

금형의 표면정도와 가공방향에 따른 판재의 마찰특성

김동환* 조형근* 김병민** 오세욱*** 박춘달*** 황지선***

Friction Characteristics of Sheets for The Surface Finish and The Stoning Directions of The Dies

Dong-Hwan Kim, Hyoung-Keun Cho, Byung-Min Kim, Se-Wook Oh, Chun-Dal Park and Ji-Seon Hwang

Key Words : Friction Factor(마찰계수), Stoning Directions(사상 방향), Die Roughness(다이조도), NN(신경망), Orthogonal Array(직교배열)

Abstract

This papers investigates the combined effects of parameters such as die surface finish, die directionality of stoning, contact pressure and draw speed on the resulting friction factor. Also, this study show the correlation between the NN(Neural Network) and DOE(Design of Experiments) to reduce the number of experiments without the loss of the effects of parameter upon friction factor. The experiments were run in random order with at least three replicates. It was found that the directional stoning orthogonal to the pulling direction is lower friction than directional stoning parallel to the pulling direction using FCD55 die and SPEN

기호설명

- μ_{ave} : 평균마찰계수
- SF : 스키닝 계수(Scoring Factor)
- P_{min} : 마찰측정구간(TMS)의 초기하중
- S/N : 신호 대 잡음(Signal to Noise)
- y_i : 특성치(Characteristics)

1. 서 론

자동차 회사에서는 강판재의 성형에 관련한 문제들이 많은 부분을 차지하며, 제품에 따라 그 성형 형태도 다양하다. 특히, 스탬핑 공정 중에 복잡한 경계조건하에서 판재가 받는 변형은 기본적으로 장출변형, 드로잉변형, 굽힘변형과 장출플렌지 변형 그리고 이러한 변형의 조합으로 나타나고, 이런 변형하에서 재료의 결합없는 성형 여부가 큰 관심사이다. 자동차 강판의 스탬핑 공정은 연속 프레스 공정으로 판넬 형상의 결정을 위한 드로잉

금형과 후속공정을 행하고 있다. 특히, 판재의 체적에 비하여 금형과 판재의 접촉면적이 큰 프레스 공정이므로 마찰력의 크기가 판재의 스탬핑 성형성(Stamping Formability)에 큰 영향을 미친다[1,2].

일반적으로, 상대운동을 하는 두 면 사이에는 항상 마찰이 작용하고, 과도한 마찰과 마멸에 의해 제품특성에 손상이 발생할 수 있다. 재료의 마찰과 마멸현상은 재료 고유의 물성이 아닌 트라이보-시스템(Tribo-System)의 특성이므로, 재료의 마찰을 측정하고 그 현상을 완전히 이해하는 것은 어렵다. 트라이보-시스템의 변수에는 운동의 형태, 하중이나 접촉압력, 미끄럼 속도 및 온도와 같은 작동변수(Operating Variables)와 재료의 조직, 화학적 구성, 윤활유 및 표면상태와 같은 단일변수(Simple Parameters)가 있다. 그 중 표면상태는 다양한 방법에 의해 생성되고, 표면형상(Surface Profile)에 따라 마찰특성이 달라진다. 즉, 표면 형상은 마찰특성에 영향을 미치는 주요 원인 중의 하나이다.

지금까지 많은 연구결과, 고체간의 접촉 시 발생하는 마찰현상은 재료의 성질과 그 표면상태에 따라 크게 좌우된다는 일반적인 결론은 도출되었으나, 아직 마찰현상에 대한 기본적인 이론 또는

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터

*** ㈜현대자동차

해석이 명확하게 정립되지 않고 있다.

본 연구의 목적은 금형 표면의 가공방법 및 가공방향이 판재의 마찰특성에 미치는 영향을 알아보고 이러한 결과로 판재의 재질과 다이 특성에 따른 마찰특성의 데이터베이스 구축을 목표로 한다. 효율적인 마찰특성의 연구를 위하여 본 연구에서는 다구찌 방법과 신경망[3]을 이용하여 최소의 실험으로 다이 특성, 인출속도, 접촉 면적이 마찰특성에 미치는 영향과 금형의 가공방향이 마찰특성에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구에서는 FCD55 금형과 SPCEN 소재에 대하여 마찰실험을 수행하였다.

2. 마찰계수의 측정

박판성형에서 취급하는 계면에서의 접촉분제는 주로 미끄럼 마찰이다. Fig.1에 도시된 바와 같이 금형과 피가공물 계면에 수직으로 작용하는 힘을 N, 계면에 평행하게 작용하는 힘을 P 라 하면 마찰계수, μ 는 아래의 식(1)과 같이 주어진다.

$$\mu = \frac{P}{2 \times N} \quad (1)$$

여기서, N은 수직하중(Clamping Force)이며, P는 소재를 당기는 하중(Pulling Force)이다.

본 연구에서는 아래의 평균 마찰 계수 계산식을 이용하여 마찰측정을 하였다.

$$\mu_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^K \mu_n}{K} = \frac{\sum_{n=1}^K \frac{P_n}{2 \times N}}{K} \quad (2)$$

마찰실험 중 접촉면의 향상 또는 악화를 판정하는 계수로 마찰측정 시 변위의 이동에 따른 초기하중에 대한 측정하중의 변화량을 나타낸다. 이것을 스코어링 계수(Scoring Factor)라고 하며 아래와 같이 계산된다.

$$SF = \frac{P}{P_{lim}} \quad (3)$$

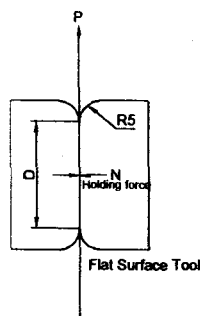


Fig. 1 Schematic view of straight pulling friction test

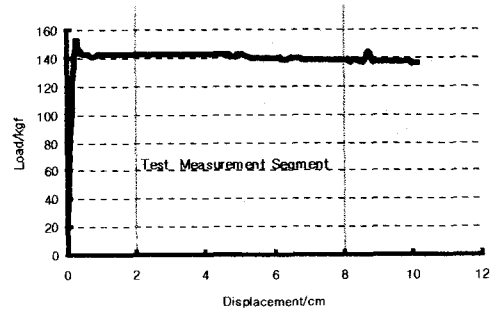


Fig. 2 The region of friction measurement

하중곡선을 분석하는 부분은 하중이 정상상태(Steady State)를 유지하는 구간(Test Measurement Segment)[4]에 한하여 측정한다. Fig.2에 100mm 인출 구간에서 하중 분석 구간을 나타내었다

SF의 값의 변동은 아래와 같이 분류된다.

SF=1 : 마찰이 일어나는 동안 접촉면의 무변화

SF>1 : 마찰이 일어나는 동안 접촉면의 악화

SF<1 : 마찰이 일어나는 동안 접촉면의 향상

If $0.9 < SF < 1.2$: SF=1(접촉면의 무변화)-No Scoring

평균 SF 값의 계산의 아래의 식(4)와 같다.

$$SF_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^K SF_n}{K} = \frac{\sum_{n=1}^K \frac{P_n}{P_{lim}}}{K} \quad (4)$$

식(4)의 평균 Scoring 계수를 계산하여 금형과 소재의 접촉면의 변화(무변화, 악화, 향상)를 판단한다.

3. 신경망과 다구찌 방법

제품 및 공정의 설계단계에서 실험의 측정데이터, 즉 특성치(Characteristics)가 수반하는 오차는 참 값으로부터의 치우침과 데이터의 편차로 나누어지는데, 편차로 인한 오차는 그 수정이 매우 어렵다. 따라서 특성치의 편차가 심한 제품은 품질이 낮다고 말할 수 있으며, 이 편차의 정도를 나타내는 지표로서 다구찌는 S/N 비(Signal To Noise Ratio)라는 개념을 도입하여 생산공정에 적용하였다[5]. 본 연구에서 고려한 망소특성식은 아래의 식(5)와 같다.

$$S/N_{Lb}(n) = -10 \log \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \quad (5)$$

여기서, r은 동일설계변수조합에서 잡음인자를

고려한 실험 횟수이며 n 은 설계변수조합으로 수행한 실험 횟수를 나타내며, y 는 특성치를, 그리고 첨자 i 동일설계변수조합에서 잡음인자를 고려한 실험 번호를 나타낸다.

직교배열표에 따라 설계된 설계변수조합으로부터 최적의 변수조합을 구하기 위하여 다구찌 방법으로 변환된 S/N 비를 신경망 학습의 목적값 (Target Value)으로 사용하였다. 신경망은 비선형 문제, 형상분류, 제어 등의 분야뿐만 아니라 함수근사까지 그 응용범위가 상당히 넓다. 본 연구에서는 감독학습의 역전파 학습 알고리즘을 이용하여 목적값과 학습으로 계산된 실제 출력값과의 차 (Root Mean Square Error)를 줄여나가도록 하였다.

신경망은 다음과 같은 특성을 가지고 있다. (1) 비 선형 입-출력에 대한 사상(Mapping)이 가능, (2) 새로운 입력 패턴에 대한 신속한 응답성, (3) 자체 능력을 최적화 하기 위해 자동적으로 연결 가중치 (Connection Weights) 및 심지어 구조(Neuron or Connection Type)의 조절이 가능한 제어기, 예측기, 패턴 인식기의 역할 그리고 (4)데이터의 분산 저장 방식으로 뉴런 및 연결 강도가 일부 손상을 입더라도 그 능력이 완만히 감소하는 결함 허용 시스템(Fault-Tolerant System)이다.

4. 실험

4.1 실험조건

실험에 사용된 시편은 SPCEN 이며 인장실험을 수행하여 시편의 두께와 초기 조도(Ra), 항복강도 및 인장강도, 연신율을 Table 1 에 나타내었다. 사용된 시편은 실험의 정확성을 위하여 부식, 스크래치 그리고 버(Burr)가 없는 건전한 시편만을 사용하였고 3 회 반복 실험을 원칙으로 한다.

Table 2 에 마찰실험조건을 나타내었다. 본 연구에서는 금형의 정도 및 사상방향에 대한 마찰특성을 평가하고자, Table 2 의 조건으로 시편의 인출

Table 1 Mechanical property of specimen

Specimen	T (mm)	Ra (μm)	YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)
SPCEN	0.7mm	0.92	181.34	310.96	41.7

Table 2 The experiment condition of friction test

Die (FCD55)	M	S1	S2
Holding pressure (kg/cm^2)	10	20	30
Pulling velocity (mm/sec)	1	15	30
Specimen size	50mm x 400mm		
Die contact area	57mm x 50mm		
Lubricant	No		

방향과 금형가공 방향이 (1)수평인 경우와 (2)수직인 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 여기서 M(Machining)은 기계 가공된 상태를 뜻하며, S(Stoning)은 사상 된 금형을 뜻한다. 사상의 정도에 따라 S1 과 S2 로 구분하였으며 S1 은 $0.6 \pm 0.1 \mu\text{m}$ (Ra), S2 는 $0.1 \pm 0.05 \mu\text{m}$ (Ra) 조도를 갖도록 가공되었다.

금형(FCD55)은 볼 직경 30mm 을 이용하여 회전수 6000rpm, 피드(Feed) 3000mm/s, 피치(Pitch) 0.7mm, 깊이 0.3mm 의 가공조건으로 블엔드밀 가공하였다. Table 2 에 나타나 있듯이, 이 기계가공을 거친 금형과 사상을 한 각각의 금형(S1, S2)을 사상방향과 수직방향에 대하여 조도를 측정하여 Table 3 에 나타내었다. 측정장비는 SJ201 (Mitutoyo 사, 측정길이 8mm)를 이용하였다. 마찰실험 용 다이 형상과 가공방향을 Fig.3 에 나타내었다. 또한 실험의 신뢰성확보를 위하여 다이의 평면도를 측정하여 평면도가 나오는 다이 만을 선별하여 실험을 수행하였다. 평면도 시험은 다이를 마찰시험금형에 장착하여 다이 사이에 흰 종이를 끼우고 일정 면압, $10 \text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 가압한 후, 흰 종이에 묻어 나오는 다이면 형상으로 판단하였다. Fig.3 에 평면도를 나타내었다.

Table 3 Roughness of die in straight pulling friction test

No.	Surface preparation		Estimation direction of die roughness	Ra(μm)	Rz(μm)	Ry(μm)	Rq(μm)
1	Machining	M	Pulling direction	1.55	9.37	6.75	2.24
			Vertical direction	1.84	11.13	9.25	2.24
2	Horizontal Stoning	S1	Pulling direction	0.64	3.41	2.84	0.87
			Vertical direction	0.79	6.43	3.98	1.62
3	Stoning	S2	Pulling direction	0.10	0.93	0.45	0.13
			Vertical direction	0.11	1.23	0.79	0.68
4	Orthogonal Stoning	S1	Pulling direction	0.81	6.56	4.39	1.61
			Vertical direction	0.62	4.44	2.95	0.92
5	Stoning	S2	Pulling direction	0.12	1.20	0.80	0.66
			Vertical direction	0.09	0.82	0.47	0.12

4.2 실험장치

본 연구에서는 평면마찰실험(Straight Pulling Friction Test)을 수행하여 다이의 표면특성과 접촉면압 그리고 소재의 인출속도가 마찰거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 평면마찰실험을 위해 제작된 마찰금형과 가압기를 U.T.M(Universal Testing Machine)에 장착하여 마찰실험을 수행하였다. Fig.4 에 마찰실험장치를 나타내었다

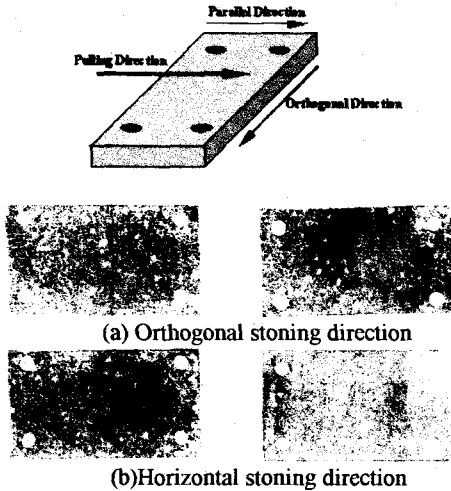


Fig. 3 Stoning direction and flatness of die in friction test

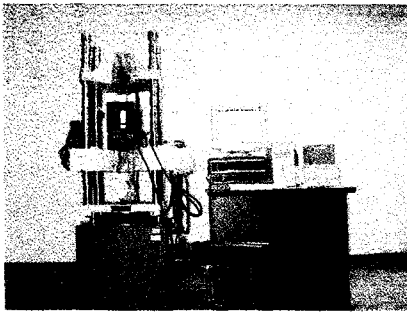


Fig. 4 Friction test apparatus-U.T.M

4.3 실험방법

4.3.1 변수수준결정

앞에서 서술하였듯이 본 연구에서는 다이표면특성과 접촉면압 그리고 인출속도를 변수로 하여 가공변수의 변수범위, 즉 변수 수준(Level)을 Table 4 에 나타내었다. 또한 금형 표면조도의 변동($\pm 0.1\mu\text{m-Ra}$)을 잡음인자로 설정하고, 이에 반복실험을 수행하여 평면마찰실험의 마찰계수측정에 정확도를 기하였다.

4.3.2 직교배열표

각 변수가 마찰에 미치는 영향을 파악하고 동시에 실험의 횟수를 줄이기 위하여 직교배열표에 형식에 따라 변수를 설정하여 마찰실험을 수행하였다. 사용된 직교배열표는 $L_9 3^4$ 형식을 이용하였다. 잡음인자를 외측배열에 배치하여 잡음인자의 영향도 조사하였다. 사용된 직교배열표를 Table 5 에 나타내었다.

직교배열표에 따라 (1)소재인출방향과 다이 가공방향이 동일한 경우(2)소재인출방향과 다이 가공방향이 수직인 경우에 잡음인자를 고려하여 (1)의 경우 18 번과 (2)의 경우 18 번의 실험을 수행하여 마찰계수를 구하였으며, 각각의 실험은 최소 3 번 이상의 반복실험으로 실험오차를 최소화 하였다.

Table 4 The levels of design and noise factor in friction tests

Design Parameters	Levels		
	0	1	2
A: Die (FCD55) surface finish	M	S1	S2
B: Pressure (kgf/cm ²)	10	20	30
C: Speed (mm/s)	1	15	30
Noise Factor	0		1
Roughness variation	+0.1		-0.1

5. 마찰실험결과 및 고찰

5.1 마찰계수의 측정

5.1.1 가공방향이 소재 인출방향에 수평인 경우
 직교배열표에 따라 금형의 가공방향과 소재인출방향이 동일한 경우 평면마찰실험을 수행하고 각 경우에 대한 마찰계수와 스코링계수를 구하여 Table 5 에 나타내었다. 그리고 특성치의 명확성을 위하여 잡음인자를 고려한 동일한 변수조합이 갖는 마찰계수를 다구찌 방법의 S/N 비로 변환하였다. 그리고 다이특성, 접촉면압, 인출속도가 SPEN 소재에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분산분석(ANOVA: Analysis of Variation) 하여 그 결과를 Table 6 에 나타내었다. Table 6 에서 알 수 있듯이, 마찰계수에 미치는 영향은 다이특성, 접촉면압, 인출속도의 순서로 그 영향이 크고 시편의 인출속도는 마찰계수에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 오차항이 극히 미소함으로 변수선정 및 각 변수의 마찰에 미치는 기여도 평가가 잘 되었음을 알 수 있다

Table 5 The OA table [1] - the results of friction test in the directional stoning parallel to the pulling direction

Trial no.	INNER ARRAY				OUTER ARRAY		
	Column number and Control Parameters				Noise Factors		
	Die roughness	Pulling Velocity	Contact Pressure	-	Roughness Variation of Dies		S/N
					0	1	
	1	2	3	4	Friction factor (μ)[SF]		
1	0	0	0	0	0.284[0.976]	0.281[0.972]	10.979
2	0	1	1	1	0.208[0.970]	0.194[0.969]	13.930
3	0	2	2	2	0.186[0.976]	0.167[0.984]	15.025
4	1	0	1	2	0.153[0.998]	0.150[0.990]	16.391
5	1	1	2	0	0.135[0.988]	0.130[0.997]	17.554
6	1	2	0	1	0.165[0.994]	0.161[0.952]	15.755
7	2	0	2	1	0.144[0.980]	0.140[1.001]	16.953
8	2	1	0	2	0.187[1.020]	0.170[0.996]	14.957
9	2	2	1	0	0.145[1.011]	0.143[0.999]	16.832

Table 6 ANOVA [1] table of in the directional stoning parallel to the pulling direction

Parameters [Column number in OA]	Average S/N value in level			Sum of Square	Number of Freedom	Mean Square	S'	F ratio [%]
	0	1	2					
Die roughness [1]	39.9628	49.7010	48.7433	19.205	2	9.602	18.113	17.59 † [56.2]
Pulling velocity [2]	44.3242	46.4423	47.6406	1.880	2	0.94		
Contact pressure [3]	41.6925	47.1546	49.5600	10.836	2	5.418	9.744	9.92 † [30.3]
Error [4]	45.3662	46.6397	46.4013	0.306	2	0.153		
Ep (pulling velocity)				2.186	4	0.546	4.370	[13.5]
Total				32.227	10			[100]

5.1.2 가공방향이 소재 인출방향에 수직인 경우 직교배열표에 따라 금형의 가공방향이 소재인출 방향에 수직인 경우 평판마찰실험을 수행하고 각 경우에 대한 마찰계수와 스코어링계수 그리고 잡음 인자를 고려한 각 변수조합이 갖는 마찰계수를 S/N 비로 변환하여 Table 7 에 나타내었다. Table 8 에 금형가공방향이 소재인출방향에 수직인 경우에 대한 분석분석 테이블을 작성하였다. 금형가공방향과 소재인출방향이 수평인 경우와 동일한 결과를 얻을 수 있었으며 인출속도 역시 마찰거동에 미치는 영향은 극히 작다는 사실을 확인할 수 있었다.

가공방향이 소재인출방향에 수평, 수직인 경우 접촉면의 변화를 판단하는 스코어링 계수(scoring factor)는 모든 실험조건에서 $0.9 < SF < 1.2$ ($SF \approx 1$) 이므로 접촉면의 무변화, 즉 No scoring 조건을 만족한다(Table 5, 7).

5.2 마찰계수의 예측

평판마찰실험을 수행하여 (1)가공방향이 소재인출방향에 수평인 경우 (2)가공방향이 소재인출방향에 수직인 경우의 마찰특성에 미치는 다이 가공상태, 접촉면압, 인출속도의 영향을 알아보았다. 실험계획법 중 하나인 다구찌 방법의 절차에 근거하여 직교배열표에 따라 각각 9 번의 실험과 잡음을 고려한 2 번씩의 반복으로 평판마찰실험 데이

터를 확보하였다. 본 절에서는 신경망을 이용하여 직교배열표의 다이특성, 접촉면압, 인출속도를 신경망의 입력데이터로 하고 변환된 마찰계수 값인 S/N 비를 출력데이터로 하여 미 해석된 변수조합에 대한 S/N 비(마찰계수)를 예측해 보았다. 본 연구에서는 Table 5,7 에서 가공방향이 인출방향과 수평, 수직인 두 경우에 대하여 각각 신경망 해석을 수행하여 가공방향에 따라 다이 조도, 접촉면압, 인출속도의 영향을 알아보았다. 아래에 신경망으로 예측한 두 경우에 대한 방법을 나타내었다.

먼저, 다이 가공방향이 소재 인출방향에 수평인 경우에 대하여, Table 5 에 나타나 있는 각 변수 수준의 값을 신경망의 입력데이터로 하고 변환된 마찰계수, S/N 비를 출력데이터로 학습하였다

Fig.5 에 다이 가공방향이 소재의 인출방향에 수평인 경우, 신경망으로 예측한 마찰계수에 미치는 다이특성(표면조도)과 접촉면압(10,20,30kg/cm²) 그리고 인출속도(1,15,30mm/s)관계에 대하여 나타내었다. 여기서 인출속도는 분산분석의 결과 그 영향이 다른 인자에 비해 매우 작았다. 그러나 신경망의 학습으로 인출속도의 영향도 분석하기 위하여 각 속도범위에서 접촉면압과 다이 조도가 마찰특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 분산분석결과와 마찬가지로 속도는 3 수준, 즉 30mm/s 일때, 마찰계수는 전체적으로 떨어지는 반면에 인출속도가 낮은 범위에서는 마찰계수는 크게 나타났다.

Table7 The OA table [2] - the results of friction test in the directional stoning orthogonal to the pulling direction

Trial no.	INNER ARRAY				OUTER ARRAY		
	Column number and Control Parameters				Noise Factors		
	Die roughness	Pulling Velocity	Contact Pressure	-	Roughness Variation of Dies		S/N
	1	2	3	4	0	1	
					Friction factor (μ)[SF]		
1	0	0	0	0	0.280[1.000]	0.250[9.918]	11.521
2	0	1	1	1	0.202[9.884]	0.190[9.838]	14.151
3	0	2	2	2	0.174[9.999]	0.201[9.868]	14.517
4	1	0	1	2	0.159[9.957]	0.155[9.886]	16.081
5	1	1	2	0	0.133[9.890]	0.127[9.865]	17.718
6	1	2	0	1	0.160[9.770]	0.165[9.776]	15.781
7	2	0	2	1	0.141[9.982]	0.139[1.002]	17.077
8	2	1	0	2	0.199[1.005]	0.168[1.013]	14.696
9	2	2	1	0	0.142[1.001]	0.140[1.001]	17.046

Table 8 ANOVA [2] table of in the directional stoning orthogonal to the pulling direction

Parameters [Column number in OA]	Average S/N value in level			Sum of Square	Number of Freedom	Mean Square	S'	F ratio [%]
	0	1	2					
Die roughness [1]	40.189	49.582	48.820	18.143	2	9.071	17.271	20.80 † [58.7]
Pulling velocity [2]	44.679	46.566	47.345	1.253	2	0.626		
Contact pressure [3]	41.999	47.278	49.313	9.500	2	4.750	8.628	10.89 ‡ [29.4]
Error [4]	46.286	47.009	45.295	0.494	2	0.247		
Ep (pulling velocity)				1.747	4	0.436	3.491	[11.9]
Total				29.390	10		29.390	[100]

Fig.5 에서 알 수 있듯이, 압력에 따라 가장 낮은 마찰계수를 갖는 다이 가공상태를 살펴보면 접촉압력이 10kgf/cm² 일 때 다이 조도는 0.3 μ m ($\mu=0.160$), 접촉압력이 20kgf/cm² 인 경우에는 0.4 μ m ($\mu=0.142$) 그리고 30kgf/cm² 일 때는 0.5 μ m ($\mu=0.134$)이었다. 따라서 압력이 증가할수록 마찰계수는 낮아지며, 낮은 마찰계수를 갖는 다이 조도는 증가하는 경향을 실험적으로 알 수 있다.

다이 가공방향이 소재 인출방향에 수직인 경우에 대하여, Table 7 에 나타나 있는 각 변수 수준의 값을 신경망의 입력데이터로 하고 변환된 마찰계수, S/N 비를 출력데이터로 학습하였다. Fig.6 에는 신경망으로 예측한 다이특성(표면조도), 접촉면압(10,20,30kgf/cm²) 및 인출속도(1,15,30mm/s)에 대한 마찰계수를 나타내었다. Fig.6 는 앞에서 살펴보았던 Fig.5 와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 마찬가지로 가장 낮은 마찰계수를 갖는 속도범위는 30mm/s 이고, 이 때 다이 조도와 접촉면압이 마찰계수에 미치는 영향을 살펴보면, 낮은 마찰계수를 갖는 다이 가공상태는 접촉압력이 10kgf/cm² 일 때 다이조도는 0.2 μ m($\mu=0.160$), 접촉압력이 20kgf/cm² 인 경우에는 0.3 μ m($\mu=0.140$) 그리고 30kgf/cm² 일 때는 0.3 μ m($\mu=0.130$)이었다. 다이 가공방향이 소재 인출방향과 수평인 경우와 마찬가지로 접촉압력이 증가할수록 다이 조도의 상승에 따라 마찰계수는

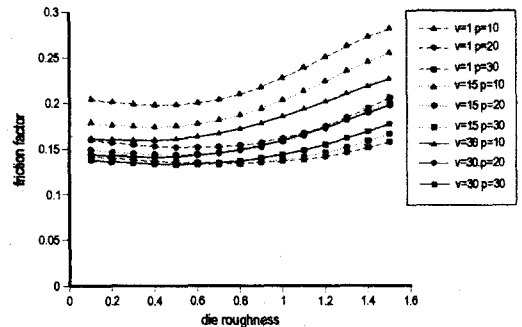


Fig. 5 Friction factor in the directional stoning parallel to the pulling direction

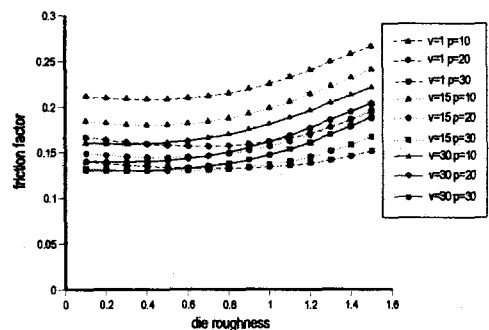


Fig. 6 Friction factor in the directional stoning orthogonal to the pulling direction

완만하게 상승하는 것을 알 수 있다.

Fig.5.6 에서 인출속도가 마찰계수에 미치는 영향을 본 연구에서 고려한 변수범위에서 살펴보면, 낮은 속도범위로 갈수록 마찰계수는 증가한다는 것을 알 수 있다.

다이 가공방향에 따른 마찰특성을 살펴보면 가공방향이 소재인출방향에 수직인 경우 마찰계수가 낮게 나타났다. 그리고 접촉면압이 상승할수록 가공방향이 수직인 경우 마찰계수는 더 떨어지는 것으로 나타났다. 두 경우 다이의 조도가 낮아질수록(0.3-0.1 μm) 마찰이 다소 증가하는 경향을 나타내지만, 다이 가공방향이 수평인 경우가 수직인 경우에 비해 마찰계수의 상승 폭이 크다.

5.3 검증

신경망으로 예측한 미 해석변수조합의 마찰계수에 대한 검증실험을 위하여 Table 9 의 조도를 갖는 다이를 준비하여 마찰실험을 수행하였다.

여기서, 신경망으로 예측된 동일조건에서 가공방향이 소재인출방향에 수직인 경우가 가공방향이 수평인 경우보다 마찰계수가 낮음을 확인 할 수 있었고, 면압이 증가할수록 마찰계수는 낮아지는 특성을 확인 할 수 있었다. 검증실험에서도 모든 실험의 스키어링계수는 No scoring 조건을 만족하였다.

Table 9 Verification of NN results in friction test

Ra	FCD55	V (mm/sec)	P (kg/cm ²)	Noise		ANV results
				0	1	
				μ	μ	μ
P:0.08 V:0.13	Horizontal	30	25	0.146	0.145	0.141
P:0.08 V:0.13	Horizontal	30	30	0.136	0.135	0.137
P:0.07 V:0.10	Vertical-1	30	25	0.134	0.139	0.135
P:0.07 V:0.10	Vertical-1	30	30	0.128	0.132	0.131
P:0.38 V:0.32	Vertical-2	30	30	0.124	0.126	0.130

*P: Pulling direction, V: Vertical direction

6. 결론

본 연구에서는 구조금형, FCD55 와 판재, SPCCN 의 평판마찰실험을 수행하여 다이 특성, 접촉면압 그리고 인출속도가 판재의 마찰거동에 미치는 영향과 금형 가공방향에 따른 판재의 마찰특성에 관해 실험하였다. 또한 적은 실험횟수로 마찰특성에 미치는 각각의 변수영향을 알아보기 위해 다구찌 방법을 적용하였으며, 미 해석 변수조합이 가지는 마찰계수를 예측하기 위해 신경망을 이용하였다. 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1)다구찌 방법의 직교배열표를 이용하여 적은 실험횟수로 금형 조도, 접촉면압, 인출속도가 마찰거동에 미치는 영향을 알 수 있었다.
- 2)신경망을 이용하여 미 해석 변수조합이 가지는 마찰계수를 예측할 수 있었다.
- 3)판재의 마찰특성에 영향을 미치는 인자로 금형 조도, 접촉면압 그리고 인출속도의 영향을 알아본 결과 금형 조도가 가장 큰 영향을 미치며 접촉면압의 영향도 큰 것으로 나타났다. 그러나 인출속도는 마찰거동에 미치는 영향이 매우 작았다.
- 4)금형 가공방향이 소재 인출방향에 수직인 경우가 수평인 경우보다 마찰계수가 낮았다.
- 5)접촉면압이 상승함에 따라 마찰계수를 최소로 하는 금형의 조도는 상승하는 경향을 가지며 금형 가공방향이 소재 인출방향에 수평인 경우는 30kgf/cm² 에서 금형 조도가 Ra 0.5 μm 일 때 마찰계수($\mu=0.134$)가 낮았으며, 금형 가공방향이 소재 인출방향에 수직인 경우는 30kgf/cm² 에서 금형 조도가 Ra 0.3 μm 일 때 마찰계수($\mu=0.130$)가 낮았다.
- 6)금형 조도가 낮을수록 마찰계수가 낮아지는 것은 아니며, 특히 금형 가공방향이 소재 인출방향에 수평인 경우 금형 조도가 약 0.3 μm 이하 영역에서 마찰이 다소 상승하는 경향을 나타내었고 금형 가공방향이 소재 인출방향에 수직인 경우에는 약 0.3 μm 이하에서 균일한 마찰계수를 갖는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 현대 자동차㈜의 지원으로 수행된 연구이며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) W.R.D.Wilson, "Friction and lubrication in sheet metal forming", in Mechanic of Sheet Metal Forming; Behaviour and Analysis, D.P.Koistinen and N.W.Wang, Plenum Press, New York, pp.157-177, 1978
- (2) J.A.Schey, "Tribology in metal working: friction, lubrication and wear", American Society for Metal, Metal Park, OH, 1983
- (3) D.H.Kim, D.J.Kim, B.M.Kim, "The Application of Neural Network and Statistical Method to Process Design in Metal Forming Process", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 15,pp.886-894, 1999
- (4) W.J.Wojtowicz, "Lubricating characteristics of drawing compound", SME creative Mfg Semi., 1970
- (5) P.J.Ross, "Taguchi Techniques for Quality Engineering", McGraw-Hill, 1988