

## 가공식품 설비의 재질별 베이스 프레임에 관한 변형 및 하중 구조해석

### Structural Analysis of Deformation and Force on Base Frame by Materials of Processed Food Equipment

김기홍<sup>1</sup>, 김석호<sup>2</sup>, 최원식<sup>3\*</sup>

Ki-Hong Kim<sup>1</sup>, Seok-Ho Kim<sup>2</sup>, Won-Sik Choi<sup>3\*</sup>

#### 〈Abstract〉

In this paper, structural analysis was conducted on the base frame for materials of the conveyor system that automatically produces nurungji. The materials of the base frame were selected as SS400, STS304, Al6063-5. Structural analysis performed Von-Mises stress and maximum displacement for 38 hot plates in real situation, and performed weight of distribution force for yield strength, and calculated safety factor. SS400 and STS304 have little displacement, but Al6063-5 is deformed to 0.149mm, which is 2.6 times greater than other materials. However, since the safety factor was calculated as 8.5, it can be applied to the applicable food processing equipment. The weight of the distributed force for the yield strength of the materials was 17.7kN for SS400, 14.7kN for STS304, and 10.2kN for Al6063-T5. When manufacturing other processed foods with a base frame of the same size, a material suitable for the corresponding weight should be selected.

*Keywords : Automation Process, Base Frame, Conveyor System, Nurungji, Structural Analysis*

---

1 정회원, 주저자, 부산대학교 바이오산업기계공학과 박사수료 E-mail: kkhong9674@naver.com  
1 Author, Ph. D. Candidate, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University  
2 한도식품(주)  
2 HANDO FOOD Co., Ltd.  
3\* 정회원, 교신저자, 부산대학교 바이오산업기계공학과 교수 E-mail: choi@pusan.ac.kr  
3\* Corresponding Author, Professor, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University

## 1. 서론

사회의 경제발달과 산업화로 인해 생활문화의 변화는 식생활 역시 이동성과 신속성, 편의성을 추구하는 동시에 고품질의 식품을 선호하는 양상을 보이고 있다[1]. 쌀 가공 편이식품류 중 대표적으로 누룽지를 예로 들 수 있는데 전통 열수식품인 누룽지는 오랜 옛날부터 오늘에 이르기까지 밥을 주식으로 하는 우리나라의 식생활과 밀접한 관계를 갖으면서 널리 섭취되어 왔다[2]. 하지만, 취사도구의 발달로 각 가정에서는 누룽지를 많이 볼 수 없게 된 반면, 외식산업의 증가로 이에 공급해 줄 만한 대량생산의 누룽지 제조공장에 의해서 대신 이루어지고 있어서 상품화 된 누룽지를 많이 찾고 있는 추세[3]이며, 제조회사에서는 소비자의 취향에 따라 다양한 맛의 제품을 개발과 출시하고 있다.

누룽지의 제조공정은 쌀의 세척 및 취반과 성형, 건조, 포장의 단계로 수행되고, 성형공정에서 성형방법, 온도, 시간 등에 따라 맛, 영양소 함유 등의 차별화를 할 수 있다. 누룽지의 제작은 상판과 하판으로 구성된 가열판(Hot plate) 내부에 누룽지의 원료를 공급하고, 원료를 얇게 펼치기 위한 스프레더 작업을 거친 뒤 상판을 가압하고 가스 또는 전기 버너로 가열한다. 대다수의 누룽지 제조회사에서는 수작업을 통한 노동집약적 제조환경과 제한적인 자동화[4]에서 대량생산과 원가절감, 일정한 품질을 위해 컨베이어 시스템의 자동화 생산을 채택하고 있다.

컨베이어의 베이스 프레임(Base frame)은 상부에 과하중일 때 뒤틀어지거나 휘는 현상이 발생한다. 구조물의 변형 및 손상을 실물 크기의 실험으로 평가하는 것은 현실적으로 쉽지 않다. 그러나, 최근 전산역학 기술의 발전으로 실제 상황과 유사하게 베이스 프레임의 재질별로 해석을 계산하고, 항복강도에 대한 최대무게를 예측하는 것이 가능해졌다. 따라서 재질별로 베이스 프레임의 제작에 소요되는

비용을 절감하면서 구조물을 평가하기 위해 전산해석 기법을 이용하는 것이 효과적이라고 할 수 있다.

산업현장에서 주로 사용하는 베이스 프레임의 재질은 SS400, STS304, Al6063-T5이 있으며, 일반적인 특징으로는 SS400강은 일반구조용 압연강으로 용접성과 가공성, 경제성 등으로 인하여 주요부품을 제외하고는 기계 및 구조물의 보조 부재로 흔히 사용되며, 건축용 자재, 자동차용, 선박용, 해양 구조물, 건축 교량용으로 널리 사용되고 있어 그 활용도가 높다[5]. STS304강은 가장 대표적인 스테인리스강으로 우수한 성형성 및 내식성으로 인해 화학공업, 식품 제조설비 등의 용접이 필요한 부분, 열교환기, 초산저장·수송용기, 해양 구조물 등 다양한 분야에서 널리 이용되고 있다[6-9]. Al6063은 압출성, 내식성, 표면 처리성이 양호하고 중간 정도 강도로 용접, 성형, 기계 가공이 용이하여 열교환기 부품, 압출형 재료, 건축용 새시, 도어, 교량 레일 및 기타 구조부품 등으로 이용되고 있으며[10-11], 철강재료 대비 비중이 1/3 수준으로 경량화가 가능하다.

본 연구에서는 재질별 베이스 프레임에 대하여 실제 사용환경인 최대 수량의 가열판 거치에 대한 폰미세스(Von-Mises) 응력 및 최대변형량의 구조해석과 안전계수를 분석하여 설비의 이송과 설치가 용이한 경량소재를 사용할 수 있는지를 평가하고, 항복강도에 대한 분포하중의 무게를 구조해석하여 동일한 베이스 프레임의 크기로 다른 가공식품을 제조할 때 재질별로 사용이 가능한 무게를 평가하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 구조해석 대상

Fig. 1은 자동화로 누룽지를 제작하기 위해 트

랜스퍼가 구비된 컨베이어 시스템이며, 베이스 프레임에 사용된 사각 파이프는 75×45×2.3t와 45×45×2t의 2종류로 용접을 하였다. 공정의 전체길이는 11,400mm이며, Fig. 2와 같은 가열판은 총 100개를 거치할 수 있다. 가열판의 구조는 두 개의 판을 핀으로 연결하는 형태이며, 핀과 윗판은 용접으로 고정하였고, 윗판의 개폐를 자동화하기 위해 롤러를 장착하였다. 베이스 프레임은 제작과 운송을 용이하게 하기 위해 3,800mm를 3개로 제작하여 연결하였다. 구조해석의 대상인 베이스 프레임은 중간부로 지정을 하였고, 가열판은 최대 38개를 거치할 수 있다. 가열판의 재질은 STS430으로 선정하였고, 1개의 질량은 5.3kg으로

최대로 거치할 수 있는 총 질량은 201.4kg이다. 제조처에서는 구조물의 이송과 구축이 용이한 경량소재를 선호하지만, 본 연구와 같이 실제 사용환경에 적용이 가능한지에 대한 평가가 필요하다

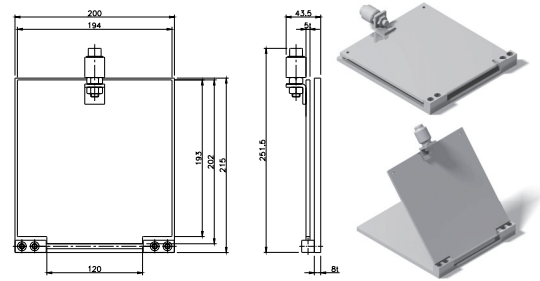


Fig. 2 Drawing of hot plate

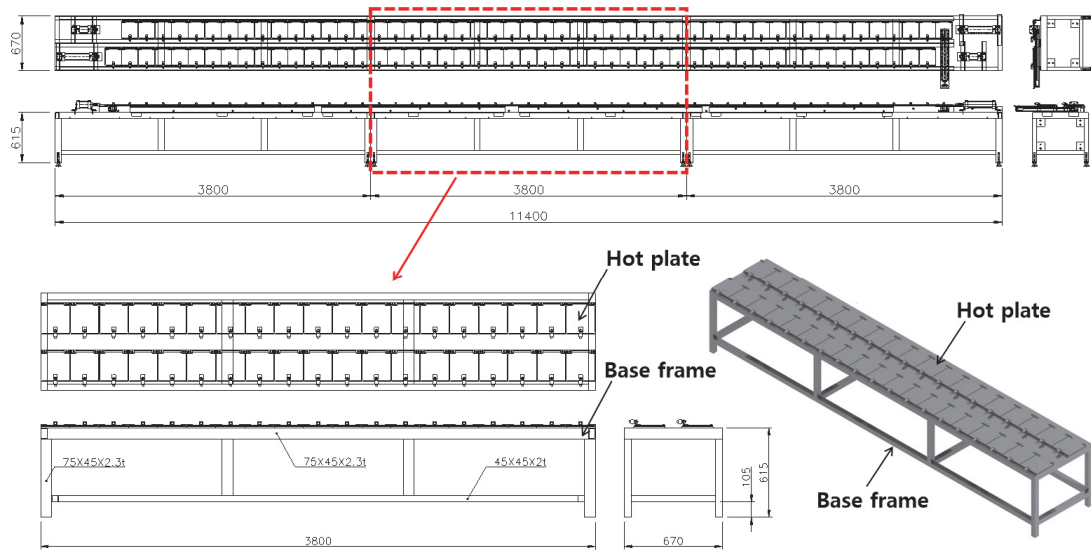


Fig. 1 Drawing on structural analysis of Base frame and Hot plate of conveyor system

Table 1. Mechanical properties of materials

Part	Material name	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield Strength (MPa)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Hot plate	STS430	200	0.266	250	7,860
Base frame	SS400	206	0.3	245	7,850
	STS304	200	0.265	205	7,930
	Al6063-T5	68.3	0.33	140	2,700

다. 또한, 한정된 제조내 구조와 다품종 생산으로 인해 동일한 구조물의 크기에 재질별로 최대 거치할 수 있는 무게를 평가하여 다른 가공식품의 제조가 가능한지 평가가 필요하다.

Table 1은 가열판과 베이스 프레임에 적용되는 STS430, SS400, STS304, Al6063-T5의 재질에 대한 물성치이다.

최대 비틀림 에너지 이론(maximum distortion energy theory)은 조합응력 상태의 비틀림 에너지가 단순 인장 및 압축시험의 비틀림 에너지를 초과하면 항복이 발생하는 것으로 판단한다. 최대등가응력이 재료의 항복응력에 도달할 때 항복이 발생하는 것으로 판단하며, 일반적으로 폰미제스 이론 [12]이라고 한다. 대상체인 베이스 프레임의 파이프 부재를 안전계수 계산에 항복이론으로 이용하였다.

$$F_s = \frac{S}{\sigma_e} \quad (1)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

식 (1)에서  $F_s$ 는 안전계수,  $\sigma_e$ 는 최대등가응력,  $\sigma_{1,2,3}$ 은 주응력,  $S$ 는 재질별 항복강도를 나타낸다.

### 2.2 유한요소 모델링

본 연구에서 유한요소 모델링에 사용한 프로그램은 CATIA V5R20을 이용하였다. 베이스 프레임과 가열판의 형상에 대한 유한요소 모델링은 Fig. 3

에 나타난 바와 같이 절점의 총수는 386,191개이고, 사용된 유한요소의 크기는 가열판이 5mm와 베이스 프레임이 20mm이고, 총수는 1,377,241개가 사용되었으며, 해석모델의 정보는 Table 2와 같다. 베이스 프레임의 가장자리 바닥면은 고정되어 회전하지 않는 조건이다.

### 3. 결과 및 고찰

재질에 따른 베이스 프레임의 질량은 SS400은 241kg, STS304는 243.5kg, Al6063-T5는 82.9kg으로 해석되었고, Table 3과 같이 정리하였다. 가

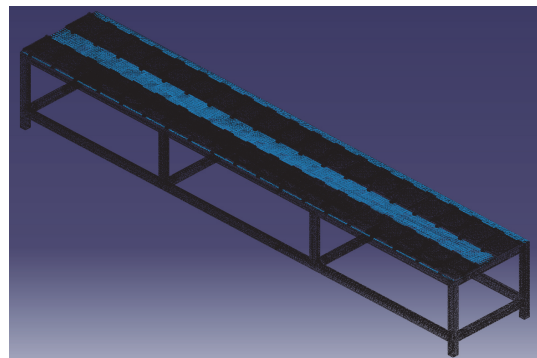


Fig. 3 Configuration FE model

Table 2. FE model summary

Number of nodes	Number of elements	Element size(mm)	
		Hot plate	Base frame
386,191	1,377,241	5	20

Table 3. Structure analysis of materials

Material name	Base frame mass (kg)	Von-Mises stress (MPa)	Maximum Displacement (mm)	Safety factor	Maximum force (kN)
SS400	241.0	17.519	0.057	14	17.7
STS304	243.5	17.541	0.059	11.7	14.7
Al6063-T5	82.9	16.425	0.149	8.5	10.2

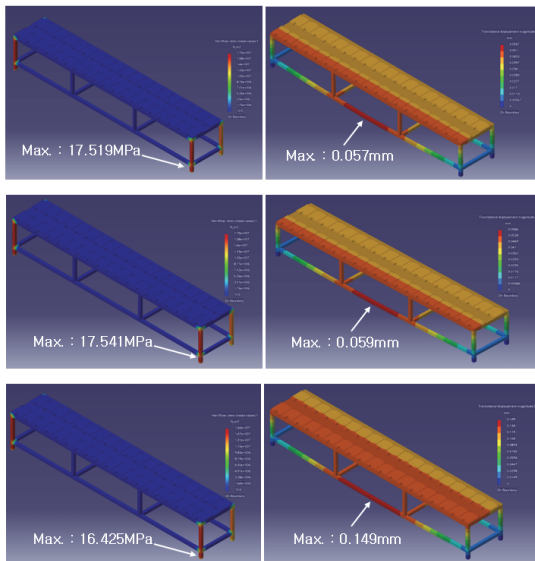


Fig. 4 Von-Mises stress & Maximum displacement

열판이 최대 38개인 201.4kg의 질량에 대해 폰 미세스 응력과 최대변형량을 Fig. 4와 같이 구조 해석을 하였다. 응력이 집중되는 위치는 베이스 프레임의 가장자리에 있는 파이프이고, 최대로 변형이 일어나는 위치는 하부 파이프의 중간부분으로 나타났다.

SS400은 폰 미세스 응력이 17.519MPa로 최대변형량은 0.057mm이며, 최대 비틀림 에너지 이론에 근거한 안전계수는 14이다. STS304는 폰 미세스 응력이 17.541MPa로 최대변형량은 0.059mm이며, 안전계수는 11.7이다. Al6063-T5는 폰 미세스 응력이 16.425MPa로 최대변형량은 0.149mm이며, 안전계수는 8.5로 계산되었으며, 구조해석의 결과와 계산은 Table 3과 같이 정리하였다.

재질에 따른 베이스 프레임에 대하여 항복강도에 대한 분포하중의 무게는 Fig. 5와 같이 구조 해석을 하였다. SS400의 항복강도인 245MPa에 대한 분포하중의 무게는 17.7kN으로 되었고, STS304의 항복강도인 205MPa에 대한 분포하중의 무게는 14.7kN으로 되었고, Al6063-T5의 항복강도인 140MPa에 대한 분포하중의 무게는 10.2kN으로 나타났으며, 구조해석의 결과는 Table 3과 같이 정리하였다.

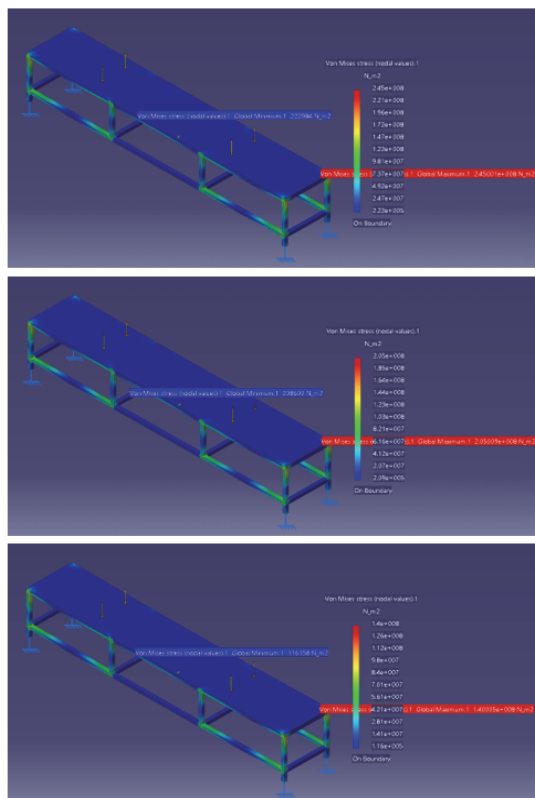


Fig. 5 Maximum force for Yield strength

#### 4. 결론

본 연구에서는 SS400, STS304, Al6063-T5의 재질을 선정하고, 중간부 베이스 프레임에 유한요소법을 이용하여 가열판이 최대한 거치할 수 있는 38개의 수량인 201.4kg의 질량에 대하여 폰 미세스 응력과 최대변형량을 진행하였고, 안전계수를 계산하였으며, 항복강도에 대한 분포하중의 무게에 대해 진행하였다. 재질별 베이스 프레임의 구조해석에서 얻어진 결과는 다음과 같이 도출하였다.

- 1) 실제 사용환경에서 SS400과 STS304의 재질은 폰 미세스 응력에 대한 최대변형량은 거의 없는 것으로 확인되었고, Al6063-T5은 최대변형량이 0.149mm로 다른 재질과 비교하면 2.6배의 변형이 차이가 나지만, 안전계수는 8.5로 높은 것으로 확인되어 이송 및 설치가 용이한 경량소재로 해당하는 식품가공의 설비에 적용할 수 있다고 판단된다.
- 2) 재질별 항복강도에 대한 분포하중의 무게는 SS400의 경우 17.7kN, STS304은 14.7kN, Al6063-T5는 10.2kN으로 평가되었고, 동일한 베이스 프레임의 크기로 다품종의 가공 식품을 제조할 때는 해당하는 무게에 적합한 재질을 선정하여야 한다.

## 사 사

본 연구는 2021년도 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행한 연구이다(No. S3083152).

## 참고문헌

- [1] M. J. Kim, "Characteristics of Ordinary Diets in Present-Problems and Solutions," *Family and Environment Research*, Vol. 44, No. 8, pp. 151-160, (2006).
- [2] Y. N. Do, J. S. Choi, Y. K. Jung, J. H. Park, K. H. Roh, S. S. Kim, S. Y. Choi, K. Y. Lee, and E. J. Han, "Evaluation of the Level of microbial Contamination in the Processing Company of Nuroong-ji," *Journal of Food Hygiene and Safety*, Vol. 25, No. 4, pp. 333-340, (2010).
- [3] Y. K. Suh, Y. H. Park, and Y. J. Oh, "Cooking Conditions for the Production of Instand Nuroongi," *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol. 25, No. 1, pp. 58-62, (1996).
- [4] H. H. Kim, K. C. Lee, "A Study on the Standardization of Fuse Process for Automation of Manufacturing," *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, Vol. 22, No. 2, pp. 235-241, (2019).
- [5] Y. B. Lee, N. I. Cho, and K. E. Park, "Study on surface fatigue crack behavior of SS400 weldment," *Journal of Welding and Joining*, Vol. 14, No. 2, pp. 124-129, (1996).
- [6] T. Kinami, A. Kimura, "Effect of Temperature on Deformation Charistics of Stainless Steels under High Speed Forming Conditions," *DENKI-SENKO*, Vol. 63, No. 2, pp. 146-152, (1992).
- [7] K. Tomimura, S. Takaki, Y. Tokunaga, "Reversion Process of Deformation Induced Martensite to Austenite in Metastable Austenitic Stainless Steel," *Tetsu to Hagane*, Vol. 74, No. 8, pp. 1649-1659, (1988).
- [8] T. A. Adler, R. P. Walters, "Repassivation of 304 Stainless Steel Investigated with a Single Scratch Test," *Corrosion*, Vol. 49, No. 5, pp. 399-408, (1993).
- [9] H. D. Solomon, "Influence of Prior Deformation and Composition on Continuous Cooling Sensitization of AISI 304 Stainless Steel," *Corrosion*, Vol. 41, No. 9, pp. 512-517, (1985).
- [10] 展伸用心三二人實用合金の鑄塊組織. 日本 經金屬學會, No. 26, pp. 109-116, (1992).
- [11] N. Gangil, S. Maheshwari, and A. N. Siddiquee "Multipass FSP on AA6063-T6 Al:Strategy to fabricate surface composites," *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 33, No. 7, pp. 805-811, (2018).
- [12] 2013 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Rules for Construction of Pressure Vessels, Section VIII, Division 2., ASME, New York.