

Olfactory Sensitivity Characteristics of Odors from Injection Molding Processing

Young-Jae Ryu* · Bo-Seong Kim** · Ye-Hyun Lee* · Seung-Hyun Kwak*
Sang-Hyeok Seo* · Tae-Beum Ryu* · Byung-Chan Min*[†]

*Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

**Department of Philosophical Counseling and Psychology, Dong-Eui University

사출성형 공정에서 유발되는 냄새의 후각 감성 특성

류영재* · 김보성** · 이예현* · 광승현* · 서상혁* · 류태범* · 민병찬*[†]

*한밭대학교 산업경영공학과

**동의대학교 철학상담 · 심리학과

The purpose of this study was to explore olfactory sensitivity of odors from injection molding processing. To do this, the experiment was carried out in an injection molding factory, and participants were exposed to the environment where odor-substances (Formaldehyde, Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene) exist. In addition, we used the subjective scale using semantic adjectives as an olfactory sensitivity. As a result, the assessment structure of olfactory sensitivity was composed of eight factors (irritant, thermal, tense, unique, like-dislike, active, stable, masculine), and the main factor which was irritant characteristics explained 20% of the total olfactory sensibility. These results suggested that odors from injection molding processing would cause more negative emotional responses than the flavor which is mainly used in olfactory sensitivity. This study, as a basic study of the improvement in a factory environment for the efficiency of work, has limits in that it was conducted to the extent of identifying the olfactory sensitivity structure of those who were at a laboratory and who were exposed to the environment of odor substance induced in the injection molding processing. Therefore, for the method of removing malodorous substance, the effect of materials which can neutralize it, and the comparison of a direct performance in the environment where negative sensitivity structure exists, a series of studies which aim to improve the environment of injection molding factories, such as performance assessment in the environment of a factory and an office need to be conducted. It is expected that when these studies are put together, the improvement guidelines will be provided as a type that can maximize the effectiveness of work in the factory environment where injection molding processing is done.

Keywords : Injection Molding Factory, Odors, Olfactory Sensitivity, Irritant Factor, Negative Emotional Response

1. Introduction

사출성형(injection molding)은 수지의 가소성을 이용하

여 금형의 캐비티(cavity) 내에 수지를 밀어 넣고, 냉각하여 제품을 생산하는 일련의 공정이다[10]. 금속에 비해서 플라스틱이 가지고 있는 장점들, 즉 중량이 가볍고, 강도가 우수하며, 성형성, 절연성 등이 존재하기 때문에 사출성형 공정에 대한 요구는 매우 높다고 할 수 있다. 이로 인해 사출성형 공정에 대한 다수의 연구들이 사출성형 공정

Received 10 October 2016; Finally Revised 3 December 2016;

Accepted 5 December 2016

[†] Corresponding Author : bcmin@hanbat.ac.kr

의 특성과 공정관리 방법에 초점을 두고 진행되었다[3-4].

그러나 사출성형 공정에 직접 노출되어 있는 작업자의 관점에서 보면, 이들의 업무 효율성을 높일 수 있는 방안으로서 환경특성을 이해하는 과정 또한 중요하다고 할 수 있다. 이러한 주장은 물리적 환경특성과 인간 수행의 관계를 살펴본 연구들을 통해서 지지된다. 김보성 등[7]은 물리적 온열환경 요소들과 인간의 주의 행동반응의 관계를 살펴보았는데, 수행 촉진을 위해서는 난방과정에서는 습도의 감소와 평균복사온도의 증가가 요구되며, 냉방과정에서는 평균복사온도의 감소가 요구된다는 결과를 제시하였다. 한편 이영창 등[12]은 환경요소로서 LED 조명의 색 온도에 따라 인간의 행동 및 생리적 반응의 변화를 살펴보았는데, 색 온도가 높은 조건, 즉 푸른색 계열의 조명 색이 작업환경을 비추고 있을 때 작업자의 생리적 안정감이 유발될 수 있다고 주장하였다. 또한 좌식 작업자에게 있어서 의자의 시트공조를 통한 환경적 변화가 이들의 심리, 생리적 안정을 유발하는 데 영향을 미칠 수 있다는 연구결과도 제시되었다[6].

이러한 일련의 연구들을 통해 물리적 환경이 인간에게 미치는 영향이 크다는 사실을 인지할 수 있으나, 사출성형 공정은 사무실 환경이 아닌 공장 환경이라는 점에서 차이점을 발견할 수 있다. 공장 환경이 가지고 있는 요소들 중에서 작업자의 업무에 크게 영향을 줄 수 있는 환경적 요소로는 열과 수지로 인해 유발된 기체의 특성, 즉 냄새(odor)라 할 수 있다.

후각적 환경인 냄새에 대한 연구들은 어떤 냄새물질이 제시됨에 따른 주관적 평가결과와 더불어 냄새물질에 의해서 유발된 냄새가 인간의 반응에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 특히 냄새물질의 종류에 대한 관점에서 몇몇 연구들을 살펴보면, 권수에 등[11] 및 이규혜 등[17]은 섬유유연제 향에 대해서 사용자들의 감성특성을 평가했으며, 백은주 등[1]은 오렌지와 발레르산(valeric acid)에 의해 유발된 향에 대해서 감성특성을 분석하였다. 이외에도 민병찬 등[14]은 Takasago International Cooperation (Japan)에서 제공하는 T&T olfactometer에서 일부 냄새물질(methyl cyclopentenolone, isovaleric acid, γ -undecalactone)을 향 시료로 활용하여 이 향에 대한 감성평가를 진행하기도 하였다. 이러한 연구들의 특징을 요약하면, 향을 가진 단일한 냄새물질을 평가자들에게 제공하고 그에 대한 평가자들의 감성평가 결과를 분석했다는 점이다. 그러나 이는 복합적인 냄새물질이 유발될 수 있는 특정 환경에 대한 전반적 후각 감성평가는 이루어지지 않았다는 점에서 제한점을 가지고 있다고 볼 수 있다.

사출성형 공정이 이루어지는 공장 환경은 실험실 연구에서와 같은 단일한 냄새물질보다는 복합적 냄새물질이 존재할 가능성이 매우 높기 때문에, 사출성형 공정에

서 유발되는 냄새에 대해 후각 감성특성을 살펴보고자 하는 본 연구는 다음과 같은 의의를 갖는다. 이는 주로 단일한 냄새물질에 대한 후각 감성연구들의 제한점을 극복할 수 있다는 점이다. 다시 말하면 생태학적 타당성이 결여된 실험실 연구에서 벗어나 다양한 냄새물질이 반복되어 공존하는 특정 환경을 중심으로 냄새에 대한 감성 연구를 진행함으로써, 본 연구결과가 특정 환경에 직접적으로 적용될 수 있다는 장점을 갖게 된다는 점에서 의의가 크다고 할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 실험 참여자들로 하여금 사출성형 공정이 이루어지는 사출성형 공장 내에서, 사출성형 시 유발되는 냄새물질에 노출되도록 하여 형용사를 활용한 후각 감성 특성을 살펴보고자 한다.

2. Method

2.1 Participants

사출성형 공정에 참여한 경험이 없는 H대학교 남학생 14명이 실험에 참여하였다. 이들의 평균연령은 22.21(± 1.81)세였으며, 후각 민감성에 영향을 줄 수 있는 알코올, 흡연, 카페인 음료 등의 섭취를 실험 1일 전부터 제한하여 참여하였다.

2.2 Experimental Environments

실험에 사용된 환경은 대전 시내의 한 소규모 사출성형 공장에서 이루어졌다. 면적은 15 \times 20 \times 3.5m³이고, 23.8(± 2.2) $^{\circ}$ C의 실내온도와 55(± 5)%의 상대습도가 유지되었다. 실험 실시 상황에서는 5대의 소형 사출기(200t 이하)가 가동하고, 환기장치는 전체 환기팬 1대와 창문 두 곳과 출입문을 통해 평소 사출성형 공정 시와 동일한 상태에서 실시하였다. 사출성형기의 가동 중에 발생하는 소음의 영향을 최소화하기 위해서 실험 참여자에게 귀마개를 착용토록 하였다.

2.3 Indoor Air Quality

냄새 유발에 관여하는 실험 환경의 실내 공기질을 확인하기 위해서 H대학교 산학협력단에 의뢰하여 실내 공기질을 A, B 두 지점에서 측정하였다(IAQ-16-187). A지점은 합성수지 중 폴리아미드(PA)가 주로 사용된 지점이며, B지점은 합성수지 중 폴리부틸렌 테레프탈레이트(PBT)가 주로 사용된 지점이다. 실내 공기질 결과는 <Table 1>과 같다. 전체적인 실내 공기질에 대한 냄새 묘사는 매캐하고, 톱 쏘는 듯한 냄새로 표현되었다.

<Table 1> Indoor Air Quality of Experimental Environment

Ingredients	Test Spot A	Test Spot B	Mean
Formaldehyde	38.6	111.3	74.95
Benzene	14.5	35.2	24.85
Toluene	0.0	2,626.8	1,313.40
Ethylbenzene	19.9	20.4	20.15
Xylene	0.0	3.4	1.70
Styrene	0.0	45.2	22.60

2.4 Experimental Procedures

실험 참여자들은 실험에 앞서 실험에 대한 설명 및 실험 참가 동의서를 작성하였다. 이 후 본 실험에서는 실험 현장에서 유발되는 냄새물질에 노출된 이후에 후각 감성평가 질문에 응답하였다. 후각 감성평가 질문은 민병운 등 [15]의 연구에서 사용한 후각평가 형용사를 활용하였다. 질문에 제시된 형용사는 서로 대립되는 형용사 25쌍으로 좌우에 배치하고, 0점을 중심으로 각각에 더 가까운 정도에 체크하도록 하는 7점의 의미미분화 척도(semantic differential scale; -3~+3)로 구성되었다.

2.5 Data Analysis

사출성형 공정에서 유발되는 냄새의 후각 감성구조를 살펴보기 위해서 후각 감성평가 질문에 의해서 수집된 자료를 가지고 요인분석을 실시하였다. 요인분석 시 요인추출 방식이 다수 존재하지만, 유발된 냄새에 대한 후각 평가가 어떤 형용사 군집으로 형성되는지, 그리고 전체 분산이 최대한 설명할 수 있는 주된 성분을 추출한다는 목적 하에 주성분(principal component) 방식을 활용하였다[5]. 한편 요인회전에 있어서는 측정변수들 간의 구조를 파악하는 데 초점을 두는 방식으로 가장 널리 활용되고 있는 직교회전(orthogonal rotation)의 varimax 방식을 활용하였다.

3. Results

사출성형 공정에서 유발되는 냄새의 후각 감성평가를 위해 요인분석을 실시한 결과, <Table 2>와 같이 8개의 요인구조로 구성된 것으로 나타났다. 각 요인의 Eigenvalue는 1 이상이었으며, 총 누적 설명량(cumulative)은 91.009%로 나타났다. 각 요인별로 살펴보면 다음과 같다.

요인 1은 ‘자극성(irritant)’으로 ‘자극적이다-은은하다(A1)’, ‘강렬하다-미약하다(A2)’, ‘독하다-독하지 않다(A3)’, ‘매캐하다-감미롭다(A4)’, ‘진하다-연하다(A5)’, ‘불쾌하다-쾌

<Table 2> Results of Factor Analysis

Factor	Variables	Scores	Loadings	Variance(%)
1	A1	.929	5.098	20.390
	A2	.900		
	A3	.892		
	A4	.820		
	A5	.626		
	A6	.570		
	A7	.563		
2	B1	.874	3.518	14.070
	B2	-.798		
	B3	.778		
	B4	.583		
3	C1	.909	3.186	12.743
	C2	.863		
	C3	.771		
	C4	-.558		
4	D1	-.891	2.675	10.700
	D2	-.795		
	D3	.579		
5	E1	.840	2.241	8.964
	E2	.761		
6	F1	.838	2.185	8.740
	F2	.788		
7	G1	-.800	2.116	8.463
	G2	.728		
8	H1	.868	1.734	6.937

하다(A6)’, ‘꺼림찍하다-꺼림찍하지 않다(A7)’의 7개 형용사가 포함되었다. 요인 1의 부하량/loading)은 5.098였으며, 설명량(variance)은 20.390%로 나타났다.

요인 2는 ‘온열성(thermal)’으로 ‘따뜻하다-차갑다(B1)’, ‘가볍다-무겁다(B2)’, ‘크다-작다(B3)’, ‘정렬적이다-이지적이다(B4)’의 4개 형용사가 포함되었다. 요인 2의 부하량은 3.518였으며, 설명량은 14.070%로 나타났다.

요인 3은 ‘긴장성(tense)’으로 ‘경망스럽다-엄숙하다(C1)’, ‘멍하다-선명하다(C2)’, ‘홍분된다-차분해진다(C3)’, ‘자연스럽다-부자연스럽다(C4)’의 4개 형용사가 포함되었다. 요인 3의 부하량은 3.186였으며, 설명량은 12.743%로 나타났다.

요인 4는 ‘독특성(unique)’으로 ‘고풍스럽다-현대적이다(D1)’, ‘흔하다-희귀하다(D2)’, ‘특이하다-평범하다(D3)’의 3개 형용사가 포함되었다. 요인 4의 부하량은 2.675였으며, 설명량은 10.700%로 나타났다.

요인 5는 ‘호오성(like-dislike)’으로 ‘피곤하다-상쾌하다(E1)’, ‘싫다-좋다(E2)’의 2개 형용사가 포함되었다. 요인

5의 부하량은 2.241이었으며, 설명량은 8.964%로 나타났다.

요인 6은 ‘활동성(active)’으로 ‘개성적이다-개성적이지 않다(F1)’, ‘도시적이다-전원적이다(F2)’의 2개 형용사가 포함되었다. 요인 6의 부하량은 2.185였으며, 설명량은 8.740%로 나타났다.

요인 7은 ‘안정성(stable)’으로 ‘자연적이다-인공적이다(G1)’, ‘시끄럽다-시끄럽지 않다(G2)’의 2개 형용사가 포함되었다. 요인 7의 부하량은 2.116이었으며, 설명량은 8.463%로 나타났다.

요인 8은 ‘남성성’으로 ‘남성적이다-여성적이다(H1)’의 1개 형용사가 포함되었다. 요인 8의 부하량은 1.734였으며, 설명량은 6.937%로 나타났다.

사출성형 공정에서 유출되는 냄새에 대해서 요인의 설명량을 중심으로 전반적으로 평가하면, 자극적이고, 독특하며, 냄새를 맡게 되는 사람들로 하여금 긴장성을 유발하고 열 반응 느낌을 전달하는 것으로 표현될 수 있다.

4. Discussion

본 연구는 사출성형 공정에서 사출성형 공정 시 유발되는 복합적 냄새물질이 어떤 형태의 후각적 감성구조를 유발하는지 탐색적으로 살펴보고자 하였다. 이를 위해 사출성형 공정이 이루어지는 실제 사출성형 공장 환경에서 냄새에 이미 적응되지 않은 대상자들로 하여금 후각 감성 형용사로 구성된 의미미분화 척도를 활용하여 수집된 자료의 요인분석을 통해 요인구조를 살펴보았다. 그 결과, 총 자극성, 온화성, 긴장성, 독특성, 호오성, 활동성, 안정성, 남성성의 8개 요인구조가 도출되었으며, 설명량을 중심으로 자극적이며, 독특하고, 열적 요소를 내포하며, 긴장을 유발하는 것으로 평가되었다.

이러한 감성구조에 영향을 준 냄새물질이 복합적이긴 하지만, 그럼에도 사출성형 공정에서 배출된 냄새물질의 농도와 관계성을 완전히 배제할 수는 없다. 이를 고려하여 살펴보면, 가장 많이 배출된 냄새물질은 Toluene이며, 그 다음으로 Formaldehyde가 많이 배출된 것으로 나타났다. Toluene은 휘발성유기화합물(volatile organic compounds; VOCs) 중 하나로서 일반적으로 페인트 냄새를 유발하는 것으로 알려져 있으며[13], Formaldehyde는 무색기체로 주로 살균방부제로 활용되며, 자극성 냄새를 유발하는 것으로 알려져 있다[2]. 이러한 냄새물질에 노출되었을 경우에는 Toluene은 금속을 입에 넣은 것과 같은 미각적 반응이 나타남과 동시에 두통과 어지러움 증상과 같은 부정적인 감정을 유발하는 반면[9]. Formaldehyde는 외부로 노출되어 있는 눈과 코, 그리고 호흡으로 인한

목에 따끔한 자극을 지속적으로 받는 느낌을 주는 것으로 알려져 있다. 결국 사출성형 공정에서 유발된 복합적 냄새물질에 대한 감성구조에 있어서도 보다 많이 배출된 냄새물질의 영향에 따라 자극성이라는 요인 구조가 두드러지게 나타난 것으로 해석할 수 있다. 본 연구에서 사용된 환경에 노출된 냄새물질이 주로 악취물질로서 분류될 수 있기 때문에, 악취물질에 대한 냄새 강도가 부정적인 방향으로의 후각 감성평가에 영향을 미칠 수 있다는 예측과 본 연구결과는 비례하는 형태로서 이해할 수 있다[14].

한편, 주로 향 제품을 활용하여 후각 감성평가를 실시했던 연구와 본 연구의 결과를 비교해 볼 때, 확연하게 대비되는 후각 감성구조를 확인할 수 있다. 즉 향긋하고, 자연스럽다는 심미성 요인이 주된 후각 감성구조로 평가된 향에 대한 연구[11]에 비해 본 연구에서는 이들 연구에서 설명량이 미흡했던 요인 구조로서 자극적이고, 불쾌한 자극성 요인이 주된 후각 감성구조로 나타났다. 이러한 결과는 발레르 산[1]이나 부티르산과 암모니아[16]와 같은 악취물질에 노출되었을 때 불쾌하고, 과도한 각성을 유발하는 부정적인 감성이 도출되었다는 연구결과들과 동일한 결과라 할 수 있다.

그러나 본 연구는 작업 효율성을 위한 공장환경 개선의 기초연구로서 사출성형 공정에서 유발된 냄새물질에 대해 그 환경에 노출된 재실자들의 후각 감성구조를 확인하는 수준에서 마무리되었다는 제한점을 가지고 있다. 일부 연구에서는 본 연구에서 유발된 냄새물질 중 Benzene, Toluene, Ethylbenzene을 실내 식물로서 제거할 수 있다는 연구결과가 도출되었다[13]. 이를 고려해 볼 때, 추후 연구에서는 부정적인 감성구조를 가지고 있는 환경에서 악취물질을 제거하는 방법, 악취물질을 중화시킬 수 있는 물질의 효과, 또는 직접적인 수행 비교를 위해 공장 환경과 사무실환경에서의 수행평가 등의 사출성형 공장 환경 개선을 목표로 하는 일련의 연구들이 진행될 필요가 있다. 특히 인간의 감성에 대한 측정과 검증이 주관적이고 질적으로 이루어지면 객관적 지표가 기대된다[8]. 또한, 이러한 일련의 연구들이 종합되었을 때, 비로소 사출성형 공정이 이루어지는 공장 환경이 작업 효율성을 극대화할 수 있는 형태로서 그에 적절한 개선 가이드라인을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This research was supported by the Pioneer Research Center Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(2011-0027994).

References

- [1] Baik, E.J., Lee, Y.Y., Lee, B.H., and Moon, C.H., Emotional changes of EEG and autonomic responses by olfactory stimuli with orange and valeric acid, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 1998, Vol. 1, No. 1, pp. 105-111.
- [2] Cho, D.H., Whoang, K.C., Kim, T.H., Kweon, B.Y., Kim, J.B., Kim, T.H., and Kim, G.H., The distribution and emission characteristics of formaldehyde in the Shi-Hwa industrial complex, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 2007, Vol. 6, No. 2, pp. 71-80.
- [3] Jung, G.B. and Park, Y.B., A study on the profit increase through a new production/distribution method at S plastic injection molding factory, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2010, Vol. 33, No. 3, pp. 48-54.
- [4] Jung, J.T. and Lee, B.K., Numerical analysis of mold deformation including plastic melt flow during injection molding, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A*, 2014, Vol. 38, No. 7, pp. 719-725.
- [5] Kang, H., A guide on the use of factor analysis in the assessment of construct validity, *Journal of Korean Academy of Nursing*, 2013, Vol. 43, No. 5, pp. 587-594.
- [6] Kim, B., Kwak, S.H., Seo, S.H., and Min, B.C., Psychological and physiological responses of occupants caused by types of seat air conditioning, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2015, Vol. 38, No. 3, pp. 14-20.
- [7] Kim, B., Min, Y.K., Min, B.C., and Kim, J.H., Effects of thermal environmental factors on behavioral responses of the selective attention mechanism, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 2011, Vol. 13, No. 5(B), pp. 2523-2533.
- [8] Kim, D.N. and Cho, J.R., A Study on the Methodologies of the Quality Assessment of the Mobile Telecommunication Units Using Kansei Engineering, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 1999, Vol. 27, No. 3, pp. 154-169.
- [9] Kim, H., Hong, S.J., and Kim, S.T., VOCs emission characteristics in assembly metal product manufacturing industry in Sihwa and Banwol industrial area, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 2010, Vol. 9, No. 1, pp. 38-45.
- [10] Koh, B.W., Kim, J.S., and Choi, H.G., Estimation of process parameters using QFD and neural networks in injection molding, *IE interface*, 2008, Vol. 21, No. 2, pp. 221-228.
- [11] Kwon, S.A., Lee, E.K., and Choi, J.M., Assessment of subjective preference and sensibility structure of fabric softener odors, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 2005, Vol. 8, No. 2, pp. 129-135.
- [12] Lee, Y.C., Min, Y.K., Min, B.C. and Kim, B., Changes of behavioral and physiological responses caused by color temperature. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 2015, Vol. 18, No. 2, pp. 37-44.
- [13] Lee, Y.G., Kim, N.H., Jang, J.W., Jeon, H.D., Kim, D.S., Cho, Y.G., and Kim, E.S., Efficiency of benzene, toluene, ethylbenzene removal using 7 indoor plants. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 2015, Vol. 14, No. 2, pp. 93-101.
- [14] Min, B.C., Seo, H.S., and Lee, J.S., Changes of olfactory sensibility with odor intensity, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, No. 4, pp. 13-20.
- [15] Min, B.W., Min, B.C., Chung, S.C., and Kim, C.J., Development of automatic subjective assessment system using adjectives, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 2003, Vol. 22, No. 3, pp. 1-11.
- [16] Ryu, H., Ko, W.H., Kim, J.W., Kim, S.R. and Kim, M.K., Electroencephalography activities influenced by classroom smells of male high school. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 2013, Vol. 16, No. 3, pp. 387-396.
- [17] Yoh, E.A. and Lee, K.H., Gender differences in scent sensibility effect model of scented textile products, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 2006, Vol. 9, No. 1, pp. 19-26.

ORCID

Young-Jae Ryu | <http://orcid.org/0000-0001-7302-8109>

Bo-Seong Kim | <http://orcid.org/0000-0002-1791-3637>

Ye-Hyun Lee | <http://orcid.org/0000-0002-2366-0293>

Seung-Hyun Kwak | <http://orcid.org/0000-0002-4592-654X>

Sang-Hyeok Seo | <http://orcid.org/0000-0002-5191-9346>

Tae-Beum Ryu | <http://orcid.org/0000-0002-2642-6750>

Byung-Chan Min | <http://orcid.org/0000-0001-6663-0871>