

## 엠보싱 알루미늄 판재의 기계적특성과 스프링백 평가 (제1보)

김영석<sup>1\*</sup>, 조준행<sup>2</sup>, Van-Cuong Do<sup>1</sup>, 신동우<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>경북대학교 기계공학부, <sup>2</sup>(주)세원 기술연구소, <sup>3</sup>한국염색기술연구소

### Evaluation of mechanical properties and springback for embossed aluminum sheet - part I

Young-Suk Kim<sup>1\*</sup>, Jun-Haeng Cho<sup>2</sup>, Van-Cuong Do<sup>1</sup>, Dong-Woo Shin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

<sup>2</sup>SEWON R&D Center, <sup>3</sup>DYETEC

**요 약** 엠보싱된 알루미늄 판재는 표면적이 증가하여 방열효과가 뛰어나고 가공경화에 의해 굽힘강성이 증가하여 자동차 열차단기에 널리 사용된다. 하지만 판재의 특성상 주름발생률이 높아 프레스 성형에 많은 제약이 따른다. 본 연구에서는 3차원 구조 알루미늄 판재의 프레스 성형성 평가를 위한 기초연구로 3차원 구조 엠보싱 콘 형상 판재의 기계적특성을 평가하고 굽힘실험을 통해 프레스 가공 후 발생하는 스프링백을 정량적으로 평가하였다. 엠보싱 판재는 패턴의 방향에 따라 인장특성이 상이하다. 특히 평행 엠보싱 시편의 경우 항복응력이 감소하며 대각 엠보싱 시편의 경우 항복응력이 증가하게 되고 영률의 감소가 크게 나타난다. 그 결과 굽힘 성형가공 후에 스프링 백에 영향을 미친다.

**Abstract** Embossed aluminum sheets were been used in heat insulation purpose for automative exhaust parts because of increasing their surface areas and stiffness reinforcement. However, there are many restrictions because of high rate of wrinkle occurrence on press working. We have performed the tensile and bending tests for embossed sheets to clarity its mechanical properties and springback characteristics. Embossed aluminum sheets showed a different flow stress after plastic yielding due to flattening the embossed cone shape. Above all, yield stress of parallel embossed specimen decreases while its diagonal one increases and the decrease of young's modulus in the embossed sheets contributes to the increase of springback amount.

**Key Words** : Bending test, Embossed aluminum panel, Springback, Tensile test

## 1. 서 론

최근 자동차 산업에 있어서 지구환경 보호를 위한 노력이 경주되고 있는 가운데 경량 소재로서 알루미늄 소재가 각광을 받고 있으며 고급차를 중심으로 차체의 내외 판넬에 알루미늄 판재가 선별적으로 사용되고 있다.[1]

그중에서도 배기계(머플러)의 경우에 200°C~750°C 정도 고열의 엔진 배기가스의 방열과 차열(heat shield)을 위한 목적으로 차체 하부에 엠보싱된 알루미늄 판넬

(또는 2중 알루미늄 판넬) 혹은 알루미늄-실리콘 합금이 코팅된 강판이 널리 사용되고 있다(Figure 2).[2] 이 엠보싱 판넬(3차원 구조 알루미늄 판넬)은 통상 압연공정, 프레스 또는 하이드로 포밍에 의해 제조되며, 엠보싱 판넬은 콘 형상, 다이아몬드 형 등 다양한 형상을 갖고 있다.[3] 통상 높이가 2~3mm인 3차원 구조 판넬은 표면적이 증가하기 때문에 방열효과가 매우 뛰어나며 또한 부가된 소성변형에 의한 가공경화효과(strain hardening effect)에 의해 굽힘강성(stiffness reinforcement)이 증가

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: 2014R1A2A2A01005903)

\*Corresponding Author : Young Suk Kim (Kyungpook National University)

Tel: +82-53-950-5580 email: caekim@knu.ac.kr

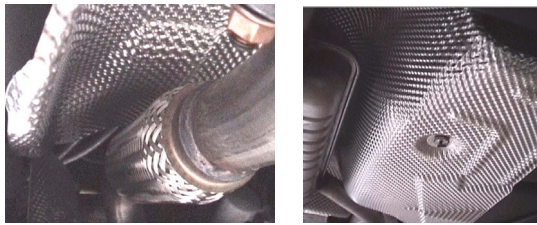
Received January 26, 2015

Revised February 5, 2015

Accepted February 12, 2015

한다. 그러나 3차원 구조 고유의 형상으로 인해 프레스 성형 중에 주름 발생률이 높아 프레스 성형에 많은 제약이 따른다는 것으로 알려져 있다.[4]

자동차 패널을 가공하기 위한 금형의 설계, 생산에 있어서 AutoForm, PamS tamp, ABAQUS, LS-DYNA 등의 전용 SW를 사용한 유한요소해석기술이 최근 금형산업 현장에서 금형설계와 드로잉 공법개발에 널리 적용되고 있으며 해석정밀도도 신뢰할 정도인 것으로 알려져 있다. 그러나 엠보싱 판넬의 최적 프레스 성형을 위한 금형설계나 해석기술에 대한 연구 사례는 거의 없다.[5,6]



[Fig. 1] Application of embossed panels for heat protector

본 연구에서는 피치 6.4mm, 높이 0.7mm인 콘형 엠보싱 판재(cone shaped embossing sheet)의 방향별 기계적 특성을 평가하고 엠보싱 형상이 프레스 가공 후 스프링백에 미치는 영향을 평가하였다.

## 2. 본론

### 2.1 인장실험

본 연구에서 사용한 소재는 두께가 0.54mm 인 3004-P 알루미늄 판재이다. 이 판재를 엠보싱 콘형 롤러로 압연하여 피치 6.4mm, 높이 0.7mm의 엠보싱 콘형 배열 판재를 취득하였다. 소재의 기계적 특성을 구하기 위하여 KS B 0801 13호(평행부 폭 12.5mm, 평행부 길이 50mm)에 따라 엠보싱 가공 전의 평평한 원소재 시편(as-received flat specimen)과 Figure 2와 같이 엠보싱 가공된 3차원 구조의 평행 엠보싱 시편(parallel embossed specimen) 및 대각 엠보싱 시편(diagonal embossed specimen)을 Figure 3에서와 같이 레이저 절단하여 채취한 다음, Instron 5569의 인장시험기를 사용하여 KS B 082 규격에 따라 변위제어방식으로 인장시험을 수행하였다. 여기서 평행 엠보싱 판재는 엠보싱 가공된 산과 골이

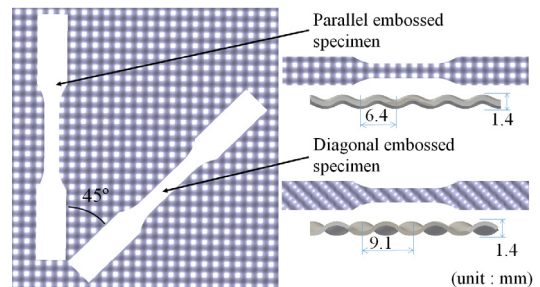
인장방향과 동일 열상에 교대로 배치되어 있는 것을 말하며, 대각 엠보싱 판재는 엠보싱 가공된 산과 골이 서로 다른 열에 배치되어 있는 것을 의미한다.

본 인장시험을 통해 평평한 원소재와 엠보싱 판넬의 방향별 인장특성의 차이를 규명하였다. 인장시험은 각방향으로 3개 썩의 시편을 채취하여 수행하였고 그 결과를 평균하여 나타내었다.

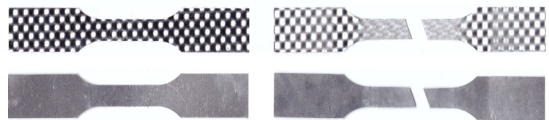
### 2.2 굽힘실험

소성가공 중에 발생하는 재료의 스프링백의 크기를 정량적으로 평가하는 수단으로 굽힘실험이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 Figure 4에 나타난 금형셋트를 이용하여 200mm(L)×50mm(W) 크기로 절단된 엠보싱 판넬을 V-굽힘실험 및 U-드로오 굽힘실험을 실시한 후에 스프링백 값을 측정하였다.[7]

실험에 대한 신뢰도 확보를 위해 반복시험을 수행하여 평균값을 택하였다. 인장 응력-변형률 선도는 압연방향으로 3개의 시편을 채취하여 인장실험하여 동일한 변형률에 대해서 응력값들을 산술평균하여 나타내었다. 또한 스프링백값의 경우는 총 5회의 굽힘실험을 수행하여 최대값과 최소값을 제외한 값들의 평균으로 구하였다. 굽힘실험에 앞서 시편에 강판의 방향운활유로 사용되고 있는 P-DBH를 미량 균일 도포하였다.

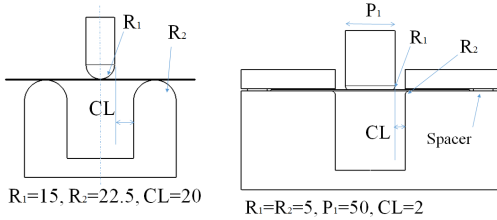


[Fig. 2] Schematics of the cone-shaped embossing sheet.

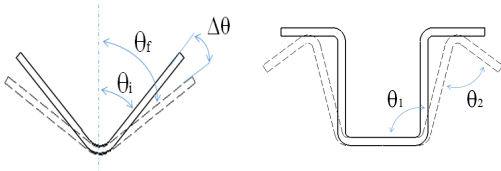


[Fig. 3] Tensile specimens of as-received and tested results for diagonal embossed sheet

Figure 5에서와 같이 V-굽힘실험에서는 성형 후에 탄성복원에 의한 스프링백 량으로 벌어진 각도( $\Delta\theta$ )를, U-드로오 굽힘실험 후에는 편치반경 부의 스프링백 각( $\theta_1$ ), 다이반경부의 스프링백 각( $\theta_2$ )을 측정하였다. 스프링백 각도는 성형 후의 시편 단면을 스캔 장비로 디지털화하여 AutoCAD 소프트웨어를 이용하여 구하였다.<sup>(8)</sup>



[Fig. 4] Die sets for V-bending and U-draw bend tests(unit : mm)



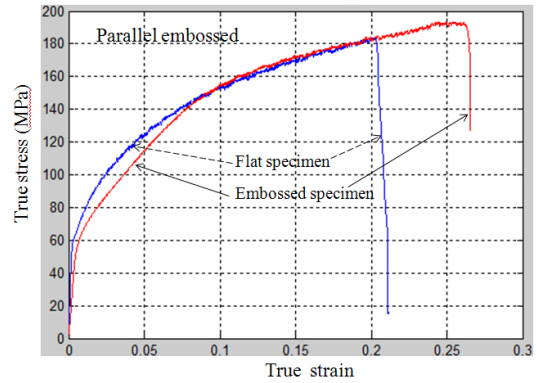
[Fig. 5] Measurement of springback amount for V-bending and U-draw bend tests

### 2.3 인장실험 결과

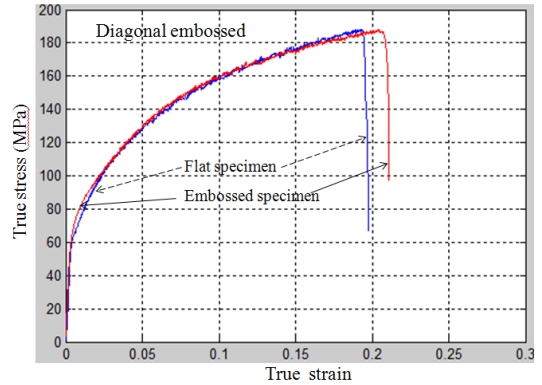
Table 1에 인장실험 결과를 요약하였다. Figure 6과 Figure 7에 각각 평행 엠보싱 판재와 대각 엠보싱 판재의 인장응력-변형률 선도(유동곡선)를 평평한 원소재와 비교하여 나타내었다.

Figure 7의 진응력-진변형률 선도로부터 영률 E는 원소재와 비교하여 평행 엠보싱된 판재의 경우는 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.(원소재 E=70GPa, 평행 엠보싱 판재 E=47GPa) 엠보싱된 판재에서 구한 영률은 재료 고유의 영률이 아니고 엠보싱된 형상에 따라 결정되는 겉보기 영률(apparent modulus of elasticity)이다.

본 연구에서는 진응력-진변형률 선도로부터 초기에 진변형률의 증가에 따라 응력이 직선적으로 증가하는 탄성변형 구간에서 진응력과 진변형률의 기울기로 영률을 평가하였다. 원소재의 경우는 진 변형률이 0.00074 까지, 평행 엠보싱 판재의 경우는 진변형률이 0.0011 까지를 비례 탄성구간으로 판단하여 영률을 구하였다.



[Fig. 6] Tensile stress-strain curves for as-received and parallel embossed specimens



[Fig. 7] Tensile stress-strain curves for as-received and diagonal embossed specimens

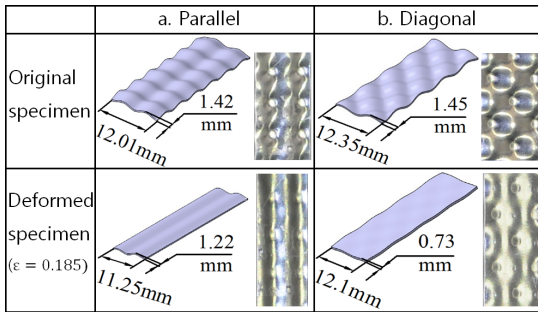
한편 평평한 원소재는 명확한 항복응력을 보이고 있는데 반해 평행 엠보싱 판재는 항복응력이 명확하지 않다. 또한 평행 엠보싱 판재는 항복직후에 유동응력이 원소재와 비교하면 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 0.2% 율셋 변형률에서의 응력값을 항복응력으로 정의하였다.

이는 Figure 8(a)에서와 같이 평행 엠보싱 판재의 경우는 엠보싱 된 산과 골이 인장방향과 동일 열상에 교대로 배치되어 있기 때문에 판재가 인장 소성변형을 받으면 엠보싱 가공된 산과 산, 골과 골 사이에 굽힘력(bending moment)이 작용하여 산과 골이 각각 소성복원되면서 판재의 소성 변형률을 증가시키기 때문으로 사료된다.

그러나 소성변형률이 약 0.085 이상 증가하면 엠보싱 형상이 복원되어(restoration) 거의 펴진 상태가 되기 때

문에 원소재의 유동곡선을 따른다는 것을 알 수 있다.

한편 본 알루미늄 소재의 경우에 판재가 과단되기 전까지의 최대 하중에 대응하는 인장강도에서의 최대 연신률은 원소재의 경우가 약 20% 정도인 것에 비해 엠보싱 가공된 판재는 약 27%정도로 향상되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 엠보싱된 판재의 경우에 인장 초기에 낮은 항복응력과 과단 연신률이 크기 때문에 평평한 원소재와 비교하면 프레스 가공성이 향상될 것이라는 것을 예측할 수 있다.



[Fig. 8] Deformation patterns of gauge section area for (a) parallel embossed specimen (left) and (b) diagonal embossed specimen (right) at original state and deformed state of the strain 0.185

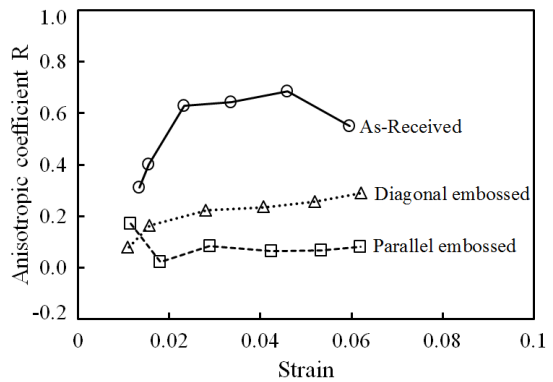
Figure 7의 대각 엠보싱 판재와 원소재의 유동곡선에서는 원소재에 대한 대각 엠보싱 판재의 영률이 낮게 평가되고 있으며(대각 엠보싱 판재  $E=58.3\text{GPa}$ ) 또한 항복 직후 유동응력이 원소재에 비하여 높게 나타나고 있다.

[Table 1] Mechanical properties for as-received flat and embossed specimens

Direction	As-received	Embossed	
	Mean	Parallel	Diagonal
$\sigma_Y$ (MPa)	60.5	57.4	64.0
$\sigma_{TS}$ (MPa)	183	193	184
$E$ (GPa)	70.0	47.0	58.3
Strain hardening exponent, N	0.30	0.32	0.27
Strength coefficient, K (MPa)	312	317	296
Elongation (%)	0.2	0.27	0.21
Plastic anisotropic coefficient, R	0.59	0.03	0.23

이는 Figure 8(b)에서와 같이 대각 엠보싱 판재의 경우는 엠보싱된 가공된 산과 골이 서로 다른 열에 배치되어 있으므로 판재가 인장 소성변형을 받으면 각각의 산과 골이 각각 인장하중을 지탱하면서 초기의 엠보싱된 형상을 유지하면서 인장변형되고 있기 때문이다.

Figure 8에 평행 엠보싱 판재와 대각 엠보싱 판재가 인장 소성변형 하에서 소성변형이 발전해가는 양상을 나타내었다. 앞에서 설명한 바와 같이 평행 엠보싱 판재의 경우는 인장변형률이 진행될 수록 엠보싱 깊이가 거의 유지되면서 폭방향으로 큰 수축이 일어나고 있다. 즉, 인장변형률이 0.185에 달하면 평행 엠보싱 판재의 폭이 12.01mm에서 11.25mm로 수축하며 골의 높이는 1.42mm에서 1.22mm로 낮아지고 있음을 알 수 있다. 반면 대각 엠보싱 판재의 경우는 시편 전체에 걸쳐서 엠보싱된 형상이 퍼지면서 엠보싱 깊이가 크게 줄어들고 있으나(h: 1.45mm→0.73mm) 그 대신에 폭방향으로는 변형이 매우 작게 일어나고 있음(w: 12.35mm→12.1mm)을 알 수 있다.



[Fig. 9] Effect of embossing forming and tensile strain on plastic anisotropic coefficient

Figure 9에 인장변형률에 따른 소성이방성계수 R 값 (=폭방향변형률/두께방향변형률)을 나타내었다. 일반적으로 판재의 R값은 재료의 냉간 압연과정에 부여된 집합조직학적 특성으로 결정되는 값으로 재료 고유의 값 (intrinsic value)이다. 따라서 재료가 소성변형을 받았더라도 집합조직이 크게 바뀌지 않는 한은 R값은 변하지 않는다. 본 연구에서 엠보싱 판재에 대해서 구한 R값은 재료 고유의 R 값이라기보다 판재의 엠보싱 형상을 반영한 거시적인 견보기 값에 해당한다. 이 거시적인 소성이

방성계수 R값의 크기는 다축 하에서 소성변형을 받고 있는 엠보싱 판재의 소성변형거동을 설명하는데 유익하다.

일반적으로 알루미늄 판재의 경우에 R값은 인장변형률이 0.1 (또는 0.15)에서 측정하지만 본 연구에서는 인장변형률 크기에 따른 거시적인 R값의 변화를 측정하였다. 인장변형률이 0.06근방에서 R값은 원소재의 경우에 약 0.59, 평행 엠보싱 소재는 약 0.03, 대각 엠보싱 소재는 약 0.23으로 나타났다. 알루미늄 소재를 엠보싱 가공하여 3차원 구조를 부여하는 것에 의해 소성이방성계수가 평행 엠보싱 소재에서 크게 감소하고 있음을 알 수 있다.

또한 평행 엠보싱 소재의 경우는 인장변형률이 0.04근 처에서는 R값이 영에 가까운 값을 갖는 특이한 현상도 보이는데 이는 인장변형률이 0.04 근방에서 시편이 인장되면서 엠보싱된 형상이 평평하게 퍼지는 것에 의해 폭이 증가하였기 때문으로 생각한다. 이 후에는 원소재와 같이 평평한 상태로 변형이 계속되기 때문에 원소재와 같은 거동을 보인다.

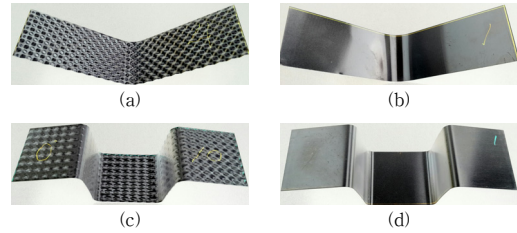
경우에 따라서는 거시적인 소성이방성계수 R 값이 음인 경우도 관찰되고 있다. 즉, 원소재의 소성이방성 계수 값이 비록 양의 값을 가질지라도 3차원 구조로 가공된 엠보싱 판재는 시편의 형상에 따라 음의 소성이방성 계수 값을 가질 수도 있음을 의미한다.

엠보싱 판재의 딥 드로잉 가공에서의 가공성(deep drawability)과 장출가공에서의 성형한계(forming limit)에 대해서는 후속 연구로 남겨두기로 한다.

### 2.4 V-굽힘실험 및 U-드로오 굽힘실험 결과

Figure 10에 원소재와 엠보싱 판재의 V-굽힘실험 및 U-드로오 굽힘실험 후 형상을 나타내었고 Table 2에 굽힘실험 결과를 요약하였다. V-굽힘실험에서는 소성변형률이 작은 영역에서 굽힘실험이 진행되므로 Figure 6, 7의 유동곡선의 초기에서 알 수 있듯이 스프링백이 많이 발생할 것이라고 유추할 수 있다.

U-드로오 굽힘실험에서는 소성변형률이 큰 영역에서 굽힘실험이 진행되므로 실험과정 중에 엠보싱 형상이 퍼지며 Figure 6, 7에서 유추할 수 있듯이 두 경우에 모두 스프링백이 작게 발생하였다. 소성변형률이 큰 영역에서는 3차원 구조 판재의 유동곡선이 원소재와 큰 차이가 없으므로 스프링백 량 또한 큰 차이가 없을 것이라는 결론은 타당하다.



[Fig. 10] Deformed shape of specimens. (a) embossed specimens after V-bending tests. (b) as-received specimens after V-bending tests. (c) embossed specimens after U-draw bend tests. (d) as-received specimens after U-draw bend tests.

[Table 2] Springback amount for as-received and embossed specimens along each direction.

Specimen	V-bending			U-draw bending		
	$2\theta_i$	$2\theta_f$	$\Delta 2\theta$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_1 + \theta_2$
Parallel embossed	92.2	115	22.4	98.4	90.8	189
Diagonal embossed	91.8	114	22.2	99.2	89.1	188
As-received	93.1	111	17.7	97.6	89.3	187

## 3. 결 론

본 연구에서는 큰 형상 엠보싱 알루미늄 판재의 인장 특성을 평가하여 엠보싱 소재의 결보기 영향과 이방성계수가 감소한다는 것을 밝혔다. 그리고 평행 엠보싱 시편의 경우 항복응력이 원소재에 비해 감소하고 대각 엠보싱 시편의 경우 항복응력이 원소재에 비해 증가하는 현상을 발견하였다. 또한 굽힘성형 실험결과 엠보싱 판재는 소성 변형률이 작은 영역에서는 스프링백이 크게 평가되고 소성 변형률이 큰 영역에서는 스프링백이 큰 차이가 없음을 보였다.

본 연구에서는 엠보싱 판재의 인장실험에서 소성변형 특성을 평가하기 위하여 평행부의 폭이 12.5mm 인 KS B0801 13호 시편을 사용하였다. 이 시편은 원래 평평한 판재의 인장실험에 적합한 것으로 본 연구에서와 같이 3차원 구조를 갖는 엠보싱 판재에 대해서도 적용이 가능한지에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 한 가지 종류의 엠보싱 형상만을 대상으로 하였지만 향후 다른 깊이의 엠보싱 판재의 성형특

성을 평가하고 유한요소 해석을 수행하여 엠보싱 판재의 자동차 부품에의 적용을 지원하고자 한다.

## References

- [1] Y.S. Kim, K.S. Kim, N.C. Kwon, "Press formabilities of aluminum sheets for autobody application," J. Korea Soc. Auto. Eng., Vol.2, No.1, pp.73-83, 1994.
- [2] Y.S. Kim et al., "Evaluation apparatus and method for insulation efficiency of the heat protector of the automobile," Korea Patent, No.10-1004202, 2010.
- [3] [http://automotive.arcelormittal.com/europe/products/alusi/alusi\\_specific\\_applications/EN](http://automotive.arcelormittal.com/europe/products/alusi/alusi_specific_applications/EN)
- [4] M.K. Kim, "Mold structure and heat protector for heat insulation of automobile," Korea Patent No. 10-2005-0042370, 2006.
- [5] H.Guler, R.Ozcan, "Effects of the rotary embossing process on mechanical properties in aluminum alloy 1050 sheets," Met. Mater. Int., Vol.18, No.2, pp.225-230, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12540-012-2004-8>
- [6] H. Kuwabara et al., "Forming simulation of emboss formation by roll forming," Proc. 208 Japanese Spring Conf. Technol. Plasticity, Tokyo, pp.253-254, 2008.
- [7] S.W. Lee, "Prediction of springback of DP590 steel sheets using Yoshida-Uemori kinematic hardening model," Master Thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, 2012.
- [8] J.G. Choi, S.C. Choi, M.G. Lee, H.Y. Kim, "Measurement of springback of AZ31B Mg alloy sheet in OSU drawbend test," Trans. Mater. Process., Vol.16, No. 6, pp.447-451, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5228/KSPP.2007.16.6.447>

### 김 영 석(Young-Suk Kim)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 4월 : 일본 Kobe 대학교 기계공학 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1994년 2월 : 포항 산업과학연구원 연구실장
- 1994년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

생산공학, 소성역학, 나노/마이크로역학, FEM 및 Biomechanics

### 조 준 행(Jun-Haeng Cho)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국산업기술대학교 졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 재학 중
- 2011년 3월 ~ 현재 : (주)세원 연구소 재직 중

<관심분야>

자동차 생산기술, 소성가공 기술

### Van-Cuong Do

[정회원]



- 2013년 5월 : Ha Noi University of Science and Technology
- 2013년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 박사과정 재학 중

<관심분야>

판재 소성가공, 복합재료 가공 기술

### 신 동 우(Dong-Woo Shin)

[정회원]



- 2009년 2월 : 건양대학교원 졸업
- 2012년 3월 현재 : 경북대학교 대학원 박사과정 재학 중
- 2015년 1월 ~ 현재 : DYETEC 재직 중

<관심분야>

복합재료 소재 및 생산기술, 소성가공 기술