

열간 자유단조 공정 자동화를 위한 금형 어태치먼트에 관한 연구 A Study on the mold attachment for process automation with hot open die forging

김철표* · 정호민** · 정한식** · 지명국***†

C. P. Kim*, H. M. Jeong**, H. S. Chung** and M. K. Ji***†

(접수일 : 2012년 02월 09일, 수정일 : 2012년 08월 24일, 채택확정 : 2012년 08월 27일)

Key Words : Open die forging(자유단조), Connecting rod(커넥팅로드), Forging mold(단조금형), Air hammer(어해머)

Abstract : In mechanical industries, forging is one of the basic process. But comparing the other developed industries, forging industries can not reach at the level of that development. In forging industries, the quality of the products totally depends on the skills of workers and also the precision of the equipments. Particularly because the open die forging industry is unable to deviate from the past method of production and all works are manually progressed, the operator is always exposed to the danger. In the regard some additional device has been made especially. Thus, in this research, by using the forklift as the means for the manipulation of the development object system, it tries to be comprised the process automation. After than it is fitted with the forklift for safe and easy handling of jobs and products during open die forging process. First of all, development system mold has been assembled to the system, after than it is assembled with forklift. This development system has been applied for handling of large scale products more than 300kg, and the satisfactory result with uniform quality of the products have been achieved due to this mechanical setup.

1. 서 론

국내 조선 산업의 발전과 더불어 선박엔진의 제조 능력은 지금껏 세계 1위를 고수하고 있으나 중국 등의 추격으로 성능뿐만 아니라 가격적인 측면이 더욱 부각되고 있다. 또한 풍력 발전 및 발전 플랜트 시장의 급성장으로 단강품의 생산이 급증하고 있으며, 생산성 및 품질 향상이 요구되고 있다.

단강품을 제조하기 위한 자유단조 공정은 주조 조직을 제거하고 재료 내부에 존재하는 공극을 압착시켜 제거하며, 편석을 소멸시키면서 최종 제품의 형상에 근접하게 예비성형체를 만드는 것이 단조공정의 주요한 목적에 해당된다.^{1,2)}

자유단조 공정의 주요 단강품으로는 크랭크샤프트, 스피들, 터빈블레이드 및 커넥팅로드 등이다. 이들 단강품은 대부분이 대형으로 금형을 사용할 수 없어 형단조 공정으로 생산하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 이로 인해 프레스나 해머 등을 이용한 자유단조 공정으로 생산되며, 이들 대부분의 작업이 작업자의 수작업에 의존하고 있다. 이러한 단강품의 특성상 제품의 품질과 생산 가능 제품은 설비와 작업자의 숙련도에 의해 결정된다. 특히 자유단조 공정이 과거의 생산방식에서 탈피하지 못하고 현재까지도 대부분의 작업이 작업자의 경험에 의존하고 있다.^{3,5)}

단강품은 산업계뿐만 아니라 일상생활에 광범위하게 사용되고 있지만 생산기술 또는 중간재 형태로서

***† 지명국(교신저자) : 영진단조(주) 기술개발부
E-mail : mkji73@hotmail.com, Tel : 055-587-8833

*김철표 : 영진단조(주) 기술개발부

**정호민, 정한식 : 경상대학교 에너지기계공학과 · 해양산업 연구소

***† M. K. Ji(Corresponding author) : Young Jin Forging Co., LTD.

E-mail : mkji73@hotmail.com, Tel : 055-587-8833

*C. P. Kim : Young Jin Forging Co., LTD.

**H. M. Jeong, H. S. Chung : Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University · Institute of Marine Industry

일반 소비자의 눈에는 잘 드러나지 않는 특징이 있다. 이처럼 산업 전 분야에 적용되는 부품을 생산하는 산업이지만 기피 직업이라는 어두운 인식으로 생산현장 인력의 확보가 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 자유단조 공정의 단강품 생산에서 발생하는 작업자 산업재해 및 품질 불량 등의 문제점을 획기적으로 해결하기 위하여 형단조 기법을 적용하여 자유단조 공정 시 제품 성형에 사용되는 금형의 운용을 자동화장비로 대체하여 인적, 물적, 시간적 절감을 꾀하고 인건비 상승과 생산 인력 확보의 어려움을 해소하여 생산성을 높이는 동시에 고중량의 대형 단강품에 대해 자유단조 공정으로 생산이 가능한 어태치먼트를 개발하고자 한다.

2. 단강품 제작 공정(커넥팅로드)

선박 및 발전 플랜트용 엔진은 저속엔진과 중속엔진으로 분류된다. 엔진의 크랭크축에 연결되어 회전운동을 직선운동으로 전환해주는 커넥팅로드의 성형은 제품 생산시간의 단축, 소재비용의 절감, 대량생산 등의 장점을 위해 일반적으로 열간 자유단조(hot open die forging)공법을 적용한다. 특히 커넥팅로드의 경우 제품 단일 중량이 약 100 kg 이하의 소형인 경우 예비성형체(preform)로 1차 자유단조 공정으로 가공하여 2차 형단조 공정으로 최종 제품을 생산하는 방식으로 이루어져 있다. 하지만 제품 중량이 100 kg 이상인 경우는 단순히 체적의 변화만 가한 후 황삭과 정삭을 통한 가공으로 제품을 생산하고 있어 소재 손실(loss)이 많아 원가 상승으로 이어진다. 특히 제품이 커질수록 소재 손실(loss)이 많아지는 구조로 되어 있다.



Fig. 1 Open die forging process

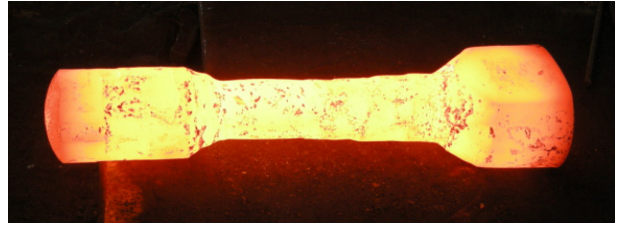


Fig. 2 Connecting rod preform

커넥팅로드의 생산 공정을 살펴보면, 가열로에서 가열된 소재를 단조기계(프레스, 해머 등)로 이동시키고 예비성형체의 형상을 만들기 위한 금형을 2명의 작업자가 손으로 잡아서 형상이 완료될 때까지 계속 작업을 수행한다. 다음 Fig. 1에 작업 중인 모습을 나타내었다. 당사에서 보유한 단조기는 용량이 2 톤인 에어해머로 중형의 단강품을 생산하고 있다. 초대형 및 소형의 단강품은 주로 프레스로 생산하지만 중형의 단강품은 형상이 복잡하여 해머로 작업을 수행해야 품질을 확보할 수 있다. Fig. 2에는 당사에서 생산된 커넥팅로드 예비성형체의 형상을 나타내었다.

이처럼 커넥팅로드의 예비성형체를 가공하는 공정 중에는 작업자가 고온과 충격 등의 위험에 항상 노출되어 있어 산업재해가 빈번히 발생하고 이로 인해 작업인력 수급에 애로를 겪고 있으며, 또한 작업자의 컨디션에 따라 제품 품질이 균일하지 못한 문제점을 갖고 있다. 이러한 애로사항을 해결하지 못하면 후발국의 시장 잠식과 기술격차의 단축으로 국내 자유단조 시장은 더욱 위축될 수밖에 없는 실정이다.

3. 시제품 설계 및 제작

앞서 기술한 내용의 문제점을 해결하기 위하여 아래 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 1차 시제품을 설계 및 제작하여 실제 생산 공정에 적용하여 단강품(커넥팅로드) 생산을 시도하였다. 생산 대상 단강품은 발전기용 보조 엔진의 커넥팅로드로 제품 단일 중량이 약 100 kg이다. Fig. 5는 1차 시제품의 문제점을 보완하여 최적 설계를 실시하여 제작한 최종 시제품이다.

최종 어태치먼트의 주요 제원은 Table 1에 나타내었다. 개발 어태치먼트의 주요 구성장치로는 지게차의 유압원을 이용하기 위한 유압유닛과 에어해머로부터 전해지는 약 50 kJ의 충격력을 전달 수 있는 충격 흡수장치, 제품 성형을 위한 금형의 상하 이동을 제어하는 유압실린더 등이다. 1,000 °C 이상의 고온의 환경에 노출되는 이유로 일반적인 유압 완충장치

(shock absorber)를 사용할 수 없어 스프링만을 이용한 충격 흡수장치를 사용하였다. Fig. 6에 제작된 최종 시제품을 나타내었다.

개발 대상인 어태치먼트의 구조에서 설계 상 주요 요소는 50 kJ의 충격력을 견디는 것이다. 따라서 충격력을 흡수하고 금형을 지지하는 역할을 하는 스프링의 설계가 핵심이다. 1차 시제품에서 발생된 문제점은 수평방향의 충격흡수만 고려되고 중력방향의 충격흡수는 고려하지 않고 4개의 베어링에 의해 지지되는 구조로 설계되어 충격이 금형에 집중되는 편하중에 의해 제작된 시제품은 파손되었다.

2차 시제품에서는 이러한 문제점을 보완하고자 상부금형장치의 이송을 기존 샤프트 지지 방식에서 레일(rail) 지지 방식으로 변경하고 중력방향의 충격력을 고려한 스프링의 설계를 실시하고 설계된 3D CAD 데이터를 이용하여 구조해석전용 소프트웨어인 ANSYS로 구조강도해석을 수행하였다.

스프링의 설계에서 스프링의 길이가 지름의 4배 이상이면 좌굴(buckling)이 발생되어 파괴될 가능성이 있으므로 이를 방지하고자 스프링 내부에 샤프트를 설치하였다. 스프링의 좌굴응력은 다음의 식 (1)부터 식 (4)를 이용하였다.⁶⁾

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (1)$$

$$S_y = 0.75 S_{ut} \quad (2)$$

$$S_{sy} = 0.577 S_y \quad (3)$$

$$P = \frac{\tau \pi d^3}{8 K_s D} \quad (4)$$

여기서, S_{ut} 는 지름에 대한 인장강도를 나타내며, S_y 는 비틀림 항복강도, S_{sy} 는 비틀림 항복강도 그리고 P 는 스프링이 항복강도에 도달하는 force를 나타낸다.

이상 식 (1)부터 식 (4)를 이용하여 계산한 결과 개발 대상 장비의 스프링은 약 4,130 kgf의 힘을 받으면 항복이 일어나는 것으로 계산되었다. 실제 개발 대상 장비에 가해지는 힘은 4.5 ton이므로 이를 2개의 스프링 및 보조 스프링 완충장치로 분할하여 충격 흡수를 담당하게 하여 안전율을 감안하더라도 충분한 강도를 확보하게 하였다.

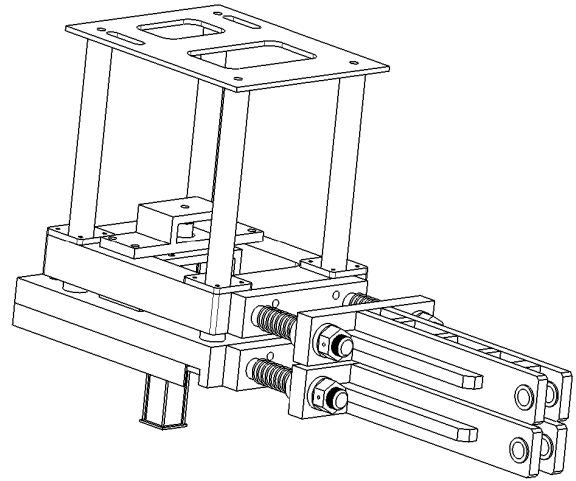


Fig. 3 Design of 1st attachment

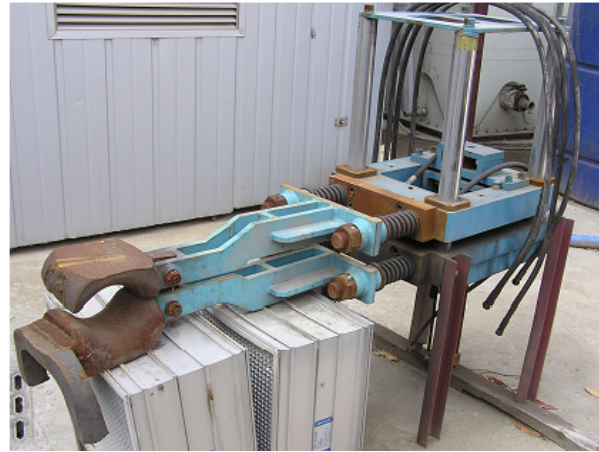


Fig. 4 Prototype of 1st attachment

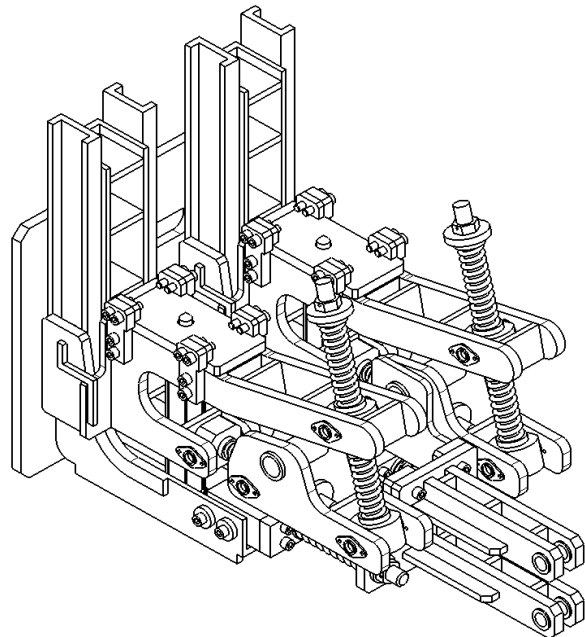


Fig. 5 Design of final attachment

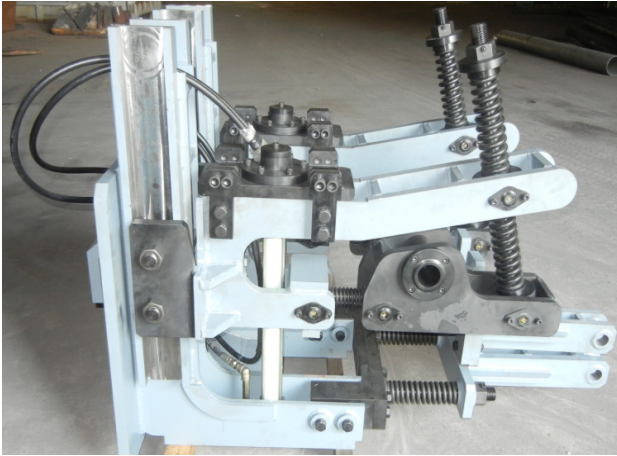


Fig. 6 Prototype of final attachment

Table 1 Properties of attachment

Spec.	Unit	Performance
Lift Cycle	hr	240
Production time	min	8
Load	kJ	50
Production weight	kg	300~1,000

현재의 생산 공정에서 발생하는 품질문제는 대부분이 작업자의 컨디션에 좌우되는 치수 불량과 외관 불량이다. 따라서 본 개발 장비를 사용할 경우 기계 장치에 의한 생산 공정이므로 이러한 문제점은 획기적으로 개선될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 시제품 시험

설계된 데이터를 이용하여 제작된 최종 시제품을 이용하여 100 kg급 커넥팅로드와 1,500 kg급 커넥팅로드에 대해 시험 생산을 실시하였다.

시험 생산에 적용하기 위한 규격 등을 검색하였지만 개발 대상 장비가 국내외적으로 아직 시도된 바 없는 관계로 규격화된 시험 방법을 찾지 못하여 공인기관(경남테크노파크)의 입회하여 생산 능력 시험을 실시하였다. 시험 방법은 동일한 조건에서 기존 수작업 방식과 개발 장비를 이용한 생산방식으로 진행하여 생산된 제품수량 및 외관 품질을 판단 기준으로 선정하였다.

비교 기준은 100 kg급 커넥팅로드로 하였고 1,500 kg급 커넥팅로드는 개발 장비의 생산 가능 중량을 확인하는 차원에서 실시하였다.

4.1 100 kg급 커넥팅로드

1차 시제품을 대상으로 100 kg급 커넥팅로드의 시험 생산을 실시하였다. 시험 생산을 시작하고 약 20여개의 제품을 성형한 후 상부 프레임의 상하 구동용 베어링이 파손되었다.

Fig. 4에서 살펴보면 금형이 해머에 의해 연속적인 충격을 받으면서 충격하중이 금형측으로 집중되는 구조여서 베어링이 편하중에 의해 파손된 것으로 판단된다. 그림에서 보듯이 스프링에 의한 충격 흡수가 중력방향으로는 전혀 고려되지 않은 구조여서 발생한 문제로 판단된다.

Fig. 7은 최종 시제품에 대하여 시험을 실시하는 사진이다. 시험은 연속적으로 약 300여개의 제품을 생산하였다. 또한 5일에 걸쳐 매일 40개씩 시험 생산을 실시한 결과 최종 시제품은 해머로부터 전달되는 충격을 충분히 흡수하였고 시제품 작동에도 전혀 영향을 미치지 않았다. 다만 시제품에 의해 장비운영자의 시야 확보가 다소 어려운 문제점으로 나타났다. 이를 보완하면 양산라인에 투입하여도 문제가 없을 것으로 사료된다.

4.2 1,500 kg급 커넥팅로드

최종 시제품을 이용하여 46MC급 엔진에 사용되는 커넥팅로드로 단일 제품 중량이 약 1,500 kg이다. Fig. 8에 시험을 실시하는 사진을 나타내었다.

시험 생산 도중 어태치먼트에 장착되는 제품 성형용 금형의 과대 설계로 인해 수평도 조절이 다소 어려웠으나 제품의 생산에는 크게 영향을 미치지 않았다. Fig. 9는 100 kg급과 1,500 kg급 커넥팅로드의 크기를 비교한 것이다.



Fig. 7 Test production of 100 kg connecting rod

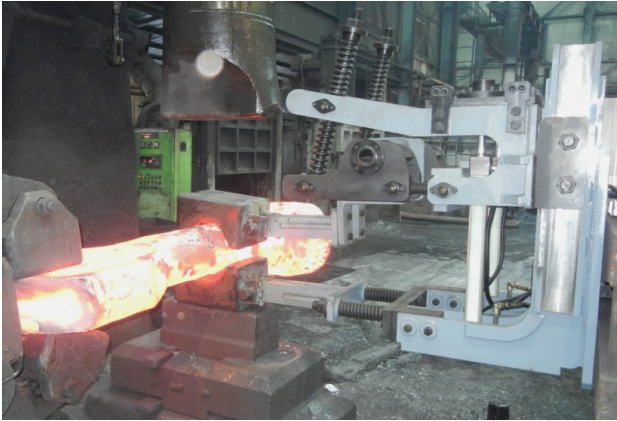


Fig. 8 Test production of 1,500 kg connecting rod

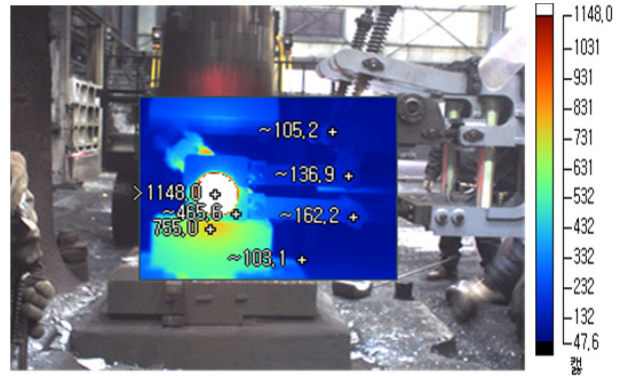


Fig. 11 Temperature distribution of production process (attachment)



Fig. 9 Compare the size of 100 kg and 1,500 kg connecting rod



(a) Manual production



(b) Attachment production

Fig. 12 Comparison of quality

Fig. 10 및 Fig. 11은 100 kg급 커넥팅로드의 시험 생산 시 금형 및 어태치먼트에 전달되는 열분포를 열화상카메라로 촬영한 것을 나타내었다. Fig. 10에서 보는바와 같이 작업자가 직접 금형을 핸들링 할 경우 작업자에게 전해지는 열은 약 200 °C 이상으로 열에 의한 화상의 원인이 될 수 있음을 확인 할 수 있었고 Fig. 11에는 어태치먼트로 작업할 경우를 촬영한 것으로 어태치먼트에 전달되는 열은 대부분 금형 지지대에서 흡수하여 장비의 작동과 관계되는 부분으로는 열전달이 일어나지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

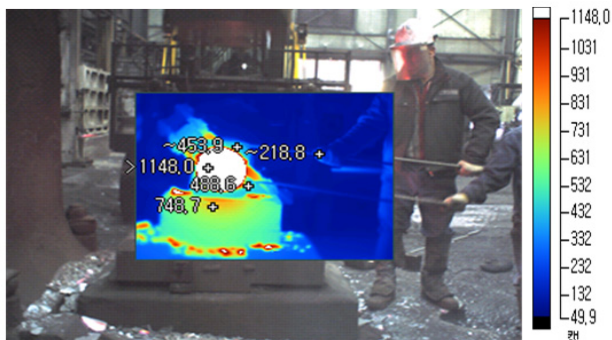


Fig. 10 Temperature distribution of the production process(person)

Fig. 12는 개발된 장비를 이용하여 생산한 제품과 기존 방식으로 생산한 제품의 표면 품질을 비교한 그림이다. Fig. 12 (a)에서 보듯 기존의 방식에 의해 생산된 제품은 표면이 일정하지 못하고 굴곡이 심한 것을 확인할 수 있는데 이는 그라인더 공정을 한 번 더 거쳐야 하는 문제점을 가지고 있으며, 심할 경우 제품으로 사용할 수 없는 정도의 문제점을 가지고 있다. 이러한 불량률이 약 20 %정도를 차지한다. 반면 Fig. 12 (b)에서 보듯 개발 장비를 이용할 경우 표면이 일정하게 제작되는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 개발 장비를 이용할 경우 그라인더 공정을 거

치지 않아도 되므로 공정 개선을 통한 원가 절감을 꾀할 수 있고 나아가 불량률을 획기적으로 줄여 품질을 향상 시킬 수 있는 장점이 있다.

5. 결 론

대형 선박용 엔진 및 발전 플랜트용 엔진에 사용되는 커넥팅로드의 생산성 향상을 위한 어태치먼트의 개발을 위해 시제품을 제작하여 시험 한 결과 해머로부터 전해지는 충격을 충분히 흡수할 수 있는 어태치먼트를 개발하였고 이를 통해 현재 약 20 %의 불량률을 획기적으로 절감할 수 있었고 또한 초대형(1,000 kg 이상)의 자유단조 단강품의 생산에도 확대 적용이 가능하여 가공에 의해 버려지는 소재의 낭비도 절감 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 작업자의 안전 확보를 통한 산업재해를 줄 일 수 있을 것이고 또한 기피 직업의 인식에서 탈피하여 인력난의 해소에도 기여할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2011-0021376)이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. H. S. An, Y. J. Cho, Y. H. Choi and D. W. Lee, 2011, "Development of manufacturing technique of multi-tasking machine tools for large scale marine engine crankshaft", Proceeding of the KSMTE (Spring), pp. 288-289.
2. Y. C. Kwon, J. H. Lee, S. W. Lee, Y. S. Jung, N. S. Kim and Y. S. Lee, 2007, "A study on Cavity Closure Behavior During Hot Open Die Forging Process", Trans of the Materials Processing, Vol. 16, No. 4, pp. 293-298.
3. Y. C. Park et al., 2007, "Multi-level design preform shape optimization of ship connecting rod considering production process", Proceeding of the KSPE (Spring), pp. 527-528.
4. D. Y. Kim et al., 2003, "A Study on the Open Die Forging Preform Shape of Crank Throw for Large Ship Engines", Proceeding of the KSTP (Spring), pp. 191-194.
5. J. Y. Kim and C. Kim, 2010, "Analysis of Filling and Stresses in the Hot Forging Process Depending on Flange Die Shapes", Trans of the KSME(B), Vol. 34, No. 4, pp. 423-430.
6. B. H. Cho et al., 1995, "Forging Manipulator Development", Korea Institute of Machinery & Materials.