한국기계가공학회지, 제14권, 제6호, pp.77~83(2015.12) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.14 No.6, pp.77~83(2015.12) ISSN 2288-0771(Online)

http://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2015.14.6.077

목표중량 근사치 자동 설정을 위한 멀티헤드 조합시스템에 관한 연구

안용우*, 반갑수**,#
*하나, **경북대학교

A Study on Automated Multi-Channel Combination System for the Closest Target Weight

Yong-Woo Ahn*, Kap-Soo Ban**,#
*HANA LTD, **School of Automotive Engineering, Kyungpook National University
(Received 05 October 2015; received in revised form 11 November 2015; accepted 12 November 2015)

ABSTRACT

This paper is a study of the functions required for the system to quantify the closest target weight by combining several random weights such as chips, snacks, fruits, and vegetables. The multi-head weigher is designed for high-performance applications requiring increased production rates and tight accuracy tolerances. This combination system has 12 heads considered in the form of a rectangular array of 2X6 or 3X4. Channel combination can usually occur between 1 and n, and the frequency was the highest with two or three combinations. Experimental result of a combination system for a total target weight was measured at the range from 100g to 500g by increments of 50g, and the average success rate was about 70%. The average elapsed time was about 1.7 seconds, which means it can be used for the packaging of agricultural products with a variety of items.

Key Words : Multi-head(다채널), Weighing Machine(하중측정기), Computerized Combination System(자동조합 시스템), Total Target Weight(총 목표중량), Unit Weighing Scale(단위 계량부)

Subscripts

NOC : Number of Combination
mcc : Multi-Channel Combination
tt : Total Target
ws : Weight Scale
a : Allowable
f : Failure
s : Success
w : Waste
min, max : Minimum, Maximum
avg : Average

1. 서 론

국내 유통시스템은 생산품의 유통과정에서 포장

Corresponding Author : gsban@knu.ac.kr
Tel: +82-54-530-1403, Fax: +82-54-530-1409

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

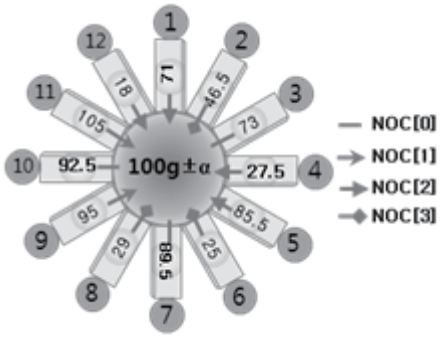

Fig. 1 A Concept of Combination Machine

하는 방식을 주로 사용하였지만 생산지에서 직접 포장하는 방식도 요구하고 있다. James N. K.는 포장 관련 인력을 대처하기 위해서 편차가 적은 채널별 무게 중량을 연속적으로 조합하여 공급하는 원주 배열식 다채널 포장기가 연구하였다.[1] Karl Hoffmann 등은 휘스톤 브릿지 원리로 로드셀 응용기술을 이용하여 중량측정을 수행하는 연구가 진행되었고[2-7], Lim 등은 조합중량기의 개발에 대한 연구를 수행하였다.[8] 이를 통하여 포장속도 및 효율은 개선되고 있지만 포장하기 이전에 이루어지는 계량공정에서 다양한 분류방식이 용이한 연구가 필요하다. 로드셀 고정부 재료의 진동특성도 개선할 필요가 있는데 Rhee 등은 재료의 진동시 발생하는 피로원인에 대한 연구를 수행하였다.[9] 즉 다양한 무게별 포장을 하기 위해, 짧은 시간에 농산물과 같은 여러 개의 불규칙한 무게를 조합하여 포장단위의 목표중량을 계량하는 안정화된 시스템의 기능이 요구된다.

2. 시스템의 개요

2.1 다채널 하중 조합시스템(S_{mcc})

기존의 계량 방식은 총 목표중량(W_{tt})를 맞추기 위하여 생산품을 계량부에 올리고 내려가며 무게를 맞추었기 때문에 일정한 중량을 계량하기 위해 많은 인력과 시간이 필요로 하였다. 하지만 다채널 감지하중 조합시스템은 각각의 단위 계량부(U_{ws}) 저울의 무게를 측정시 W_{tt}에 맞게 순차적으로 조합하여 그룹화된 것끼리 포장하는 방식이다. 이 방법은 포장 소요시간을 최소화하는 방안으로 포장비용을 줄일 수 있다.

2.2 S_{mcc}의 개요

S_{mcc}는 포장물의 무게, 부피, 방향성 및 취급의 용이성에 따라 영향을 받으며 채널의 최적 조합수도 고려한다. 본 연구에서는 포장물의 다양한 조합 방식을 제공하고 배치가 비교적 효율적인 3×4 또는 2×6 형태의 배열을 대상으로 연구하였다. 즉 12개의 로드셀에 각기 다른 중량의 물체의 하중이 부가되었을 때 최소한의 조합으로 W_{tt}에 맞춰주는 시스템이다. Fig. 1은 12채널을 W_{tt}에 맞추기 위해 조합하는 개념도를 나타낸 것이다. 다채널 조합된 값으로 정확한 W_{tt}를 맞추기가 어려우므로 오차의 한계를 수용하여 $W_{tt}\pm\alpha$%로 맞추는 사례를 Fig. 1에서 설명하고 있다. 여기서 ⑨와 ⑪ 채널이 단독으로 요구조건을 만족하므로 $NOC[1][][j]$ 배열에 할당된다. 여기서 $NOC[i][][j]$는 조합된 그룹의 배열을 나타낸다. 여기서 i는 조합된 채널수, j는 조합된 채널의 번호를 각각 나타낸다. Fig.1에서 ①+④와 ⑤+⑫는 각각 $NOC[2][][j]$ 배열에 할당되고 ②+⑥+⑧은 $NOC[3][][j]$] 배열에 할당되며 나머지 ③, ⑦, ⑩채널은 $NOC[0][][j]$에 할당하여 새로운 채널의 값으로 설정되게 한다.

3. 시스템 설계

3.1 S_{mcc}의 설계요건

S_{mcc}가 갖추어야 할 필수적인 설계요건은 다음과 같다. S_{mcc}의 채널별 중량 측정은 단독으로 측정되며 측정된 중량은 Display에 표기된다. 조합된 채널당 측정치의 합은 $W_{tt}\pm\alpha$% 이내로 정한다. S_{mcc}는 각 채널당 영점을 조정할 수 있어야 하며 각 채널에 하중을 부여하거나 제거할 때 주위의 다른 채널에 영향을 최소화해야 한다. S_{mcc}에서 채널의 배치는 작업자의 활동범위가 최소화되도록 한다. S_{mcc}의 조합된 채널을 표시할 경우와 채널

의 하중 조합이 W_{tt}를 맞추는데 유용하지 않을 경우의 활용방안도 고려하였다.

3.2 S_{mcc}의 하드웨어 구조

S_{mcc}의 구조는 크게 Display부와 Scale부로 구성된다. Scale부는 각각의 로드셀을 고정하고 하중을 감지하는 부위에 물체를 올려놓을 수 있는 작은 선반을 장착한 구조를 가지고 있다.

Display부는 각 로드셀의 하중 감지 값을 표시하고 영점, 목표하중 설정, 작업수량 확인 등이 표시되도록 하였다. 여기서 사용한 로드셀은 하중이나 힘을 측정하는 데 사용하는 센서로 기계적 에너지를 전기 에너지로 변환하는 형태 즉 증폭된 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터가 인식 가능하도록 설계하였다.

Fig. 2는 로드셀 측정시스템의 개념도를 나타낸 것인데 힘이 입력되면 증폭된 신호의 A/D변환을 거쳐 원하는 형태로 출력된다. 채소류 및 과일류와 같은 농산물에 적용할 경우 중량의 범위가 100g 이하도 수용하여야 하며 채널당 단위중량은 3kg을 넘어서는 경우는 많지 않다고 가정하고 U_{ws}의 부품의 무게를 포함하여 6kg 이내의 범위를 수용하는 로드셀을 선정하였다. 여기서 로드셀의 최소 무게 측정단위는 인디케이트의 분해능에 의해 결정된다. 분해능은 A/D 변환기의 비트에 따라 차이를 보일 수 있다. 본 연구에서 필요한 분해능은 16비트이지만 델타 시그마형 24비트 A/D 변환기의 용량이 높은 것도 사용할 수 있게 하였다. 불필요한 연산을 억제하고 연산 속도를 높이기 위해 16비트를 사용하였는데 이 경우 이론상

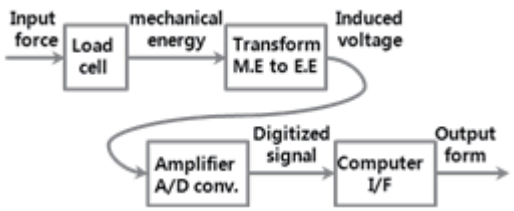

Fig. 2 Concept of Load cell Measurement System

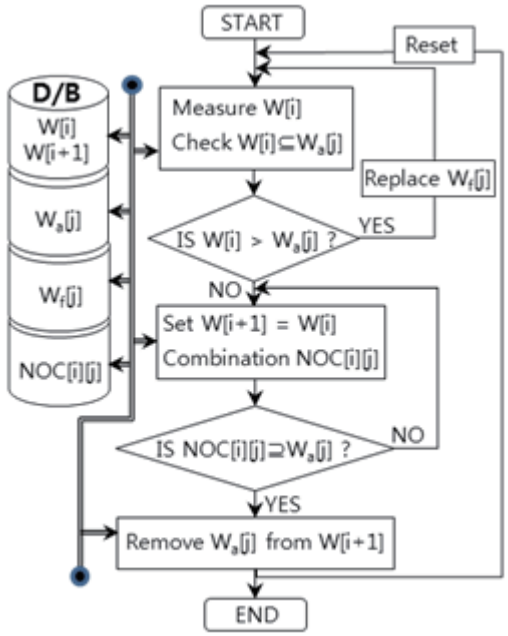

Fig. 3 Flow Chart of Combination Process

분해능은 최대 $1/2^{16}$까지로 계산된다.

3.3 S_{mcc}의 알고리즘

감지하중 조합 시스템에서 목표하중은 임의적으로 설정이 가능하며 목표하중을 맞게 조합하는 순서는 1조합부터 5조합까지 순차적으로 검색을 한다. 전체적인 순서도를 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 $W[i]$는 단위계량된 무게의 배열을 나타내고 $W_a[i]$는 허용무게의 배열을, $W_f[i]$는 $W_a[i]$를 초과하는 개체무게일 경우에 유용한 무게로 대체하는 경우를 나타낸다. 조합이 이루어진 U_{ws}는 다음 조합의 대상에서 제외되고 비어있는 U_{ws}도 대상에서 제외된다. 그리고 계량중인 경우, U_{ws}가 안정화 상태가 아니므로 안정화되는데 시간이 소요되므로 이 역시 조합의 대상에서 제외하였다. 조합이 완성되지 않은 나머지 U_{ws}의 측정한 결과는 조합된 U_{ws}의 생산물이 제거된 후 다른 조합을 찾을 수 있도록 하였다.

$$\sum NOC = {}_{12}C_1 + {}_{11}C_1 + {}_{10}C_1 + {}_{9}C_2 + {}_{7}C_2 + {}_{5}C_3 \quad (1)$$

$$m[1] = \sum_{i=0}^{k[1]} {}_{n-1}C_1 \quad (2)$$

$$m[2] = \sum_{i=0}^{k[2]} {}_{n-k[1]-2\times i}C_2 \quad (3)$$

$$m[j] = \sum_{i=0}^{k[j]} {}_{n-k[1]-k[2].....-k[j-1]-j\times i}C_j \quad (4)$$

$$k[i] = \sum NOC[i] - 1 \quad (5)$$

일반적으로 n개의 채널을 가진 S_{mcc}의 경우에 다음과 같은 식을 정리할 수 있다. 식 (1)은 n이 12채널 일 때 Fig. 1에서와 같이 조합의 개수가 순차적으로 이루어지는 경우의 수를 나타낸 것이고 식 (2)의 $m[1]$은 1개로 W_{tt}를 만족한 경우의 표현식이고 식 (3)은 $m[2]$는 2개로 W_{tt}를 만족한 경우를 나타낸다. 식(4)의 $m[j]$는 식 (2)와 (3)의 일반식을 나타낸 것이다. 식 (5)는 식 (4)의 $k[i]$의 일반식을 나타내고 있다.

$$N = \sum_{i=1}^{j} m[i] = \sum_{i=1}^{j} {}_{(n-c_k-j\times i)}C_j \quad (6)$$

$$here,\ c_k = \sum_{j=1}^{j-1} k[j-1] \quad (7)$$

전체 경우의 수 *N*은 각각의 항의 합이라 볼 수 있으므로 식 (6)으로 정리할 수 있다. 12채널 감지하중 조합 시스템의 목표하중으로 조합을 맞추기 위해서는 전체 n개중에서 a개를 순서와 상관없이 뽑는 경우의 수라고 볼 수 있다. 각각의 조합의 경우의 수는 조합이 올라 갈수록 하위의 경우의 수를 포함하게 된다. 조합수거 증가할수록 조합 검색의 수가 늘어나고 그로 인하여 조합 검색의 속도 역시 떨어지게 된다. 그리고 U_{ws}에 작업자가 생산물을 싣고 내리는 시간이 소요되므로 작업 능률이 떨어지는 6조합 이상의 경우의 수는 사용빈도가 떨어져 제외하였다. 비어있는 U_{ws}가 6개 이상일 경우 조합이 완성되는 확률은 현저히 낮아진다. 이 경우 4, 5조합의 검색을 하지 않게 하면 조합의 처리 속도가 증가한다. 그리고 5조합의 경우는 생산품을 싣고 내리는 시간 및 작업자의 동선이 늘어나므로 활용가치가 떨어진다.

3.4 S_{mcc}의 제어 소프트웨어 구성

채널별 하중을 측정하고 설정된 W_{tt}를 맞추기 위해 각 로드셀의 하중값을 조합하여 화면에 나타내는 일련의 과정이 싸이클 타임에 영향을 미치므로 이를 최소화하는 제어방안을 고려하여 8051어셈블러를 사용하였다. C언어의 경우 8비트, 16비트, 32비트 연산만 가능하여 17비트의 연산이 필요할 경우에도 32비트를 사용해야하는 불필요한 연산시간 지연을 최소화하였다. 8051어셈블러는 9비트, 17비트, 20비트, 25비트 등의 비트수를 특정 비트수로 조정하여 연산을 가능하게 함으로써 불필요한 연산을 억제하고 연산 시간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다. 마이크로컨트롤러는 CS8953G를 사용하였는데 CPU는 기존의 12사이클 8051보다 10배 정도 빠르고 강화된 1사이클 8051 코어를 기반으로 SRAM 저장 기능, 프로그램 메모리 부분으로 사용할 수 있는 32KB 임베디드 플래시 메모리, T0/T1/T2 타이머 기능, 16비트 워치독 타이머 등의 기능이 내장되어 본 시스템에 적합하다고 판단되었다. 각 로드셀의 정보를 받아드리는 마이크로칩은 CS5534를 사용하였다. 물론 CS5532는 2개의 로드셀의 정보를 받아 연산의 속도를 높일 수는 있지만 하드웨어적으로 좀 더 복잡해서 효율성이 떨어지는 단점이 있는데 반해, CS5534는 4개의 로드셀의 정보를 처리할 수 있으며 이를 사용하여 하드웨어의 구조를 단순화하고 연산 속도를 단축시키는 효과를 볼 수 있다. 또한 CS5534의 기능 중 수정가능한 옵셋 기능이 내장되어 있어 각 로드셀의 영점을 셋팅하는데 용이하였다.

4. 실험 및 결과 분석

4.1 실험결과의 데이터

안정화된 U_{ws}의 조합 속도는 2, 3, 4조합인 경우 소요시간을 측정한 결과 0.6초 이내이고 5조합의 경우 0.8초 이내의 시간으로 측정되었다.

Table 1은 5회에 걸쳐 무게 편차가 일정치 않은 농산물을 측정한 채널별 무게를 나타낸 것인데 W_{tt}를 100g으로 설정한 경우를 나타낸 것인데 데이터가 매우 불균질하여 15g부터 103g까지 다양하게 분포되어 있음을 볼 수 있다. Fig. 4는 Table 1의 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 1 Measured Experimental data (A to E)

ch	1	2	3	4	5	6
A	71	46	73	27	85	25
B	23	73	10	67	103	75
C	77	91	86	35	87	31
D	31	56	28	47	24	17
E	66	31	37	68	35	25
ch	7	8	9	10	11	12
A	89	29	95	92	105	18
B	79	46	46	90	27	91
C	26	28	46	19	105	27
D	31	27	32	38	36	43
E	18	33	38	45	15	57

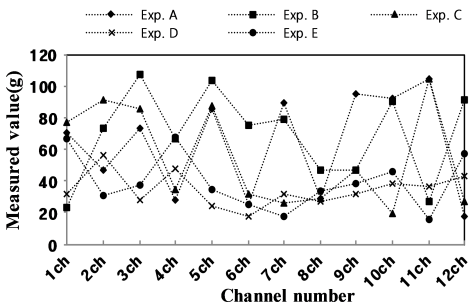

Fig. 4 Analysis weight graphs of each channel

Table 2 Measured data of Target Weight (100g)

EXP.	$\omega_{\max}$	$\omega_{\min}$	ω_{avg}	R_s	T_w
A	105	95	100.5	75%	2
B	103.5	98.5	100.7	41.7%	1.2
C	105	95	102.3	66.7%	1.8
D	104	95	99	83.3%	1.8
E	104	95.5	100.5	83.3%	1.8
AVG.	104.30	95.80	100.60	70.00%	1.72

Table 2는 각 W_{tt}에 대해 조합 성공확률(R_s)과 소요시간(T_w)를 5회 실험한 결과를 평균해서 나타낸 표이고 측정오차 α는 5%로 설정하여 실험하였다. 여기서 실험 A의 경우 개별 무게의 최대치($\omega_{\max}$)는 105 최소치($\omega_{\min}$)는 95, 평균치(ω_{avg})는 100.5이고 R_s는 75% T_w는 2sec로 나타남을 보여주고 있다. 실험 A부터 E까지 측정한 결과를 분석해 보면 R_s는 41.7% ~ 83.3%까지 다양한 값을 가지고 있으나 T_w는 1.2sec ~ 1.8sec까지 비교적 안정적인 값으로 측정되었다. 여기서 1.2sec는 R_s가 매우 낮은 경우에 나타났다.

Table 3 Number of combination for each W_{tt} (100g to 500g)

EXP.	Number of Combination				
	1	2	3	4	5
100	0.8	2	1	0.2	0
150	0	1.8	1.2	0.2	0.4
200	0	0.8	1.2	0.6	0.2
250	0	0	2	0.6	0.2
300	0	0.4	1.6	1	0
350	0	0	0.6	1.6	0.2
400	0	0	0.2	1.6	0.4
450	0	0	0.6	0.8	0.8
500	0	0	1	1	0.4
Total	0.8	5	9.4	7.6	2.6

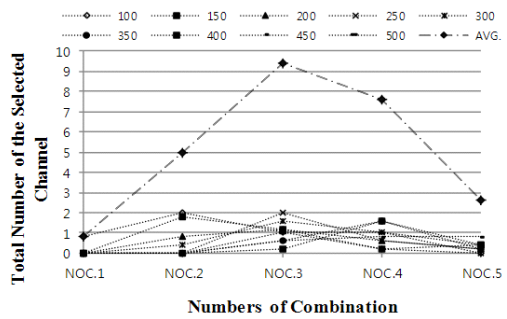

Fig. 5 Analysis graph of total number of combination channel

Table 3은 100g부터 500g까지 50g씩 증가시키며 W_{tt}당 조합된 개수를 나타낸 것이고 Fig. 5는 그결과를 그래프로 나타낸 것이다. 여기서 조합에 성공한 경우가 2 ~ 4에 비교적 많이 분포되어 있으며 특히 3에서 가장 높은 빈도수를 확인할 수 있었다.

4.2 Scale부 분석

Scale부는 각 로드셀을 지지하며 조합시간을 줄이기 위한 안정화 속도를 높이는 구조가 필요하다. 안정화 속도를 높이는 방법은 로드셀의 분해능을 낮추어 민감도를 줄이는 방안과 외력에 의하여 발생하는 진동이 U_{ws}에 미치는 영향을 최소화하는 방안이 효과적이다.

로드셀의 고정부 재질을 SUS304 3.0T를 사용하여 구성하였으나 판재의 특성상 진동의 전달되는 영향이 크다.

이러한 진동을 영향을 줄이기 위해 재질을 AL6063 10.0T를 사용하고 로드셀의 고정방식을 바꾸어 진동의 영향을 다소 완화시켰다.

Table 4 Specification of the system

Item		Range
Weighing Range		1 ~ 6500g
Weight Accuracy		0.5 ~ 1g
Speed	NOC[2] ~ NOC[4]	Up to 0.6/sec
	NOC[5]	Up to 0.8/sec

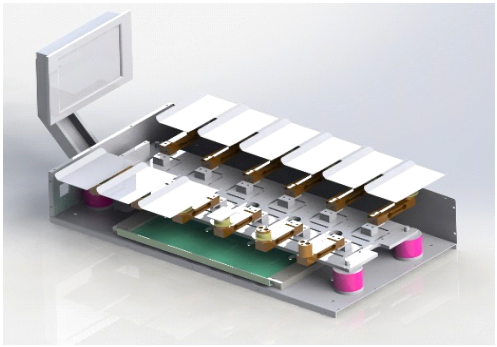

Fig. 6 Photo of the development system

Table 4는 시스템의 주요 스펙을 나타내었고 Fig. 6은 실험에 사용된 12채널 조합시스템의 사진을 나타낸 것이다.

5. 결 론

다양한 무게를 가진 생산품의 포장은 일정한 목표중량범위($W_{tt} \pm \alpha\%$)을 정해서 포장할 필요가 있으며 이를 위해서는 측정 단위를 채널별로 정의하여 조합할 필요가 있다. 본 연구에서 개발한 $S_{m\alpha}$의 설계는 이러한 관점에서 이루어졌으며 채널의 배열이 비교적 용이한 2×6 장방형 배열 형태의 12채널을 고려하여 설계되었고 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 성장 조건에 따라 다양한 무게를 가진 농산품의 포장시 개체를 쪼개어 무게를 조절하기가 용이하지 않으므로 이 경우에 목표하중 W_{tt}를 맞추어 측정하기에 적합한 다채널 감지하중 조합시스템의 알고리즘을 개발하였다.
2. 조합 그룹은 ${}_nC_{1\sim n}C_j$에 이르는 다양한 경우를 조합할 수 있으며 W_{tt} 에 따라 차이는 있으나 채널수의 특성상 i가 1 ~ 5사이의 조합에서는 3에서 조합발생 빈도가 가장 높게 나타났다.
3. W_{tt}의 범위는 100g ~ 500g사이의 값에서 50g씩 증가시켜 5회씩 측정하였는데 평균 성공률은 70%였고 사이클 타임은 평균 1.72sec로 만족할 만한 결과를 얻었다.

후 기

"이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비지원 사업연구비 지원에 의하여 연구되었음."

REFERENCES

1. Keraita, J. N. and Kim K. H., "A Study on the Optimum Scheme for Determination of Operation Time of Line Feeders in Automatic Combination Weighers," J. Mech. Sci. Technol., Vol. 20, No. 10, pp. 1567-1575, 2006.

2. Hoffmann, K. (2001), “Applying the Wheatstone Bridge Circuit,” Retrieved 1. Oct., 2015, from http://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/hbmdoc/technical/s1569.pdf.
3. Hoffmann, K. (2012), “An Introduction to Stress Analysis and Transducer Design using Strain Gauges,” Retrieved 1. Oct., 2015, from http://www.kk-group.ru/help/Strain_Gauge_Measurements_Book_2012_01.pdf.
4. Lee J. H. and Lee W. R., “A Study on the Manufacturing of a High-Efficiency Load Cell Using a Single Surface Design” J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 19, No. 6, pp. 724-730, 2010.
5. Kim J. O., Ko, J. B. and Park, H. S., “A Study on the Measurement of Bending Constraint Force of STS304 Thin Plate Using the Load Cell,” Trans. Korean Soc. Mach. Tool Eng., Vol. 16, No. 6, pp. 86-93, 2007.
6. Han D. S., Ha J. M., Han G. J., "Creative Design of Large-Angle Pin Type Load-cell for Overload Limited of a Movable Crane," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 9, No. 1, pp. 35-41, 2010.
7. Lee D. W., Park M. H., Lee G. G., Kin I. H., Lee S. S., "Development of the Pin Type Load-cell Using Strain Gauge," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 4, pp. 75-82, 2014.
8. Lim M. R., “A Study on Development of Combination Weigher,” A Thesis for a Master, Yeungnam University, Republic of Korea, 2002.
9. Rhee, H. W., "Experimental Evaluation of Fatigue Threshold for SA-508 Reactor Vessel Steel," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 11, No. 4, pp. 160-167, 2012.