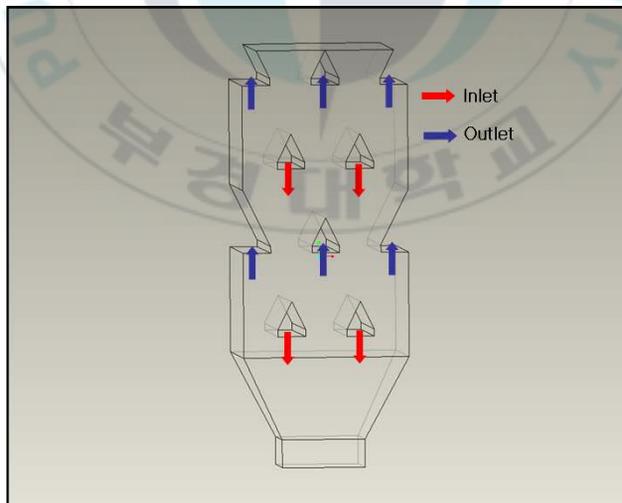


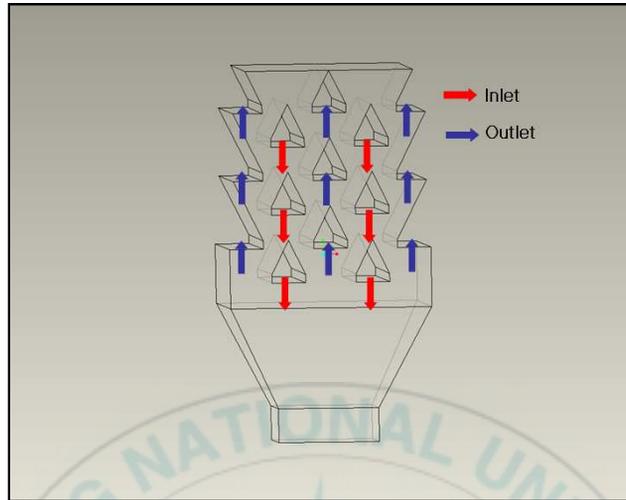
Fig. 4.1.1 A front view of the curing equipment



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

Fig. 4.1.2 Computational domain of each type of curing equipment

(나) 격자 생성

먼저 CAD를 이용, Type A, B, C의 형상을 유동장 해석에 필요한 부분만을 선택해 3-D Modeling 하였다. 격자는 ICEM-CFD를 이용 3-D Model 내부에 육면체 격자를 형성하였다. 육면체 격자는 사면체 격자에 비해 격자의 질을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 격자수를 줄임으로써 계산을 수행하는 컴퓨터의 Resource 사용량을 줄일 수 있는 장점이 있다. Fig. 4.1.3에 수치모사에 사용된 Type A, B, C 모델의 격자를 나타내고 있다.

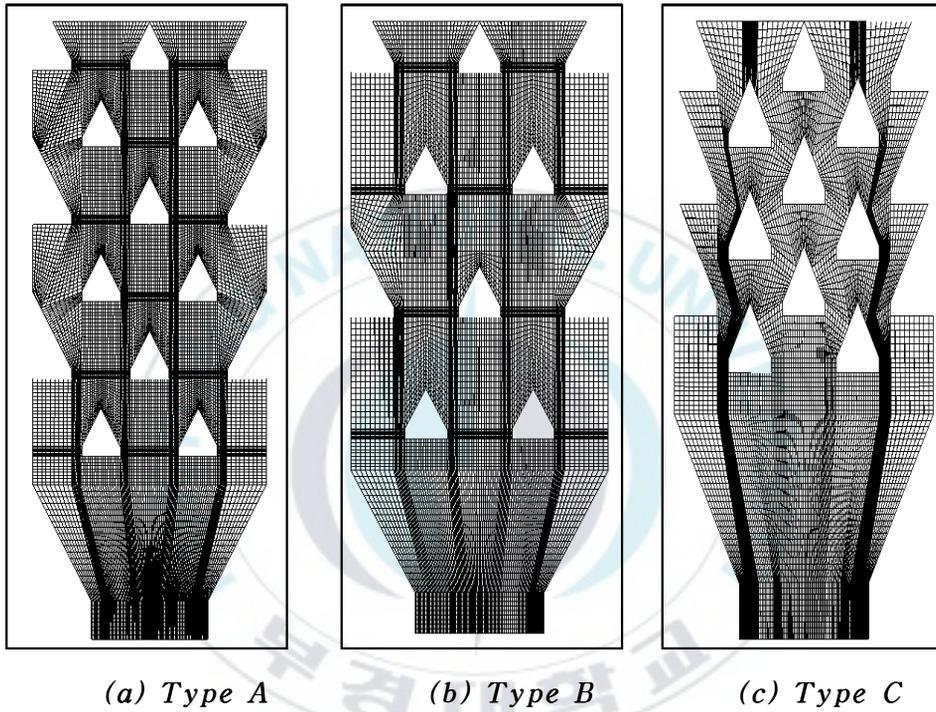


Fig. 4.1.3 Grid generation of each Type

(다) 기초 방정식

일반적으로 유동의 특성을 나타내는 Reynolds 수가 크고, 유동이 넓은 영역에 걸쳐 큰 성분의 유동과 작은 성분의 유동이 혼재하는 경우를 난류 유동이라고 한다. 이러한 현상은 유동의 비선형적 특성 때문에 발생하게 되는데, 이러한 경우 난류 유동은 밀도변화를 고려할 필요가 없을 때, 다시 말해서, 비압축성 유체유동의 연속방정식과 운동량보존방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

연속방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4.1.1)$$

운동량방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (4.1.2)$$

여기서, u_i 는 각 성분의 속도벡터를 나타내고, p 는 압력항을, ν 는 동점성계수를 나타낸다.

(라) 지배방정식

1. Reynolds시간 평균

일반적으로 모든 난류 성분은 시간 평균된 항과 난동성분으로 구성되는 것으로 알려져 있다. 이는 곧, 모든 난류유동에서의 변수는 시간평균 성분과 난동성분의 중첩으로 생각할 수 있다. 따라서 각 난류성분 f 는 아래의 (4.1.3)에서와 같이 시간 평균항인 \bar{f} 와 난동 성분 f' 으로 표현될 수 있다.

$$f = \bar{f} + f' \quad (4.1.3)$$

임의의 위치 r 에서 $f(r, t)$ 의 시간평균은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\bar{f}(r, t) = \frac{1}{T} \int_0^T f(r, t + \tau) d\tau \quad (4.1.4)$$

여기서, T 는 T 에 영향을 받지 않을 정도의 무한한 시간이며, 식 (4.1.3)을 식(4.1.4)에 대입하면, 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}\bar{f}(r, t) &= \frac{1}{T} \int_0^T \bar{f}(r, t + \tau) + f'(r, t + \tau) d\tau \\ &= \bar{f}(r, t) + \frac{1}{T} \int_0^T f'(r, t + \tau) d\tau\end{aligned}\tag{4.1.5}$$

그리고 난동성분 f' 에 대한 시간평균값은 다음과 같이 정의한다.

$$\overline{f'}(r, t) = \frac{1}{T} \int_0^T f'(r, t + \tau) d\tau = 0\tag{4.1.6}$$

연속 방정식과 운동량 방정식을 시간 평균하여 전개하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0\tag{4.1.7}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u'_i u'_j} \right)\tag{4.1.8}$$

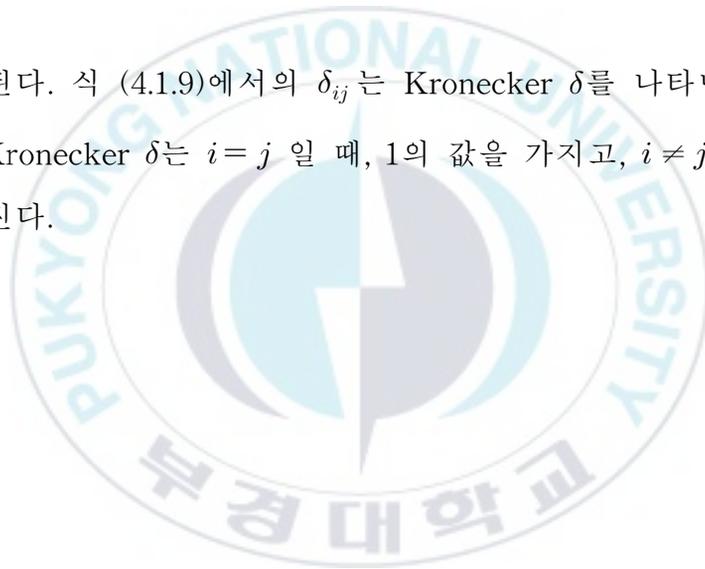
결국 운동량방정식에서 Reynolds stress라고 불리는 새로운 항 $-\overline{u'_i u'_j}$ 가 생성된다. 이 Reynolds stress는 Boussinesq의 가정에 의하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}\tag{4.1.9}$$

여기서, μ_t 는 난류점성계수(turbulent eddy viscosity)를 나타내며, 이 난류점성계수를 푸는데 있어서 다양한 난류모델들이 사용되어진다. 이때 k 는 난류에너지를 나타내며,

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u_1'^2} + \overline{u_2'^2} + \overline{u_3'^2}) \quad (4.1.10)$$

로 정의된다. 식 (4.1.9)에서의 δ_{ij} 는 Kronecker δ 를 나타낸다. 일반적으로 Kronecker δ 는 $i=j$ 일 때, 1의 값을 가지고, $i \neq j$ 일 때 0의 값을 가진다.



2. 표준 $k-\epsilon$ 모델의 지배방정식

난류점성계수 ν_t 는 물성치가 아니라 난류운동의 양상이나 이력에 따라 변하는 값이다. 이 난류점성계수는 실험이나 고찰로부터 난류운동의 특성길이와 특성속도에 의해 결정되는 값으로 알려져 있다. 특히 표준 $k-\epsilon$ 모델에서는 난류운동에너지 k 에서 특성속도를, 난류운동에너지 소산을 ϵ 에서 특성길이를 구하여 난류점성계수 ν_t 를 계산하는 모델이며, 이를 표현하면 다음과 같다.

$$\nu_t = \frac{C_\mu k^2}{\epsilon} \quad (4.1.11)$$

그리고 난류운동에너지 k 와 ϵ 은 다음의 수송방정식에 의해서 결정된다.

$$\frac{\partial u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + P_k - \epsilon \quad (4.1.12)$$

$$\frac{\partial u_j \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + \frac{\epsilon}{k\rho} (C_{\epsilon 1} P_k - C_{\epsilon 2} \epsilon) \quad (4.1.13)$$

여기서 생성항 P_k 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_k = \nu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4.1.14)$$

그리고 계수들은 각각 다음과 같이 정의하였다.

$$C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92 \quad (4.1.15)$$



4.2 유동장 해석 결과

여러 가지 입구 유량 조건 중 $4.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 에 대해 각 Type에서의 유동장 해석을 실시하였다. 수치해석에 사용된 경계조건은 Table 4.2.1에 나타나 있다.

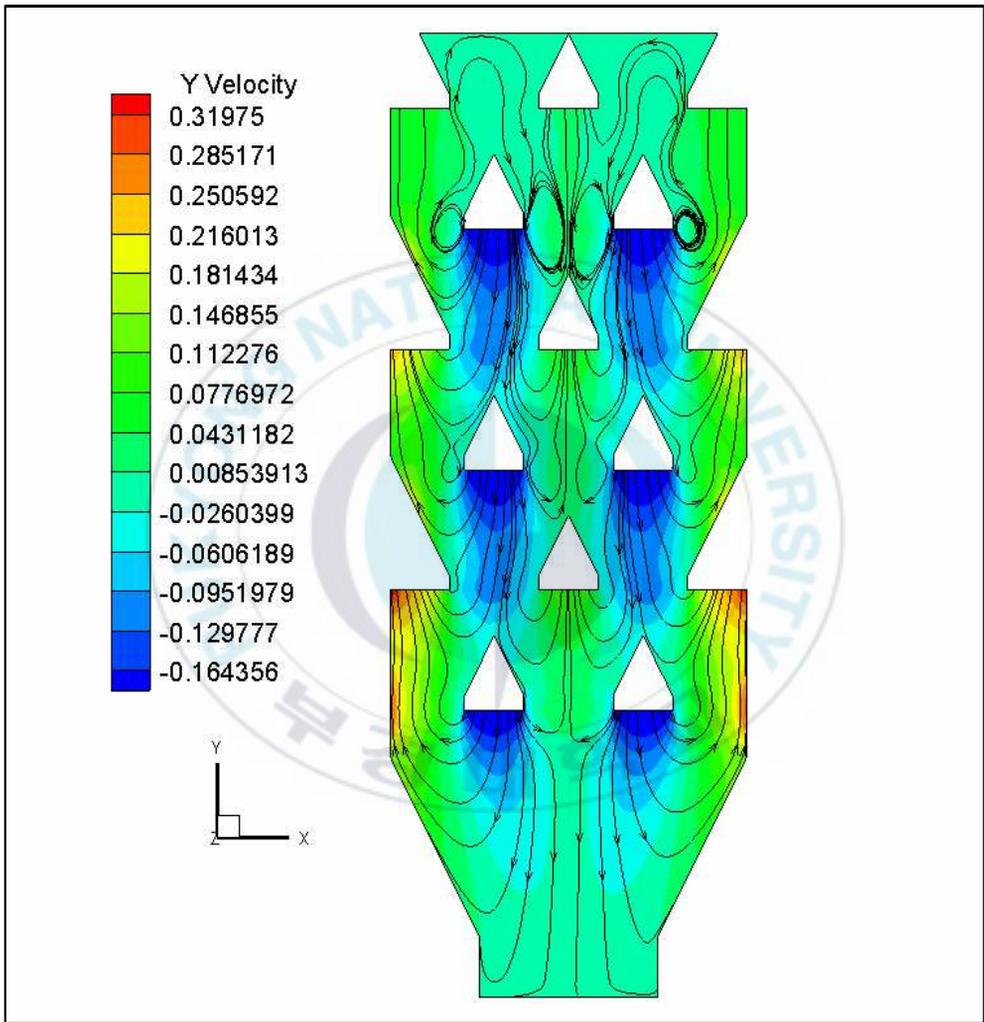
Table 4.2.1 Boundary conditions

Inlet	Mass flow inlet	0.0878 kg/s
Outlet	Pressure outlet	Atmospheric pressure
Side, Top, Bottom	Wall	No-slip

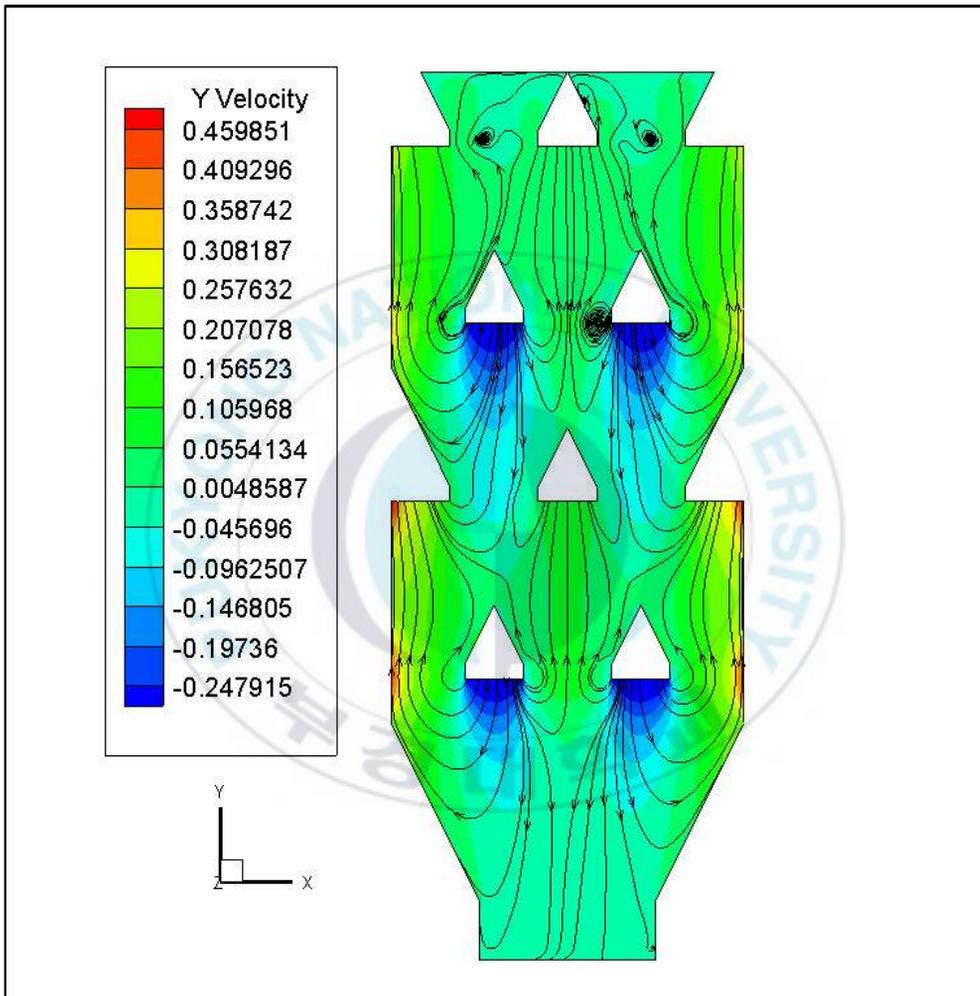
입구 경계조건은 Mass flow inlet 조건으로서 $4.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 을 질량 유량 0.0878 kg/s 로 변환하여 사용하였다. 출구 조건은 대기압 조건으로 0 pa 로 설정하였다. 그리고 양생기 옆면, 바닥 그리고 윗면은 벽면 경계조건으로 벽점착 조건을 부여하였다. Fig. 4.2.1에 Y축 방향 속도 contour와 유선을 함께 나타내었다. 입·출구 근처에서 재순환영역이 발생하는 것을 알 수 있고, 속도는 입구 측 보다는 출구 측에서 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 유동에 저항으로 작용

하는 Porous zone에 인한 결과로 사료된다. 재순환 영역은 유동장에 있어서 에너지 손실로 작용하게 된다. 형상의 개선이 요구된다. 그리고 각 Type의 상부와 하부는 유동의 흐름이 거의 발생하지 않는다. 이 부분에 대해서도 개선책이 마련되어야 할 것이다. Fig. 4.2.2에는 각 타입에 대한 압력장을 표시하였다. Porous 효과에 의해 입구 부분에서 압력이 높은 것을 알 수 있다. 그리고 세 가지 타입 모두 하부 쪽으로 압력이 높은 것을 알 수 있다.

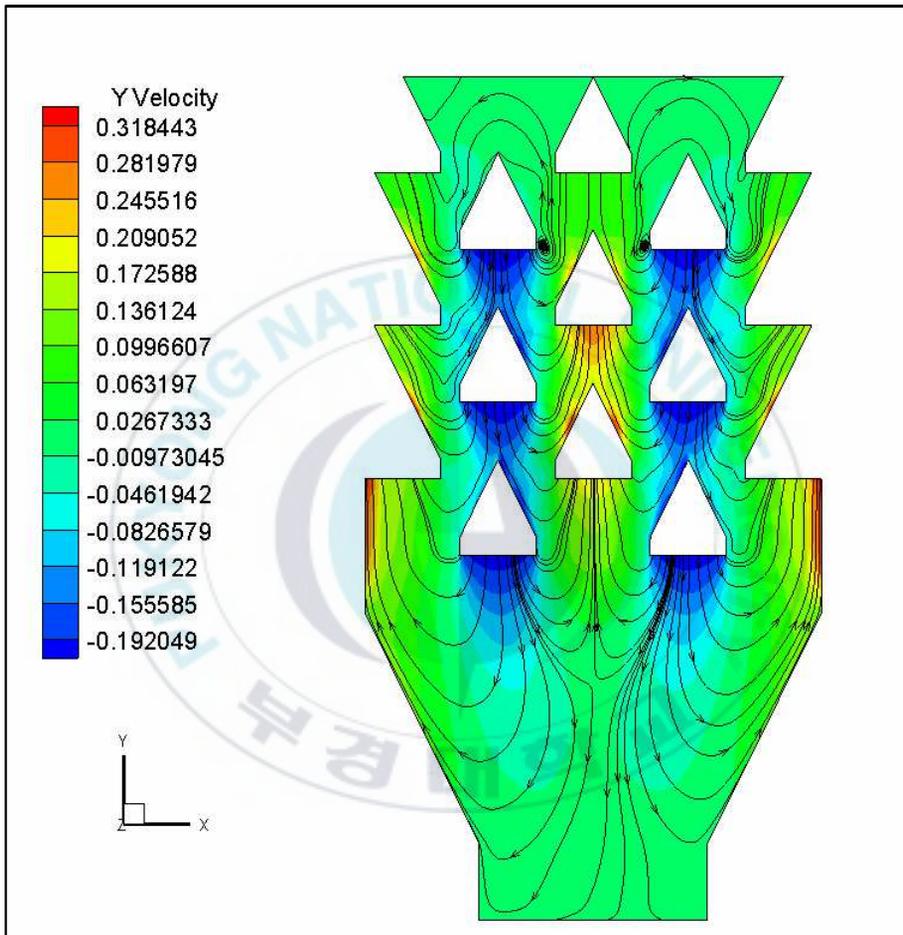




(a) Type A

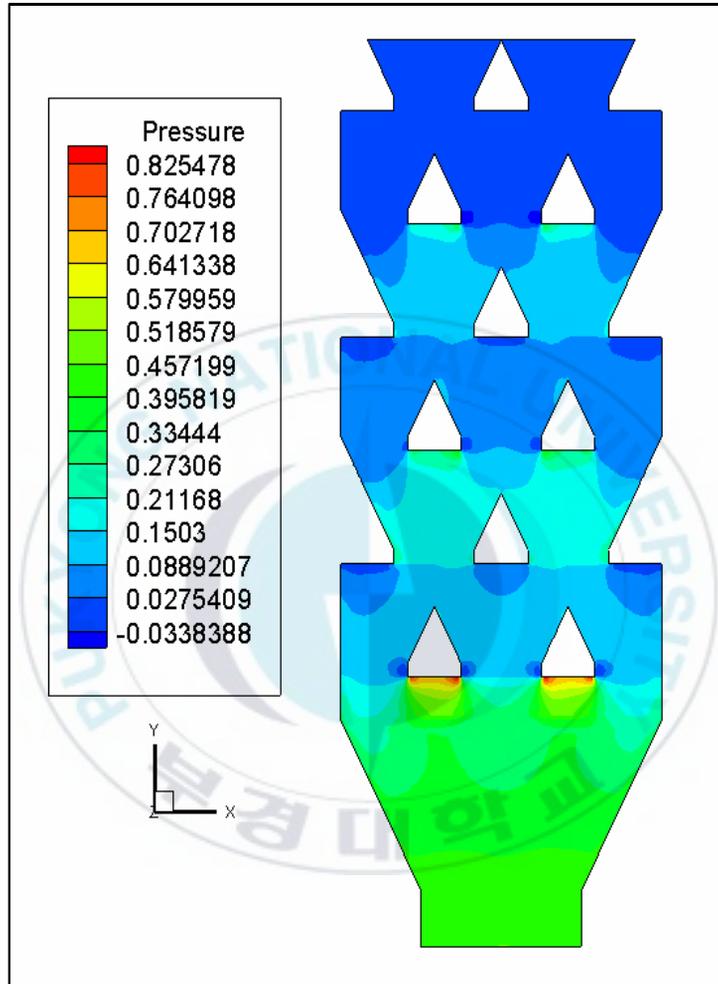


(b) Type B

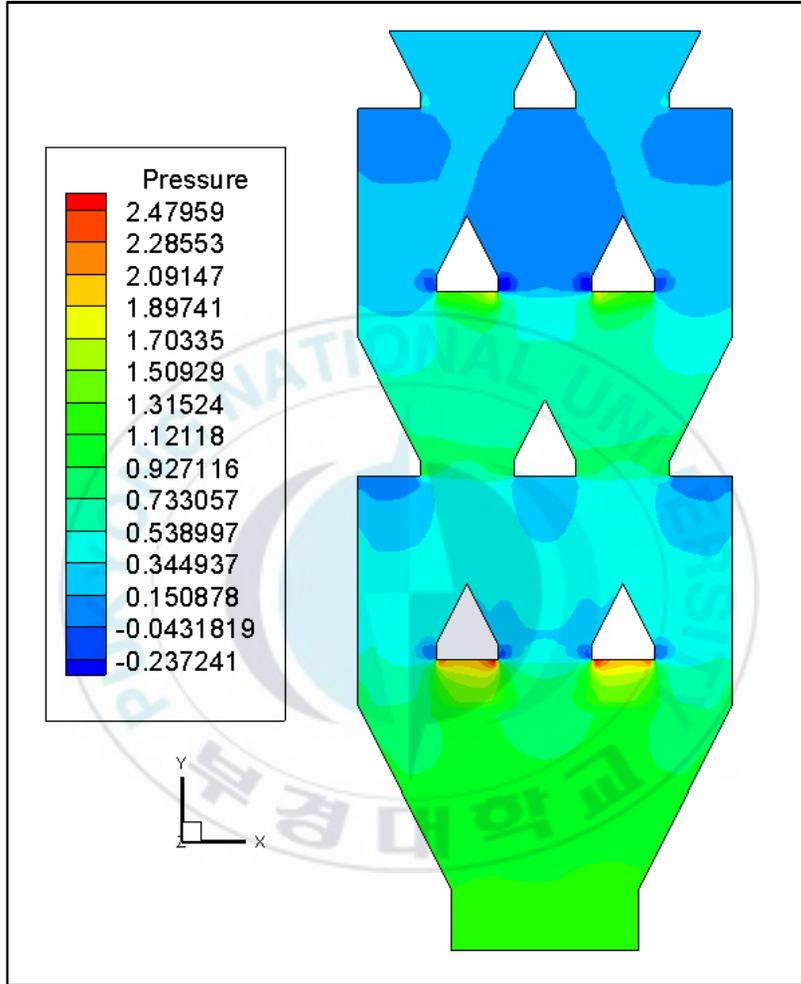


(c) Type C

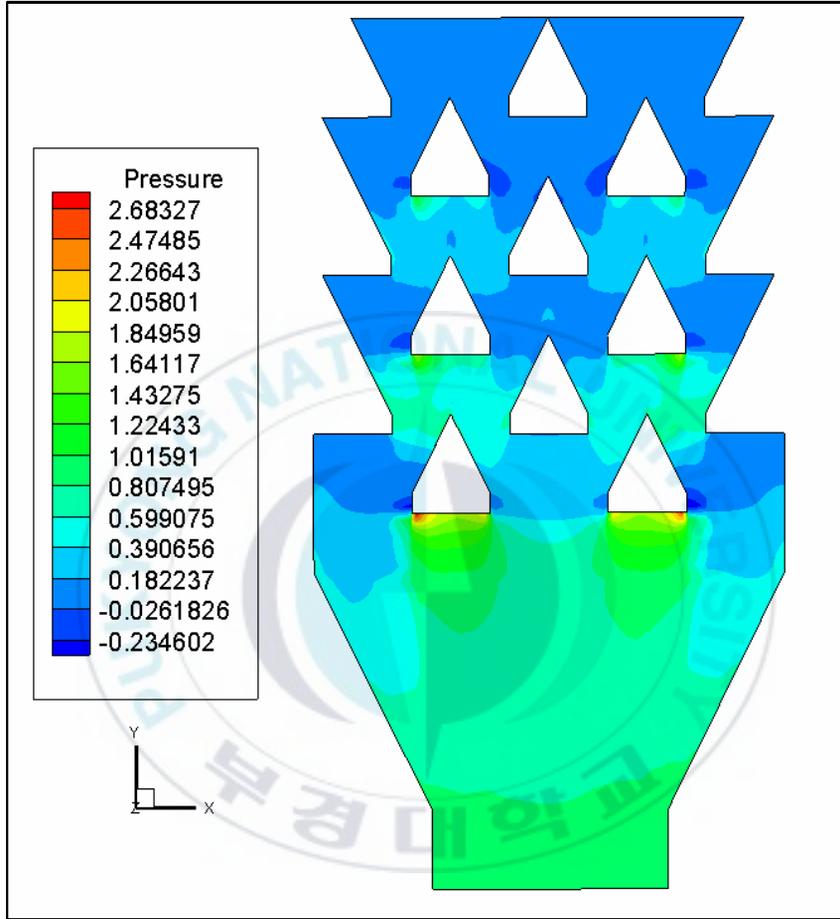
Fig. 4.2.1 Streamline for each type



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

Fig. 4.2.2 Pressure contour for each type

제 5 장 결 론

먼저 “슬러지 건조, 고품화 기술”의 일환으로 수행된 본 연구는 양생 장치의 모형을 이용하여 풍량과 입구온도 그리고 입·출구 간격의 변화에 따라 증발량이 어떻게 변화 하는지를 실험적인 방법을 이용하여 수행하였고, 내부 유동특성을 파악하기 위하여 수치모사를 실시하였다.

이를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 풍량의 변화에 따라서 증발량의 감소가 선형적으로 나타났고, 풍량이 증가함에 따라 많은 양의 수분이 증발하였다. 에너지 효율 면에서 본다면 $5.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 풍량이 $6.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 보다 효율적이었다.
2. 증발량의 경우 온도의 변화와 입·출구 간격의 차이에 대해 큰 차이를 보이지 않는다. 특히 온도의 경우 공급되는 열량의 경우 온도에 밀접한 영향을 받지만 입구 온도차가 $6.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 온도의 변화에 따라 충분히 열량의 차이를 얻을 수 없어 온도의 변화에 따라 충분한 증발량의 차이를 관찰할 수 없었다.
3. 수치해석을 통하여 내부 유동장을 파악했으며, 내부에 재순환 영역이 발생하는 것을 확인하였다. 이에 추후 형상의 개선이 요구된다.

참 고 문 헌

1. H.K. VERSTEEG, W. MALALASEKERA, 1995, "An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method", Longman Group Ltd, pp. 70~72
2. 辛浩一, 1998, "乾燥裝置", 大光書林, pp. 12~45
3. B. Mohammadi, O. Pironneau, "Analysis of the K-Epsilon Turbulence Model", pp. 89~90
4. Harold F. Porter, B. S, George A. Schurr, Ph. D., David F. Well, B.S., Konrad T. Semrau, M. S, "Solids Drying and Gas-Solid Systems", Section 20
5. 황진우, 배재근, 고희백, 고병산, 2002, "폐하수슬러지 건조-소각 연계처리시스템의 성능검토", Vol. 24, No. 6, pp. 1051~1059
6. 배재근, 2001, "유기성폐기물의 자원화 기술의 현황과 전망", 대한위생학회 정기총회 및 학술발표회, pp. 3~20
7. S. A. Giner, D. M. Bruce, S. Mortimore, 1998, "Two-Dimensional Simulation Model of Steady-state Mixed-flow Grain Drying. Part 1: The Model", J. agric. Engng Res., Vol. 71, pp. 37~50
8. S. A. Giner, D. M. Bruce, 1998, "Two-Dimensional Simulation Model of Steady-state Mixed-flow Grain Drying. Part 2: Experimental Validation", Vol. 71, pp. 51~66
9. Kati Laakkonen, 2003, "Method to model dryer fabrics in

paper machine scale using small-scale simulations and porous media model”, Vol. 24, pp. 114~121

