

초음파 적외선열화상 기법을 적용한 모터 코어의 신뢰성 평가

정윤수*, 노치성*, 이경일*, 김재열**,#

*조선대학교 대학원 기계시스템공학과,

**조선대학교 기계시스템공학과

Reliability Evaluation of a Motor Core Applied Ultrasound Infrared Thermography Technique

Yoon-Soo Jung*, Chi-Sung Roh*, Gyung-Il Lee*, Jae-Yeol Kim**,#

*Dept. of Mechanical Engineering, Graduate school of Chosun Univ.,

**Dept. of Mechanical Systems Engineering, Chosun Univ..

(Received 6 July 2016; received in revised form 27 July 2016; accepted 1 August 2016)

ABSTRACT

This study used an ultrasound infrared thermography technique to detect issues in the motor core of typical power equipment. The current defect inspection method of the motor core is often incomplete (due to the limits of visual inspection) and thus the reliability of the motor core is reduced. Therefore, in this study, experiments were carried out to increase the reliability of the test by using an ultrasonic infrared thermal non-destructive inspection method to image the motor core. The ambient temperature of the experimental system was maintained at 25 °C. Experiments were carried out to examine a damaged motor core and a defect-free motor core. Experimental results confirm the technique clearly detected defects in the motor core, thereby confirming the possibility of using this technique in the field.

Key Words : Nondestructive Inspection(비파괴검사), Infrared Thermography(적외선 열화상), Ultrasonic(초음파), Motor Core(모터코어), Reliability Evaluation(신뢰성 평가)

1. 서 론

세계 각국들은 배기가스 배출 기준강화, 화석연료 고갈, 지구 온난화 등의 이유로 화석에너지를 보완/대체 할 에너지원으로 태양열에너지, 수력 에너지, 풍력에너지, 조력에너지, 지열에너지 등의 친환경 에너지 개발이 증가하는 추세이다. 이러한 에

너지들은 전기에너지 형태로 이용되기에 여러 전기 기기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 동력기기의 대표적 전기기인 모터는 전기에너지를 이용하여 회전력을 발생하는 중요한 장치이다.

그 중 모터 코어(Motor core)는 초정밀 정형 프레스 급형의 한 분야로써 메탈 및 기타 소재로부터 블랭킹 공정을 적용하여 성형 한계 공차 극복을 요하는 주력산업 제품군의 소성가공 분야이다. 모터의 핵심인 코어는 국가의 주력 산업인 자동차, 조선, 전기 전자, 디스플레이, 생활용품 등의 발전에

Corresponding Author : jykim@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7745, Fax: +82-62-230-7035

따라 수요가 꾸준히 증가하고 있다^[1].

모터 코어의 신뢰성 및 안전성을 판단하기 위해서는 재료의 특성 및 구조를 정확히 파악하고 내부 결함 유무를 판단하는 것이 반드시 필요하다. 재료 내에 불균질한 물질이 들어있을 경우 구조물의 성능과 수명을 현저히 저하시킬 수 있기 때문에 불균질한 물질의 유무, 형태, 위치 파악이 매우 중요하다. 이에 대한 검사법으로는 방사선투과시험(R.T : Radiographic Testing), 자분탐상법(M.T : Magnetic Particle Testing), 초음파탐상법(UT : Ultrasonic Test) 등 여러 탐상법이 있지만 본 논문에서는 적외선 열화상 카메라를 이용하여 모터코어의 각종 결함의 측정유무를 판단하고자 한다.

적외선 열화상 기법을 이용한 비파괴검사법은 시설보수 예측, 제품의 생산과정 및 모니터링 연구, 개발 등 산업전반에 걸쳐 광범위하고 활용되고 있으며 가장 유용한 방법 중의 하나다. 적외선 감지기에 의해 획득할 수 있는 열화상은 대상 물체의 열 분포에 의한 특징을 검출할 수 있기에, 초기단계에서 시스템과 구조체내에 문제를 우선 해결할 수 있으며, 각종 재해방지 목적에도 사용된다. 또한 사태가 심각해지기 전에 문제를 미리 보완할 수 있는 정보들을 제공해주기에 고장이나 작동정지를 피할 수 있다. 그러므로 대체나 수리적인 측면에서 비용절감을 이룰 수 있다^[2].

적외선 열화상 측정 원리는 물체 표면에서 방출되는 적외선을 검출해 그 물체의 온도분포가 높은 곳은 장파장의 적색으로, 낮은 곳은 단파장의 청색으로 열화상을 나타낸다. 따라서 열적으로 가열된 재료를 적외선 카메라를 통하여 구조물의 표면 온도 분포를 화상으로 알 수 있으며 또한 물체의 각 지점에 대한 온도분포까지 측정 할 수 있다. 본 연구에서는 초음파 적외선 열화상 기법을 적용하여 모터 코어 결함을 측정하여 현재 모터 코어 검사방법의 신뢰성을 높이고자 한다.

2. 이 론

2.1 초음파 적외선 열화상 방법

초음파 적외선 열화상 기법은 Ultra infrared

thermography라고도 하는데 진동을 이용한 기법과 흡사한 방법이라 하겠다.

이는 진동이 20kHz로 일어날 때 가청 주파수를 넘어서게 되며 이를 초음파라하고 이때 발생하는 에너지를 이용하는 검사기법이다. 실제 초음파 영역은 20kHz 이상을 통칭 사용하고 있지만 열화상 검사 시에는 15 ~ 40kHz 대역의 가청이 일부 가능한 영역부터 초음파 탐상 검사기법에 비하여 낮은 주파수의 초음파가 활용된다.

이러한 초음파를 발생시키는 장치는 대부분 초음파흔을 통하여 발생되는데 높은 주파수 영역으로 인해 진동 적외선 방법에 비해 많은 진동을 발생시키게 된다. 또한 상대적으로 다른 검사 기법에 비해 μm 크기의 작은 결함까지도 빠르게 검출할 수 있는 장점이 있다. 이때 발생하는 초음파는 횡파, 종파가 혼합되어진 혼합파의 형태로 발생되어 매질을 타고 진행하게 된다. 초음파 발생기를 통하여 매질의 음향 인피던스에 따라 달리 전파되는 초음파는 결함에 다다르게 되면 탄성과 마찰, 슬라이스 등을 일으키는 검사체의 물리적 현상에 의해 발열이 생기게 되는데 이때 열화상 카메라를 통하여 결함 여부를 진단 할 수 있는 기술이다.

초음파 적외선 열화상 기술에서 사용되는 초음파 가진 장치는 100 ~ 1,000W 이상의 출력을 갖고 20 ~ 30 kHz 대역의 단일 주파수를 사용하고 있다. 최근에는 검출능력 개선을 위해 다중주파수(Multi-Frequencies)를 사용하기도 한다^[3-7].

3. 시험장치 구성

3.1 적외선 열화상 카메라

적외선 열화상 카메라(Infrared Thermography Camera)는 피사체의 실물이 아닌 피사체의 표면으로부터 복사(엄밀히는 방사)되는 에너지(열에너지)를 전자파의 일종인 적외선 파장(Infrared Wavelength)형태로 검출, 피사체 표면의 복사열의 강도(양) (Radiant Heat Intensity)을 측정하여 강도(양)에 따라 각각의 다른 색상(False or Pseudo Color)으로 표현하여 주는 장치이다.

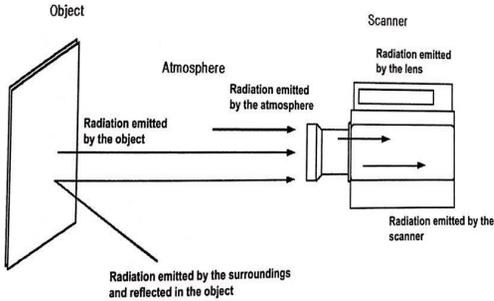


Fig. 1 Measurement situation of thermography

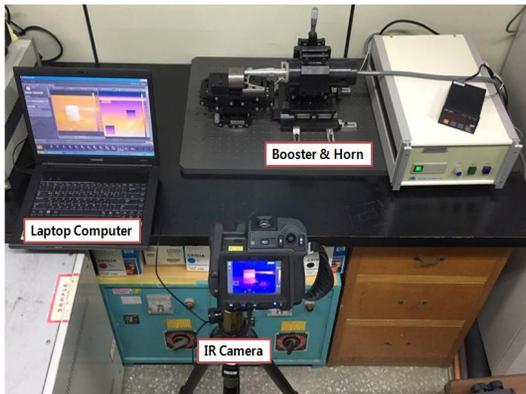


Fig. 2 The composition of experiment equipment

$$I_m = I(T_{obj}) \cdot \tau \cdot \epsilon + \tau(1 - \epsilon) \cdot I(T_{amb}) + (1 - \tau) \cdot I(T_{atm}) \quad \text{-----(1)}$$

Fig. 1과 같이 총 표준 복사에너지는 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다. 첫 번째 항은 열에너지 복사의 객체 주위에서 방출되는 반사(Radiation emitted by the surroundings and reflected in the object), 두 번째 항은 물체에서 방출되는 열에너지 복사 Radiation emitted by the object), 세 번째 항은

Table 1 FLIR T640 specifications

Common Features	
IR Resolution	640*480
Temperature Range	-40℃~150℃, 100℃~650℃, 300℃~2,000℃
Thermal Sensitivity / NETD	40mK @ + 30℃
Zoom	1-8* continuous, digital zoom, including panning
Focus	Automatic (one shot) or manual
Data Communication Interfaces	USB-mini, USB-A, Bluetooth, Wi-Fi
Size(L*W*H)	143*195*95mm
Weight	1.3kg

대기에서 방출되는 열에너지 복사(Radiation emitted by the atmosphere).

본 연구에 사용된 적외선 열화상 카메라는 FLIR 사의 T640 모델이며, 최고 (640*480) 픽셀의 IR해상도를 가지고 있고, 측정 온도 범위는 -40℃ ~ 650℃(고온 필터 사용 시 2,000℃까지 검출), 민감도 30℃ ~ 0.035℃이다^[8-15]. FLIR T640에 대한 자세한 사양은 Table 1과 같다.

3.2 초음파 가진기

본 연구에서 사용한 초음파 가진기는 대영초음파의 DYW-430H 모델로 핸드건 타입(type)의 부스터 일체형 가진기이다. 사양은 입력전원 AC180 ~ 245V, 초음파 가진시간 0.1 ~ 5 sec 연속발진이 가능하며, 주파수 조정범위는 30kHz이다. 출력은 400W이다. 시험에 사용된 가진기는 시험의 용이성을 위하여 버튼 식으로 수정하였다. 시험 장치는 Fig. 2와 같은 실험장치 구성을 보여주고 있다.

Table 2 Motor-Core specifications

Common Features	
Diameter[mm]	60.6
Height[mm]	45.7
Internal diameter [mm]	16

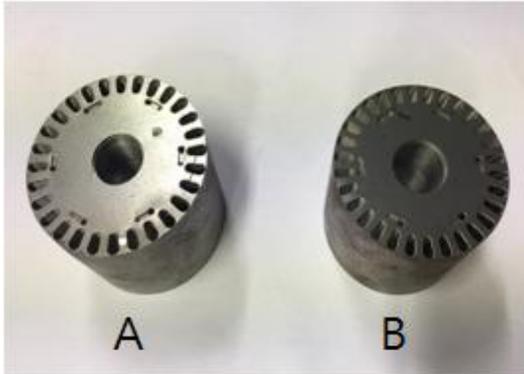


Fig. 3 Motor-core specimen

4. 실험 방법

실험 시스템 주변의 온도는 25°C로 일정하게 유지하여 실험을 수행하였다. 또한 온도 변화에 민감하기에 해가 진 오후에 실험을 수행하였다. 결함이 있는 모터 코어와 결함이 없는 모터 코어를 각각 1개씩 준비하였다.

적외선 열화상 카메라를 이용하여 모터코어 표면에 초음파를 가해 온도를 측정하여 위상과 진폭을 통해 이미지 데이터를 획득, 분석하였다. 적외선 열화상 카메라와 모터코어의 거리를 50cm 이내로 하여 640*480의 해상도로 취득하였다. 모터코어의 사양은 Table 2와 같다. Fig. 3은 실험에 사용된 모터코어 시편이다.

5. 실험결과 및 고찰

초음파를 적용한 적외선 열화상 실험에서 결함 이미지로 관찰되었으며, 실험결과는 Fig. 4 ~ Fig.11과 같다. Fig. 4는 A모터 코어의 표면에 초음파를 가해 5군데 spot을 찍어 시간의 흐름에 따른 온도분

포를 획득하였고, Fig. 5는 Fig. 4의 spot을 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 6은 위와 같은 모터 코어 시편으로 스플라인(Spline)의 온도분포를 열화상 이미지로 획득하였고, Fig. 7은 Fig. 6의 스플라인을 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 4의 열화상 이미지를 분석해보면 초음파를 가한 spot1이 160.2°C로 가장 높은 온도로 측정되었고, 초음파 흔과 가장 멀리 떨어진 spot5가 127.1°C로 상대적으로 낮게 온도가 측정되었다. Fig. 6과 Table 3에서 보는바와 같이 열에너지가 일정한 모습으로 전달됨을 확인하였다.

Fig. 8 A모터 코어의 실험 방법과 같이 B모터 코어에 초음파를 가해 5군데 spot를 찍어 시간에 흐름에 따라 Table 4와 같은 온도분포를 획득하였다. Fig. 8의 열화상 이미지를 보면 육안으로 봐도 열에너지 전달이 일정하지 않음을 확인할 수 있다. Fig. 9는 Fig. 8의 spot을 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 10은 스플라인의 온도분포를 열화상으로 나타낸 것이고, Fig. 11은 Fig. 10의 스플라인을 그래프로 나타낸 것이다.

결과적으로 보면 Fig. 6의 모터 코어는 일정한 열에너지 분포로 정상적인 모터코어로 사료된다. 이에 반해 Fig. 10의 모터코어는 일정치 않은 열에너지 전달로 인해 결함이 있음을 확인할 수 있다.

Table 3 Temperature Distribution

Temperature Distribution	
Spot 1	160.2 [°C]
Spot 2	145.5 [°C]
Spot 3	141.3 [°C]
Spot 4	136.6 [°C]
Spot 5	127.1 [°C]

Table 4 Temperature Distribution

Temperature Distribution	
Spot 1	107.4 [°C]
Spot 2	55.3 [°C]
Spot 3	61.8 [°C]
Spot 4	94.3 [°C]
Spot 5	72.7 [°C]

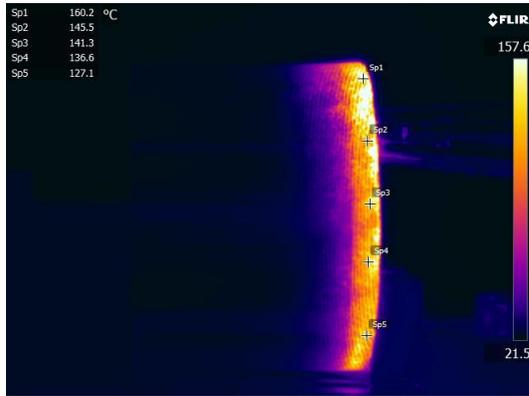


Fig. 4 Spot heat distribution

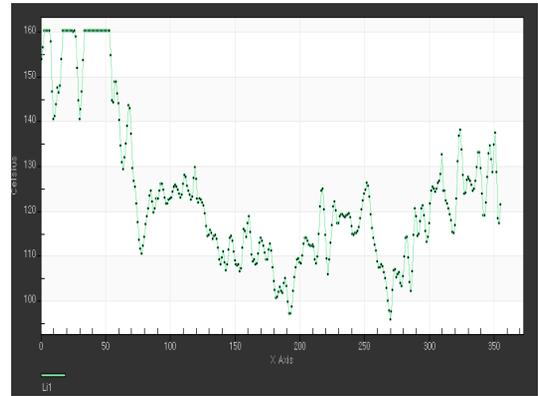


Fig. 7 Temperature change with time of the spline



Fig. 5 Temperature change with time of the spot

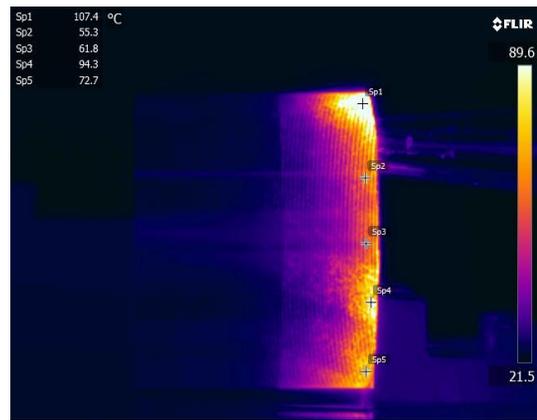


Fig. 8 Spot heat distribution

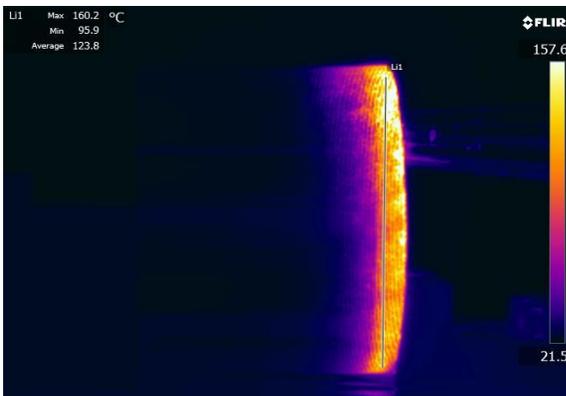


Fig. 6 Temperature change with time of the spot

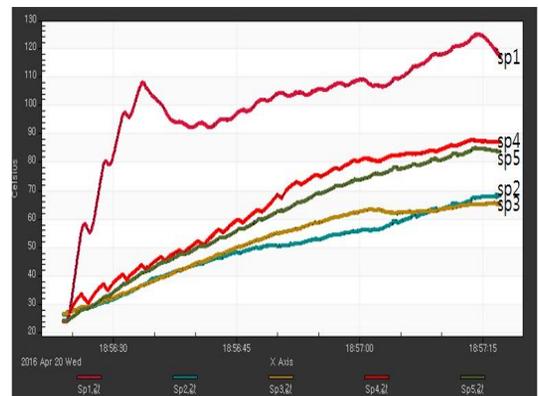


Fig. 9 Temperature change with time of the spot

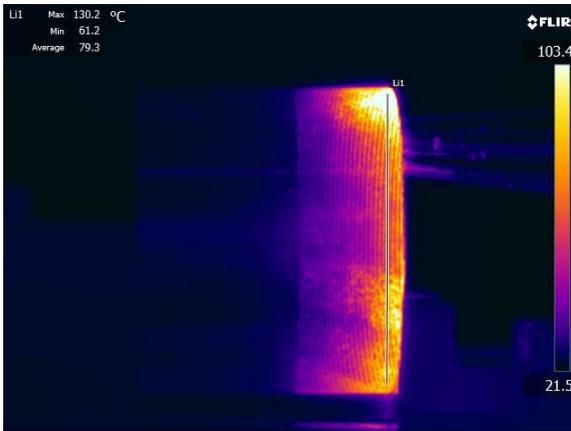


Fig. 10 Temperature change with time of the spot

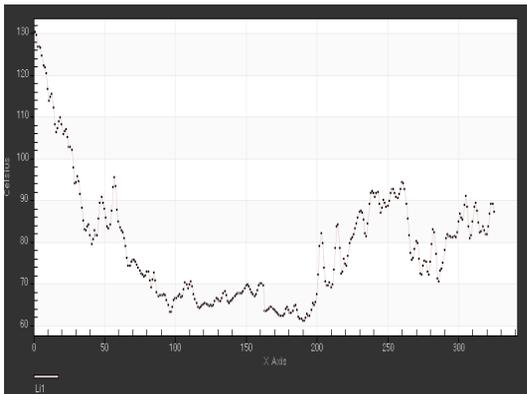


Fig. 11 Temperature change with time of the spline

6. 결론

본 연구에서는 초음파 적외선 열화상 기법을 적용한 모터코어의 신뢰성 평가에 대해 연구하였고, 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 적외선 열화상 카메라를 이용하여 모터코어의 신뢰성 평가 시 초음파를 이용한 결과 모터코어 A에서는 열에너지 전달이 일정함을 확인하였고, 모터코어B에서는 열에너지 전달이 일정하지 않음을 확인하였다. 이와 같은 이유로 모터코어B에서 결함이 있다고 사료된다.

2. 본 연구를 통해 모터코어의 초음파 적외선 열화상 카메라 현장 적용 가능성을 확인하였다.

후 기

“이 논문은 2015년 교육부와 한국연구재단의 지역 혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014H1C1A1066959).”

REFERENCES

1. Jo, M. G., "A Study on Development of High Speed Press for Producing Precision Motor Cores," A Thesis for a Master's degree, Gyeongsang National University, Republic of Korea, 2015.
2. Go, M. S., "Nondestructive Evaluation on Metal Material Surface Corrosion and Inside Defect of Infrared Thermography Technique Application," A Thesis for a Master's degree, Chosun University, Republic of Korea, 2008.
3. Yun, S. U., Kim, J. Y., Choi, S. H., and Kim, H. W., "Inspection System of Coating Layers by Thermal Behavior Effect," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 6, pp. 1~7, 2014.
4. Choi, S. H., "A Study on Non-Destructive Evaluation System for the Main Shaft of Off-shore Wind Power Generation Apply Ultrasound Infrared Thermography Technique," A Thesis for a Doctor's degree, Graduate School of Chosun University, Republic of Korea, 2012.
5. Choi, S. H., "Integrity Evaluation of Gas Turbine 1st Stage Bucket Apply Infrared Thermography Diagnostic Technology," A Thesis for a Master's degree, Graduate School of Chosun University, Republic of Korea, 2008.
6. Kim, S. C., Kang, S. H., Yun, N. Y., Jung, H. C., and Kim, K. S., "A Study about Detection of Defects in the Nuclear Piping Loop System Using Cooling Lock-in Infrared Thermography,"

- Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 35, No. 5, pp. 321-331, 2015.
7. Kim, S. H., "Evaluation of Non-Destructive Reliability using Infrared-Thermography Technology for Eco-Friendly Part and Materials in Aero-Generator," A Thesis for a Master's degree, Graduate School of Chosun University, Republic of Korea, 2012.
 8. Roh, C. S., "Integrity Evaluation By Infrared Thermography Technique And FEM Analysis Of Hybrid Gear," A Thesis for a Master's degree, Graduate School of Chosun University, Republic of Korea, 2016.
 9. Jeong, Y. H., "Tool breakage Detection Using Feed Motor Current," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 6, pp. 1-6, 2015.
 10. Li, H., Ko, T. J., and Baek, D. K., "A Study on Preventing Cracks at the Small Hole Exit in Ultrasonic Machining Using a Wax Coating," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 105-111, 2015.
 11. Ha, M. K., Hwang, Y. M., Lee, S. J., Park, H. M., Jun, J. U., and Kim, S. K., "Estimation for Development of Metalbearing and Non-destructive Testing at High Power Engine," Proceeding of KSMPE 2005 Spring Conference, pp. 326-331, 2005.
 12. Kim, C. U., Park, J. C., and Song, J. I., "Study of Structural Reliability of Pipe-Fitting Collet Tool," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 140-145, 2015.
 13. Jung, M. W., Kwak, T. S., Kim, M. K., and Kim, G. H., "Effects of Ultra Vibration on Machined Surface of Aluminium 6061 in Endmill Cutting Process," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 96-102, 2014.
 14. Li, C. P., Kim, M. Y., Park, J. K., and Ko, T. J., "A Study on the Development of Rotary Ultrasonic Machining Spindle," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 160-166, 2015.
 15. Loh, B. G., and Kim, G. D., "Characteristics of Pulse Width Modulation(PWM) Excitation of Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting Device," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 1, pp. 59-65, 2014.