

Cam 착탈 방식의 모터코어 적층금형 기술을 적용한 Stator와 Rotor의 다종 혼류 생산에 대한 연구

박동환[#], 황평주¹

Experimental Study on Mixed-Model Production of Stator and Rotor using Motor Core Laminated Stamping Die Technology for Attaching and Detaching Cam

D. H. Park, P. J. Hwang

(Received June 21, 2017 / Revised July 6, 2017 / Accepted July 20, 2017)

Abstract

Mixed-model production technology is a method of producing multiple products with one production process and production line in order to reduce wasted manpower and adjust to market trends. In other words, mixed-model production is a flexible production system that changes production volume by model according to market demand. This study has developed a progressive laminated stamping die technology to enable flexible production of a motor core consisting of attaching and detaching the Cam on the back of the punch so that two kinds of stator and two kinds of rotor could be produced in one progressive die.

Key Words : Cam, Motor Core, Stator, Rotor, Mixed-Model Production, Laminated Stamping

1. 서론

세계적으로 에너지 자원 고갈과 지구 온난화 문제가 심각하게 제기되어 전동기(motor)의 고효율이 요구되고 있다. 전동기는 전력을 이용하여 회전운동의 힘을 얻는 기계로 모터의 축에 기계적 부하를 연결하여 운전한다. 각종 전자부품에 요구되는 가장 큰 특징으로 부품의 경량화 및 고정밀화, 고성능화, 부품수 절감 등을 들 수 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위하여 소성가공, 즉 프레스 작업에 의한 부품 생산이 늘어나고 있는데, 특히 정밀한 소형 부품의 양산화를 위해 프레스 가공의 고속 자동화 작업 기법이 도입되고 있다[1, 2]. 이러한 정밀 부품의 대량 생산에 적합한 생산수단으로는 자동화가 용이하

고 정밀도가 높은 프로그레시브(progressive) 금형을 들 수 있다[3, 4].

프로그레시브 금형은 높은 작업능률 및 경제성을 보장할 수 있는 연속 생산용 프레스 금형으로 여러 공정이 조합되어 있어 금형 가격이 높다. 모터코어(motor core)는 돌기부에 코일이 감겨 전류가 흐르면 자기장을 발생시키는 역할을 한다. 모터의 작동 효율을 높이기 위해서는 코어 내부에 자기력이 잘 통과해야 하며, 이러한 이유로 모터코어는 얇은 금속 재료를 성형하고, 성형된 소재를 원하는 매수만큼 순차적으로 적층하여 제작한다. 적층된 소재간의 결합력은 모터의 성능과 수명에 중요한 영향을 미치므로 결합력을 향상시킬 수 있는 금형의 설계변수를 설정해주어야 한다[5]. 프로그레시브 금형은 여러

1. 송보스틸㈜

Corresponding Author : Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, E-mail: pdh@ghi.re.kr

개의 공정 조합으로 구성되기 때문에 여러 공정 중에 어느 하나의 공정에서 문제가 발생한다면 전체 공정에 영향을 미치게 된다. 즉, 프로그레시브 금형에서 소재 특성, 제품 생산 수량, 치수정밀도, 스프링백, 성형 하중 등을 고려하여 최적의 스트립 레이아웃도를 설계하여야 한다[6~10]. 재료 이송은 롤러(roller), 그립(grip) 등의 기계적 방법이나 혹은 공기압을 사용하게 되는데, 공정 수가 많은 경우 이송 피치의 누적오차 때문에 위치정밀도가 저하된다. 이러한 위치정밀도를 보정하는 수단으로서 파일럿 핀(pilot pin)이 사용된다.

혼류 생산기술은 일본 도요타 자동차가 도입한 생산시스템이며 하나의 생산 프로세스, 생산 라인으로 복수의 제품을 생산하는 방식이다[11, 12]. 즉, 혼류생산은 시장수요에 따라 차종별 생산량을 바꾸는 유연한 생산체제라고 할 수 있다. 국내기업의 혼류생산은 완성차 업체를 중심으로 시장수요에 따라 차종을 바꾸는 유연한 생산체제가 정착되어 있지만, 자동차 부품업체에서는 활발히 적용되고 있지 않다. 현재 제품의 주기는 짧아지고, 한 공장에서 한 제품만 생산하는 구시대적 시스템으로는 수요를 따라갈 수 없다. 인력낭비도 줄이고 시장흐름에 맞춰가기 위해서는 혼류생산이 필수적이다. 따라서 모터코어의 혼류 생산기술은 여러 종류의 스테이터(stator)와 로터(rotor)를 하나의 금형에서 동시 생산이 가능하도록 펀치 뒷면에 Cam을 착탈 방식으로 구성하였다. 기존 1종류의 Stator와 1종류의 Rotor 생산에서 Cam 착탈 방식으로 여러 종류의 Stator와 Rotor를 동시에 유연생산이 가능하다. 그러므로 본 연구는 Cam 착탈 방식을 적용하여 2종류의 스테이터와 로터의 다중 혼류생산이 가능하고, 유연하게 생산할 수 있도록 프로그레시브 적층금형 기술을 개발하였다.

2. 혼류 생산 실험

2.1 적층금형 공정설계

2종류의 스테이터와 2종류의 로터를 혼류 생산하기 위하여 스트립 레이아웃을 작성해야 한다. 스트립 레이아웃은 2열 배열로 재료이용률을 향상하기 위하여 이송 피치, 여유 폭 등을 결정하고 정밀한 위치정밀도를 맞추기 위하여 파일럿 핀을 설계하였다. 피가공재는 압연 방향과 기타 방향에 균일한 자기 특성을 가지며 회전기기의 철심 소재로 이용되는

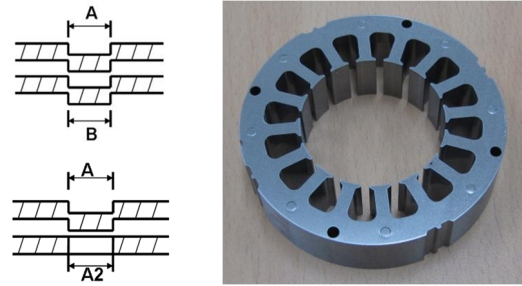
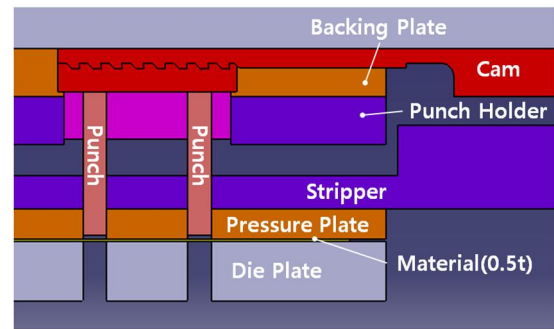
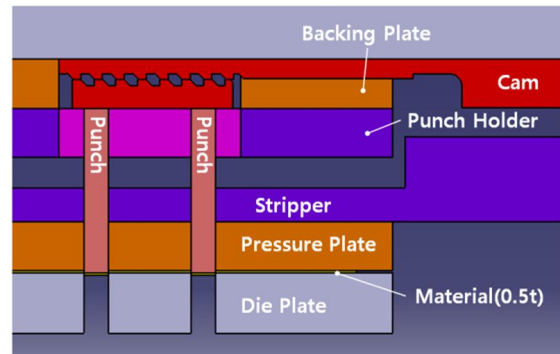


Fig. 1 Interlock method of motor core laminated stamping



(a) Before attaching Cam



(b) After attaching Cam

Fig. 2 Cam assembly of motor core laminated stamping die of before and after attaching Cam

무방향성 전기강판(50PN1300, 두께 0.5mm)을 사용하였다. 모터코어 적층의 원리는 피가공재의 소성변형을 이용하는 것으로 피가공재의 일부분을 Fig. 1과 같이 피가공재 두께의 2/3를 타발하여 돌기를 형성함으로써 윗장과 아랫장의 돌기부를 밀착시킴에 의해 순차적으로 적층되며, 제품 분리는 캠을 이용하여 펀치(punch) 높이에 단차를 줌으로써 제품 분리가 이루어지도록 하였다. 모터코어 적층금형에서 적층용 돌기와 구멍의 끼워맞춤이 각기 다른 공정에서 수행되므로 각 공정 사이의 피치가 정확해야 한다. 그렇지 않을 경우 한쪽으로 구멍과 돌기 사이

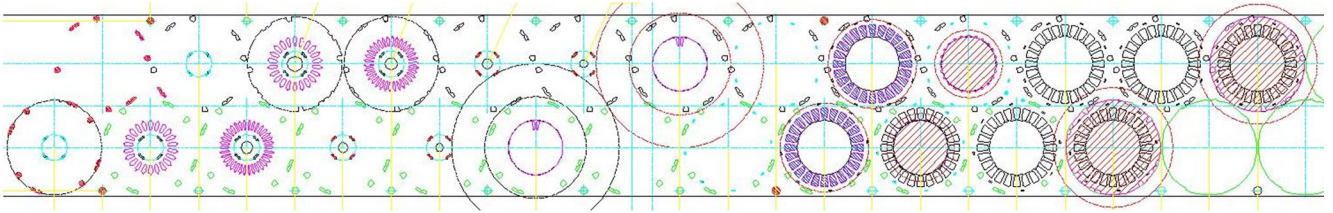


Fig. 3 Strip layout sketch of 2 cavity motor core

에 간섭이 일어나면 압입이 불안하고 적층력이 떨어지게 된다. 이에 압입 간섭량은 양쪽으로 $10\mu\text{m}$ 정도 적용하였다.

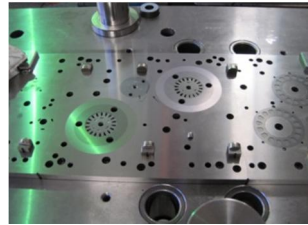
Cam 착탈 방식의 모터코어 적층금형 기술을 적용하기 위하여 2종류의 스테이터와 로터 형상을 다단 공정으로 나누어 각각 펀치 뒷면에 착탈이 가능한 캠(Cam)을 구성하였다. Fig. 2는 펀치 뒷면에 설치된 착탈 캠을 보여준다. 캠 착탈 메커니즘은 펀치 뒷면에 캠을 설치하여 왕복 운동하도록 한다. 캠이 가동되면 펀치 뒷면을 받쳐주어 펀치 작업이 진행된다. 즉, 모터코어 2열 적층금형의 공정설계에서 펀치 뒷면에 Cam 착탈 방식을 적용하여 펀치가 가동되도록 설계하였다. 또한, 적층금형 공정설계에서 최적의 이송 피치를 결정하기 위하여 소재두께 0.5mm에서 이송 잔폭은 1.3mm, 앞뒤 잔폭은 1.5mm로 설계하였다. 이에 따라, 재료이용률은 59.2%로 계산된다. Fig. 3은 모터코어 적층금형의 스트립 레이아웃도를 보여준다.

2.2 적층금형 제작

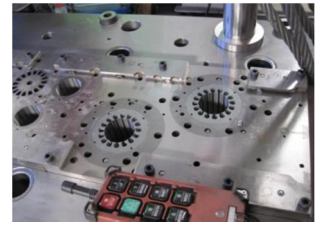
모터코어 적층금형 방식은 프레스 생산속도 300 SPM 이상의 고속 생산을 위한 가동 스트리퍼(stripper) 구조의 프로그레시브 금형으로 제작하였다. 모터코어 적층금형 제작은 일반 금형과 달리 유도 모터의 모터코어 Rotor에서 구동 회전의 불균일을 감소하기 위하여 인접하는 박판을 일정각도로 빗나가게 판재를 조금씩 회전시켜 적층한다. 이러한 기술을 Skew라 하는데, 이 Skew기술을 얻기 위해 블랭킹 다이(blanking die)를 회전시킬 수 있는 구조로 만들고, 블랭킹 다이를 프레스 행정(stroke)에 동기시켜 일정한 각도로 회전시켜 회전력을 얻는다. Fig. 4는 판재를 회전 적층하기 위하여 금형 측면에 장착되어 있는 Skew Motor를 보여주고, Fig. 5는 판재가 적층되어 있는 블랭킹 다이를 보여준다.



Fig. 4 Skew motor of motor core laminated stamping die



(a) Stator



(b) Rotor

Fig. 5 Blanking die of motor core laminated stamping

모터코어 적층금형의 위치정밀도에 영향을 미치는 인자로는 가이드 포스트(guide post), 파일럿 핀(pilot pin), 프레스(press) 등이 있다. 가이드 포스트는 금형의 상형과 하형의 위치를 결정하고 유지하는 역할을 하는데, 고속 타발을 위해 볼 리테이너(ball retainer) 방식을 적용하였다. 파일럿 핀은 소재가 금형 내에서 정확한 피치로 이송되도록 하고, 대량생산 시에 마모를 줄이기 위해서 초경합금을 사용하였다. 또한, 적층금형의 고정밀도 유지와 금형수명 향상을 위해 펀치와 다이도 초경합금 소재로 제작하고, 펀치와 다이의 클리어런스(clearance)는 편층으로 6~8% 정도 적용하였다. Fig. 6은 2종류의 스테이터와 2종류의 로터를 혼류 생산할 수 있는 모터코어 적층금형을 보여준다. 적층금형 다이하이트는 415mm이고, 이송 피치는 81.5mm이고, 피가공 재료 폭은 157.5mm로 코일재를 사용하였다.

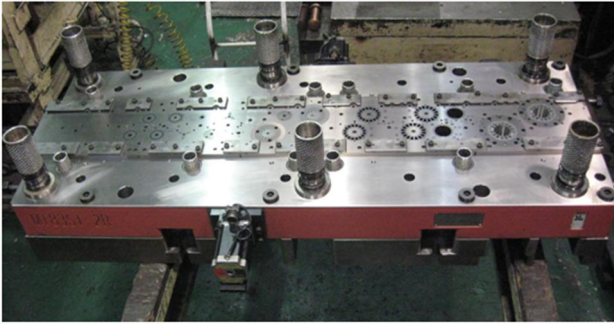


Fig. 6 Motor core laminated stamping die



Fig. 7 Press tryout of motor core laminated stamping die



Fig. 8 Uncoiler, leveller, loop control arm for producing motor core

프레스는 고속가공에서 정밀도가 높은 프레스를 사용할 필요가 있다. 특히, 사용소재 두께가 얇아질수록 하사점 정밀도가 필요하므로 동적 정밀도가 높은 프레스 사용이 필수적이므로 정밀도가 높은 AIDA 300톤 프레스를 사용하여 금형시험을 수행하였다. Fig. 7은 모터코어 적층금형이 장착된 프레스 시험작업 장면을 보여준다. 프레스 생산 공정은 먼저 코일 소재를 언코일러(uncoiler)에 장착하여

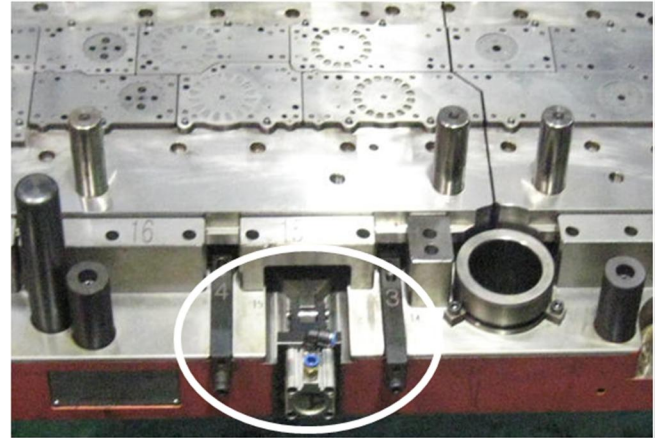


Fig. 9 Cam installed on the back of the punch of upper shoe

코일 안쪽에 압축응력을 골고루 퍼기 위하여 레벨러(leveller)에서 평탄 작업을 한다. 이어서 루프 제어 아암(loop control arm)에서 코일 안쪽과 바깥쪽을 압축응력과 인장응력이 작용하도록 하여 코일 안쪽과 바깥쪽의 응력을 풀어준다. 피더(feeder)에서는 일정한 피치만큼 계속적으로 밀어주도록 한다. 마지막으로 프레스에서 프로그레시브 금형을 통과하면서 모터코어 제품을 생산하게 된다. Fig. 8은 프레스 부대설비인 Uncoiler, Leveller, Loop Control Arm를 보여준다.

3. 실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 소재는 코일재로 폭과 두께가 157.5mm, 0.5mm인 무방향성 전기강판을 사용하여 300톤 프레스에서 실험을 진행하였다. 모터코어 적층금형에서 Cam 착탈 방식은 캠 작동에 의해 왕복운동을 하며 필요할 때에만 작동하여 펀치가 가동되도록 제작하였다. Fig. 9는 펀치 뒷면에 설치된 캠을 보여준다. 모터코어 로터의 회전 적층(skew) 기술은 블랭킹 다이를 회전시킬 수 있는 구조로 만들고, 프레스 행정(stroke)에 동기시켜 일정한 각도로 회전시켜 회전력을 얻는 기술이다. 금형 트리아아웃에서 Skew 선이 불균일하여 워엄 기어와 링 기어의 유격 조정으로 Skew 선의 불균일 문제를 해결하였다. Fig. 10은 회전 적층기술을 적용한 모터코어 Rotor 제품을 보여준다. 모터코어 적층금형 트리아아웃에서 하나의 금형으로 2종류의 Rotor와 2종류의 Stator 등 총 4종류의 모터코어 제품을 시험 생산할 수 있었다.

Table 1 Measurement results of motor core laminated product

Inspection items	Target tolerance	Result tolerance
Clamping force	8kgf	8.4kgf
Concentricity	0.05mm	0.008mm
Perpendicularity	0.2°	0.035°
Outer diameter	0.05mm	0.009mm
Side runout	0.05mm	0.035mm

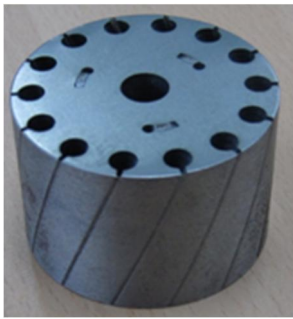


Fig.10 Rotor product with rotating lamination technology

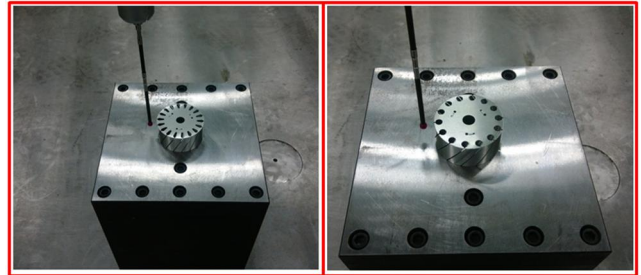


Fig.12 3D measurement of rotor product

측정결과를 보여준다. Rotor 체결력 시험에서 Embossing부 높이를 조정하여 체결력 8.4kgf로 측정되어 만족하고, 동심도는 Punch 및 Die의 위치를 여러 차례 수정하여 최종적으로 0.008mm로 공차를 만족하였다. Fig. 12는 로터 제품을 3차원 정밀 측정기로 측정하는 모습을 보여준다. 직각도와 외경은 공차를 만족하고, 측면 흔들림은 0.035mm로 공차를 만족하였다. 그러므로 Cam 착탈에 의한 Rotor 및 Stator 혼류생산 기술을 개발하여 2종류의 스테이터와 로터를 금형 교환 없이 곧바로 생산할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 Cam 착탈 방식의 모터코어 적층금형 기술을 적용한 스테이터와 로터의 다종 혼류생산 기술을 성공적으로 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 모터코어의 다종 혼류생산을 위하여 2종류의 스테이터와 로터를 다단 공정으로 나누어 펀치 뒷면에 착탈식 캠을 설계하였다. 캠의 왕복운동으로 캠이 펀치 뒷면을 받쳐주어 펀치가 가동될 수 있도록 설계 제작하였다.
- (2) 모터코어 부품을 혼류 생산하기 위하여 다단 공정의 스트립 레이아웃 설계, Cam 착탈 방식의 금형 구조 변경, 로터의 회전 적층기술 등을 통하여 하나의 프로그래시브 금형에서 2종류의 스테이터와 2종류의 로터를 혼류 생산할 수 있었다.
- (3) 모터코어의 스테이터와 로터를 하나의 적층금형 내에서 동시 생산이 가능하고, 또한 2종류의 스테이터와 로터를 혼류 생산이 가능하므로 유연 생산 가능성을 확인하였다.
- (4) 또한, 모터코어 부품인 스테이터와 로터 등을 혼류 생산하기 위해서는 모터코어 적층금형의 최적 공정설계 기술이 중요함을 알 수 있었으며, 최적 공

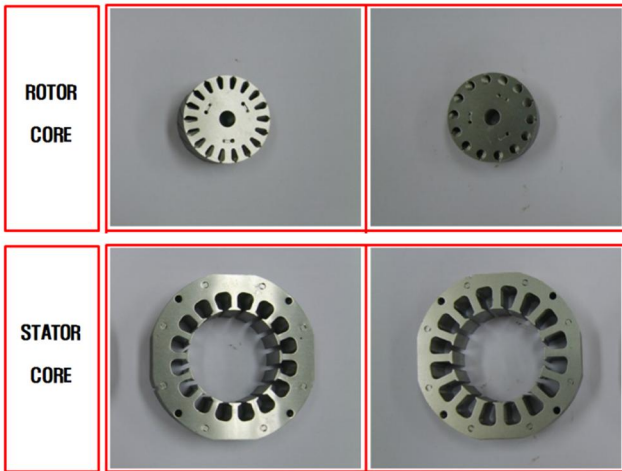


Fig.11 Rotor and stator product of motor core laminated stamping die

Fig. 11은 모터코어 2열 적층금형으로 생산된 Rotor 및 Stator를 보여준다. 따라서, 모터코어 2열 적층금형에서 제품형상을 전후 공정으로 나누어 펀치 뒷면에 Cam 착탈 방식을 적용하여 펀치가 가동되게 제작하여 2종류의 스테이터와 2종류의 로터를 혼류 생산할 수 있었다.

Table 1은 모터코어 스테이터와 로터 적층 제품의

정설계와 Cam 착탈 방식의 금형 구조 개선으로 향후 각각 3종류 이상의 스테이터와 로터를 하나의 금형에서 혼류 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] S. K. Sitaraman, G. L. Kinzel, T. Altan, 1991, A Knowledge-Based System for Process-Sequence Design in Axisymmetric Sheet-Metal Forming, *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 25, No. 3, pp. 247~271.
- [2] B. S. So, D. H. Park, T. J. Ko, 2008, Hybrid Manufacturing Technologies, *J. Kor. Soc. Precis. Eng.*, Vol. 25, No. 9, pp. 7~13.
- [3] Y. J. Ko, H. S. Kwak, J. H. Bae, C. Kim, 2014, Progressive Process Design for Delta Sash in Vehicles, *J. Kor. Soc. Precis. Eng.*, Vol. 31, No. 12, pp. 1161~1170.
- [4] D. C. Lee, J. W. Yun, 2017, Study on the Automatic Strip Layout Design of Shield Connector, *J. Kor. Academia-Industrial Cooperation Soc.*, Vol. 18, No. 2, pp. 450~455.
- [5] S. J. Lim, S. H. Kim, K. K. Choi, 2010, A Study on Development of Small Motor Core Die for High Efficiency Induction Motor, *J. Kor. Academia-Industrial Cooperation Soc.*, Vol. 11, No. 2, pp. 455~460.
- [6] K. H. Ahn, D. H. Yoo, M. H. Seo, S. H. Park, K. S. Chung, 2009, Spring-Back Prediction of TWIP Automotive Sheets, *Met. Mater. Int.*, Vol. 15, No. 4, pp. 637~647.
- [7] D. H. Kim, D. H. Yoon, S. S. Seol, D. W. Jung, 2016, Study on Spring-Back Effect according to Roll Gap and Forming Velocity of Roll Forming Process, *J. Kor. Soc. Precis. Eng.*, Vol. 33, No. 6, pp. 477~483.
- [8] S. H. Kwon, H. S. Lee, Y. S. Lee, S. W. Kim, C. Y. Jung, S. Hong, 2016, Compensation Design to Reduce Springback in Sheet Metal Forming of 1.2GPa Ultra High Strength Steel, *Trans. Mater. Process.*, Vol. 25, No. 5, pp. 301~305.
- [9] B. G. Kim, I. S. Lee, Y. T. Keum, 2009, Study on the Springback Reduction of Automotive Advanced High Strength Steel Panel, *Trans. Mater. Process.*, Vol. 18, No. 6, pp. 488~493.
- [10] D. H. Park, H. H. Kwon, 2016, Development of Automotive Seat Rail Parts for Improving Shape Fixability of Ultra High Strength Steel of 980MPa, *J. Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng.*, Vol. 15, No. 5, pp. 137~144.
- [11] H. J. Shin, 2006, Development of Hierarchical Production Planning and Control System for Mixed-Model Assembly Manufacture - An Application in Refrigerator Factory, *IE Interfaces*, Vol. 19, No. 1, pp. 34~42.
- [12] D. H. Park, J. J. Gu, 2014, Experimental Study of New Welding Assembly Technology Applied with Mixed-Model Production Method, *J. Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng.*, Vol. 23, No. 6, pp. 602~608.