나노 물질 안전보건 표지 대안들에 대한 평가

박재희† · 유현승* · Tonya Smith-Jackson*
한경대학교 안전공학과 · *버지니아 공대 산업시스템공학과
(2009. 10. 5. 접수 / 2010. 2. 4. 채택)

Evaluation of the Alternative Safety Signs for the Hazard of Nano Materials

Jae Hee Park† · Hyun Seung Yoo* · Tonya Smith-Jackson*
Department of Safety Engineering, Hankyong National University
*Department of Industrial & System Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University
(Received October 5, 2009 / Accepted February 4, 2010)

Abstract : Although nano materials are used a lot in industries, there has not been any standard nano hazard graphic symbol. An experiment was conducted to know the comprehension ratio of newly designed eight nano graphic symbols. To compare the symbols with existing safety graphic symbols, other sixteen symbols were also included. 54 subjects evaluated the difficulties of graphic symbols on seven point Likert scale and answered the meaning for each symbol. The all eight nano safety symbols marked under 30% comprehension ratio. However, one of them didn't show any statistically significant difference with other existing safety symbols as like bio hazard, radiation, and laser. Therefore the nano symbol tested in the best could be adopted as the nano safety graphic symbol if it is sufficiently exposed in training period and used with warning label. The workers in industries using nano materials can be alerted and protect themselves where the sign is attached.
Key Words : nano hazard, safety symbol, comprehension test, safety sign, graphic symbol

1. 서 론

오늘날 수많은 새로운 물질과 기계장치들이 끊임없이 산업 현장에 도입되고 있다. 더구나 그 도입 속도는 더욱 빨라지고 있다. 그러다보니 이와 관련한 안전 정책이나 재해예방책들은 이러한 위험에 비해 뒤늦게 수립되는 경향이 있다.

주요한 재해 예방책 중의 하나로, 안전보건표지는 연구실이나 산업체에서 사용되어 왔다. 그러나 많은 경우 위험한 물질이나 기계 장치 등이 도입되고 한참 지나서야 위험 표지가 도입된 사례가 많다.

예를 들면 현재 사용되는 방사선 위험에 대한 안전보건 표지는 1946년 미국 버클리 대학(University of California, Berkeley) 방사선 실험실에서 처음 사용되었는데, 이는 프랑스의 과학자 Henri Becquerel이 1896 년 방사선을 처음 발견한 지 50년이 지난 후였다. 생물학적 위험 역시 오래 전부터 상존해 있었으나, 오늘날 표준으로 사용되는 생물학적 위험에 대한 안전보건 표지는 1966년에 이르러서야 처음 미국 Dow Chemical 사에서 도입해 사용하기 시작했다[1].

나노(nano) 물질은 1980 년대부터 실험실에서 연구되기 시작했다. 이후 나노 물질은 빠르게 다양한 산업체에 적용되어 왔다. 예를 들면 은나노(nano silver) 물질은 제품의 표면을 효과적으로 보호할 수 있어 코팅제로 널리 사용되고 있다. 또한 나노 물질은 화장분(cosmetic powder)으로도 사용되고 있다.

오늘날 나노 기술(nano technology)은 가장 각광받는 연구 분야가 되었다. 또한 그 시장도 매우 빠르게 성장하고 있다. 나노 물질의 다양한 응용 가능성으로 인해, 2008년 세계 시장 규모가 약 14억 달러에 이를 것이라 예측된 바 있다. 그러나 나노 기술 역시 원자력 분야나 생명공학 분야가 그러했던 것처럼 긍정적 측면뿐만 아니라 부정적 측면도 수반하고 있다. 지금 나노 기술에 대해서는 인체와 환경에 미치는 영향과 관련해 논쟁이 진행 중이다[2-4].

나노(nano)라는 단어가 의미하듯이, 나노물질은

† To whom correspondence should be addressed.
maro@hknu.ac.kr

어느 방향으로든 한 방향의 크기가 100×10^{-9}mm, 즉 100nm 이하인 물질로 정의된다. 이런 작은 특성으로 인해 나노 물질은 인체에 흡입되면 세포 속으로 쉽게 침투할 수 있다[5,6]. 나노 물질은 이미 흡입 시 그 위험성이 밝혀진 분진이나 흄(hume) 보다도 작기 때문에 문제가 더 심각할 수 있다.

따라서 나노 물질은 폐포 내에 도달해 그곳에서 문제를 일으킬 수 있다. 실험용 쥐를 이용한 실험에서 나노 탄소튜브(nano carbon tube)는 육아종과 침투형 염증의 원인을 일으켰다. 나노 물질은 심지어 피부를 침투해 그 속에서 문제를 일으키기도 한다. 이 외에도 나노 물질의 많은 위험 요인에 대한 경고들이 많은 연구들로부터 보고되고 있다[7].

나노 물질의 위험으로부터 사람들을 보호하기 위해서는 시급한 대책이 요구되고 있다. 그러한 대책의 일환으로 나노 물질 자체의 위험성에 대한 연구, 나노 물질 노출 기준에 대한 설정, 나노 물질의 위험성을 관리하기 위한 적절한 법규의 제정 등이 있을 수 있다[8]. 이러한 대책 중 위험 관리 방법의 하나로 안전보건 표지 역시 사용될 수 있다.

안전보건 표지의 디자인에 있어서 그래픽 심벌(graphic symbol)은 매우 중요한 역할을 한다. 아주 잘 디자인 된 그래픽 심벌은 위험 경고 표지의 이해도를 높일 수 있다[9]. 물론 그래픽 심벌은 문자와 함께 사용되어 의미를 더 잘 전달할 수도 있지만, 문자를 읽지 못하는 사람들을 고려하면 그 자체로도 의미 전달을 할 수 있어야 한다. 그러므로 그래픽 심벌 디자인은 안전보건 표지 디자인에서 가장 중요한 역할을 하게 된다.

또한 그래픽 심벌 의미에 대한 혼동을 줄이기 위해서, 심벌의 표준화가 필요하다. 이미 많은 위험요인 심벌들이 국가 차원 혹은 국제적으로 표준화되어 사용되고 있다[10-12].

그러나 아직 나노 물질에 대한 잠재적 위험성 대해 그것을 경고하는 표준 그래픽 심벌은 제정되어 있지 못하다. 이런 상황에서 최근 국제적 비정부기구(NGO; Non-Governmental Organization)인 ETC 그룹이 나노 심벌을 제정하기 위한 노력을 해오고 있다. ETC 그룹은 약 2,000개의 심벌들을 인터넷 공모를 통해 접수한 후, 이에 대해 인터넷 투표를 실시하였다. 그리고 그 가운데 가장 많은 표를 얻은 세 개의 심벌을 발표했는데, 이는 Fig. 1의 왼편 세 개와 같다[13]. 그러나 이와는 별도로 ETC 그룹은 최종적으로 Fig. 1의 오른쪽 끝 그림과 같은 눈송이와 같은 모양의 작은 점들로 이루어진 심벌을 채택했다.

Fig. 1. Nano safety symbols suggested by ETC group.

그러나 아직까지 이 표지들의 이해도에 대한 정량적인 평가는 이루어지지 않았다. 그래픽 심벌이 특정 집단에 위험 요인을 의미하는 심벌로 채택되기 위해서는 심벌에 대한 이해도(comprehension rate)가 가능한 높아야 한다. 비록 국제적으로 이해도 상 최저치에 대한 합의는 없으나, 미국의 표준인 ANSI(America National Standard Institute)에서는 이해도에 대한 표준적인 평가 방법과 이해도에 대한 규정을 하고 있다. ANSI Z535.3에 의하면 어떤 그래픽 심벌이 안전보건 표지에 사용되기 위해서는 85%의 이해도 수준을 넘어야 한다. 또한 중대한 혼동 비(critical confusion ratio)는 5% 이하이어야 한다[12]. 중대한 혼동 비는 표지를 보고 이를 반대로 해석해 오히려 위험에 처할 수 있는 비율을 의미한다.

ISO(International Standard Organization) 또한 그래픽 심벌 디자인 표준(ISO 3864)과 이해도 평가실험 프로토콜(ISO 9186)을 가지고 있다. ISO 9186 방법의 이해도 평가는 ANSI의 방법과는 약간 다르다[14].

ANSI나 ISO에서 제시한 표준적 평가 방법 외에, 안전보건 표지에 사용될 그래픽 심벌들의 이해도를 높이기 위한 디자인 가이드라인들도 제시되어 있다[15-17].

그러나 예상과 달리 많은 안전보건 표지를 위한 그래픽 심벌들이 많은 연구에서 낮은 이해도를 나타내고 있다[18-20]. 물론 실험방법에 약간의 차이는 있으나, 예를 들면 병원 방사선실 등에서도 쉽게 볼 수 있는 방사선 표지의 이해도는 약 50%에 불과하다.

낮은 이해도를 보이는 그래픽 심벌에 대해서 ANSI는 사람들에게 심벌에 대한 교육훈련이나 심벌에 문자를 병기해 사용할 것을 권고하고 있다. 그러나 이러한 보조적 수단보다는 그래픽 심벌 자체가 위험요인을 잘 표현해 전달하는 것이 최선일 것이다.

이에 본 연구는 나노 물질 위험에 대해 이해하기 쉬운 그래픽 심벌을 제안하는 것을 목표로 했다. 이를 위해 앞에서 언급한 ETC 그룹이 제안한 그래픽 심벌들을 포함해 많은 대안들을 수집하였다. 그런 후 나노 그래픽 심벌을 포함한 24개의 위험

요인 그래픽 심벌들에 대해 이해도 평가를 실시하였다. 본 연구의 결과는 나노 물질에 대한 표준적인 그래픽 심벌을 제정하는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 방 법

2.1. 피실험자

ANSI Z535.3에 의하면 그래픽 심벌 이해도에 대한 평가에는 최소 50명의 피실험자가 참여하여야 한다. 본 연구에서는 인터넷을 통한 공모로 모집한 56명의 학부 학생(19.7±1.5세)들이 참여하였다. 피실험자들의 전공 분야는 다양하였다. 이들 중 일부는 나노 과학(nano science) 등에 대해 알고 있었다. 그러나 나노 물질을 다루는 연구실이나 산업체에 근무했던 피실험자는 아무도 없었다.

2.2. 대상심벌

나노 물질의 위험을 나타내는 8개의 그래픽 심벌을 평가 실험에 포함시켰다. 나노 그래픽 심벌 외에도, 기존의 안전보건 표지에 사용되고 있는 16개의 그래픽 심벌도 포함시켰다(Fig. 3 참조). 8 개의 나노 심벌은 여러 곳으로부터 가져왔다. 그 중 4개(Fig. 3의 1, 2, 3, 5)는 ETC 그룹의 심벌 공모에서 선정되었던 것들이다. 나머지들 중 2개는 유명한 두 개의 나노 물질을 형상화 한 것이다. 60개의 탄소 원자로 이루어진 플로린(Fluorine, Fig. 3의 표지 6)과 탄소 나노튜브(Carbon nano tube, Fig. 3의 표지 7)가 그것들이다. 표지 8은 그림대신 나노의 첫 글자 'N'과 나노를 의미하는 지수 '-9'를 형상화하고 있다. 표지 4는 본 연구 팀에서 고안하였다. 이는 작은 물질과 이들 중 하나를 확대한 것을 그래픽으로 표현했는데, 이는 그래픽 심벌 1, 2, 3의 개념을 조합한 것이다.

나노 그래픽 심벌을 기존의 안전보건 표지 심벌들과 비교하기 위해서 16개의 표지도 실험에 포함시켰다. 실험중 서로 다른 그래픽의 나노 표지가 여러 개 있을 수 있다는 암시(cue)를 피실험자에게 주기 위해 전기 위험 표지는 일부러 3개를 중복적으로 실험에 포함시켰다(표지 18, 19, 20).

2.3. 실험계획

그래픽 심벌을 비교 평가하기 위해 이해도(심벌 의미에 대한 정답 비율), 주관적으로 느낀 난이도, 주관적 선호도 등을 평가 척도로 사용하였다. 이해도를 계산하기 위해서, 피실험자가 작성한 답에 대해 세 명의 안전 분야 전문가가 미리 작성해둔 모범 답안을 가지고 답안의 정, 오를 평가했다.

나노 물질에 대한 표지 1~8에 대해서 답이 맞기 위해서는 답안에 필수적으로 '나노', '나노 물질', '미세한 위험 물질', '위험한 원자(원소)' 등의 단어가 포함되어 있어야 했다. 특별히 표지 7과 8에 대해서는 각각 '플로린'과 '탄소 나노튜브'라고 명칭을 적어도 맞는 것으로 분류했다.

피실험자가 느끼는 주관적 난이도를 평가하기 위해서, 1-7점을 사용한 리커트(Likert)척도 상에 평가하도록 했다. 점수 '1'에는 '매우 쉽다', 점수 '7'에는 '매우 어렵다'는 참조 언어를 표시해주었다.

위의 두 가지 종속변수 외에, 실험이 끝난 후 8개의 나노 표지 중 피실험자들이 가장 선호하는 표지 3개를 고르도록 했다. 결과 분석 과정에서 독립변수로는 유일하게 그래픽 심벌 유형만을 대상으로 했으며, 피실험자들의 성별, 전공별 특성은 독립변수로 고려하지 않았다.

2.4. 실험절차

실험 시작 전 피실험자는 실험자로부터 실험과정에 대한 설명을 짧게 들었다. 그런 후 피실험자는 실험 프로그램이 설치되어 있는 컴퓨터 앞에 앉도록 했다. 피실험자들은 화장실 표지를 가지고 프로그램 사용 방법을 연습하도록 했다.

실험이 시작되면 준비된 24개의 표지가 무작위 순서(random order)로 컴퓨터 화면에 제시되었다. 그러면 피실험자는 화면 속의 그래픽 심벌을 보고 그 의미를 해석해 키보드로 입력하도록 했다.

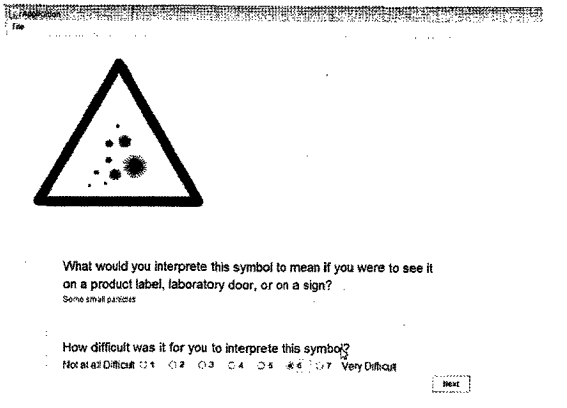

Fig. 2. A program scene used in the experiment.

의미를 입력한 후 피실험자들은 그래픽 심벌을 이해하는데 걸린 어려움 정도를 주관적으로 평가해 1~7점 척도 상에 평가를 하도록 했다. 실험에 사용한 프로그램은 Fig. 2에 나타나 있다.

실험이 끝난 피실험자에게는 다시 8개의 나노 안전보건 표지(Fig. 3의 표지 1~8)를 한 장의 시트에 제시하여, 그 가운데 나노 위험에 대한 안전보건 표지로 가장 선호하는 것을 우선순위가 높은 순서대로 세 개를 고르도록 했다.

3. 결과와 토의

3.1. 표지 이해도

ANSI Z535.3에 의하면 그래픽 심벌이 안전보건 표지에 사용되려면, 이해도 평가에서 85% 이상이어야 하고, 중대한 혼동비(critical confusion ratio)는 5% 이하이어야 한다.

우선 피실험자들의 전체 표지들에 대한 이해를 적은 답변 가운데 중대한 혼동을 범하고 있는 답변은 하나도 없었다.

그러나 이해도 평가에서는 어느 나노 표지도 ANSI의 이해도 기준을 만족시키지 못했다. 본 실험에 사용된 나노 표지 8개의 이해도는 5.4%에서 37.5% 사이에 나타났다. 이 중 표지 4가 37.5%로 최고치를 나타냈다. 이 수치는 비록 ANSI의 기준에는 못 미치나 다른 안전보건 표지와 비교해 크게 나쁜 것은 아니다. 예로 레이저 표지(표지 10)는 32.1%를 나타냈고, 비이온화 라디오파(표지 16)도 32.1%로 새로 제안된 나노 표지보다 높지 않았다.

본 실험 결과에 나타난 기존의 익숙한 안전보건 표지에 대한 낮은 이해도 점수는 그리 이상한 것은 아니다. 다른 많은 연구에서도 안전보건 표지에 사용되는 그래픽 심벌 등에 대한 이해도는 높지 않았다[21-23].

ANSI Z535.3의 부록에 의하면 표지 12, 17, 18은 이해도 50~83%에 해당하는 심벌이고, 표지 9, 10, 11은 50% 이하의 이해도를 보인 표지들이다[14]. 본 연구에서도 표지 9, 10, 11, 18 등은 ANSI의 데이터와 같은 결과를 보였다.

통계적 검정에서, 일원배치 분산분석(one way ANOVA) 결과 안전보건 표지들 간에는 이해도에 차이가 있는 것으로 나타났다($F_{23,1343}=56.96$, $p<0.0001$). 튜키 사후검정(Tuckey post hoc analysis)을 수행한 결과, 실험에 사용한 안전보건 표지들은 모두 6개의 그룹으로 분류되었다(Table 1).

Table 1. Tuckey test for comprehension ratio

Sign	Groups					Comprehension
13	A					100.0%
21	A					100.0%
12	A					100.0%
17	A					94.6%
23	A					91.1%
24	A					91.1%
19	A					87.5%
14	A					85.7%
15	A					85.7%
22	A					82.1%
18	A					80.4%
20	A					78.6%
11		B				46.4%
9		B	C			41.1%
4		B	C	D		37.5%
16		B	C	D	E	32.1%
10		B	C	D	E	32.1%
1		B	C	D	E	F 23.2%
2			C	D	E	F 21.4%
8				D	E	F 16.1%
3				D	E	F 16.1%
5					E	F 12.5%
6					E	F 8.9%
7						F 5.4%

나노 표지 4를 제외한 나노 표지 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8은 가장 이해하기 힘든 그룹 F로 분류되었다. 기껏해야 표지 1, 2가 그룹 C에 분류되는 정도이었다. 그러나 나노 표지 4는 그룹 C에 있는 기존의 표지 9, 10, 11, 16과 비교해서도 이해도에 유의한 차이를 보이지 않았다. C 그룹은 방사선, 레이저, 생물학적 위험 등을 포함하는 그룹이다. 이러한 통계 분석에 근거할 때 나노 표지 4의 이해도 37.5%는 신규로 고안된 그래픽 심벌임을 감안하면 결코 나쁜 수치라 할 수 없다. 나노 표지 4의 그래픽 심벌은 나노 위험을 나타내는 표준으로 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 물론 그 이해도가 ANSI 기준에 못 미치나, 교육에 의해 그리고 공공에 자꾸 노출된다면 이해도는 빠르게 상승할 것이다. 안전표지에 대한 교육이 이해도를 향상시킨다는 것은 이미 입증되어 있다[21].

3.2. 주관적 난이도 평가

이해도에 대한 보조적 평가 지표로 친숙도(fami-

liarity) 등이 사용될 수 있다[22]. 그러나 본 연구에서 사용된 나노 표지들의 그래픽 심벌들은 모두 신규로 고안된 것들로 기존의 표지와 동일 선상에서 친숙도를 비교할 수 없었다. 그래서 본 연구에서는 이해도의 다른 측면인 주관적 난이도를 보조적 평가 척도로 사용하였다.

본 연구에서 나노 표지를 제외한 기존의 안전보건 표지들에 대한 이해도와 주관적 난이도 사이에는 높은 음의 상관관계(r=-0.67)가 있는 것으로 나타났다. 즉, 주관적으로 쉽다고 생각하는 표지에 대한 이해도가 높았다고 할 수 있다. 그러나 8개의 나노 표지만을 대상으로 한 상관관계 계산에서는 낮은 상관관계(r=-0.36)를 보였다. 이것이 의미하는 바는 나노 표지 내 그래픽 심벌이 주관적으로 쉽다고 느꼈더라도 그것이 정답으로 연결되지는 않았다는 것을 의미한다. 일례로 응답자 중 일부는 표지 8에 대해 'N'을 보고 '나노'를 연상하지 못하고 쉽게 '질소'라고 판단을 하고, 주관적 난이도에서 쉽다고 평가를 한 경우가 많았다.

주관적 난이도 평가에서 나노 그래픽 심벌들에 대한 평가 결과는 기존 안전보건 표지들의 심벌 등에 비해 높은 난이도를 보였다. 8개 나노 표지의 난이도 평균은 5.79이었다. 반면 기존의 표지들에 대한 난이도는 3.08로 낮게 평가되었다. 나노 표지들과 기존 표지들 간의 난이도에 대한 평가에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(t=25.93, p<0.001).

나노 표지들 중 이해도에서 가장 높은 점수를 보인 표지 4는 주관적 난이도에서도 표지 3을 제외하고 가장 낮은 점수(5.46)를 얻었다.

표지 3은 원자 궤도 내에 해골을 표시한 것으로 3.08점을 받아 피실험자들이 가장 쉽다고 판단했다. 그러나 쉽다고 느낀 피실험자들이 이를 나노 위험을 표시하는 것이라고 답한 경우는 매우 적었다(16.1%). 표지 3에서 주관적 난이도와 이해도에서 큰 차이를 보인 이유는 위험표지에 나타나는 해골이 주는 친숙도와 그래픽 심벌이 의도하고자 하는 의미(여기서는 나노)에 큰 차이가 있기 때문이다. 많은 피실험자들이 표지 3을 보고 원자핵 관련 위험으로 의미를 해석하는 오류를 범했다.

표지 8의 문자 'N'을 사용한 그래픽 심벌도 난이도에서는 상대적으로 낮은 점수를 보였는데, 이는 피실험자들이 질소(Nitrogen)를 뜻하는 원소기호로 받아들여 쉽다고 판단한 때문이다. 표지 3과 표지 8과 같은 경우에서와 같이 난이도만을 기준으로 이를 표준 그래픽 심벌로 채택할 때에는 오히려 위험의 의미를 잘못 해석하는 문제가 있을 수 있어 이들을 표준 심벌로 채택하기에는 무리가 있어 보인다. 그러므로 새로운 그래픽 심벌을 채택할 때, 기존의 의미를 내포하고 있는 친숙한 문자나 그림을 따올 때는 의미에 대한 왜곡 전달이 없도록 매우 신중해야 한다. 때로는 이러한 것들이 위험 표지에 있어 중대한 혼동(critical confusion)을 일으킬 수도 있다. 중대한 혼동은 낮은 이해도보다 더 심각한 문제를 일으킬 수 있다.

주관적 난이도에 대해서도 일원배치 분산분석(one way ANOVA)과 튜키 사후검정(Tuckey post hoc analysis)을 실시했다(Table 2). 분산분석 결과 안전보건 표지들 사이에서도 난이도에 대한 차이가 있었다($F_{23,1343}$=78.86, p<0.0001).

튜키 사후검정에서 나노 표지들은 표지 3을 제외하고는 그룹 A, B, 혹은 C로 분류되어 어려웠던 것으로 평가되었다. 반면 표지 3은 다른 7개의 나노 표지보다도 통계적으로 유의한 정도의 낮은 난이도를 보였다.

기존의 안전보건 표지들 중에는 레이저 위험을 나타내는 표지 10이 오히려 표지 3 보다도 오히려 통계적으로 유의한 차이를 보이며 어려웠던 것으로 평가했다.

Table 2. Tuckey test for subjective difficulty

Sign	Groups										Difficulty
6	A										6.75
7	A	B									6.54
5	A	B	C								6.43
1	A	B	C								6.07
10		B	C								5.66
2		B	C								5.64
8		B	C								5.59
4			C								5.46
16				D							4.30
18				D	E						4.27
19				D	E						4.00
3				D	E	F					3.88
14				D	E	F	G				3.77
20				D	E	F	G	H			3.41
9					E	F	G	H			3.32
22						F	G	H	I		2.98
11							G	H	I	J	2.84
17								H	I	J	2.73
13								H	I	J	K	2.50
23									I	J	K	2.27
24									I	J	K	2.04
15										J	K	2.00
12											K	1.66
21											K	1.54

Table 3. Results of measures and preference and their ranks

Sign	1	2	3	4	5	6	7	8
comprehension	23.2	21.4	16.1	37.5	12.5	8.9	5.4	16.1
rank	2	3	5	1	6	7	8	5
difficulty	6.07	5.64	3.88	5.46	6.43	6.75	6.54	5.59
rank	5	3	1	2	6	8	7	4
preference	0.66	0.40	1.78	1.98	0.53	0.05	0.02	0.59
rank	3	6	2	1	5	7	8	4
rank sum	10	12	8	4	17	22	23	13

3.3. 선호도

이해도와 난이도에 관한 실험을 마친 후, 피실험자들은 8개의 나노 표지에 대해 그들이 가장 선호하는 표지 3개에 대해 순서를 정해 선택하도록 했다. 선택 용지 상단에는 나노 물질과 그 위험성에 대한 간단한 설명을 곁들여 피실험자들의 나노 위험에 대한 이해를 돕도록 했다.

선호도에 대한 평가 결과는 Table 3에 나타내었다. Table 3에 의하면 가장 피실험자들이 선호한 표지는 4, 3, 1의 순서였다.

3.4. 종합판정

Table 3은 지금까지 평가 척도로 사용한 이해도, 주관적 난이도, 선호도 등에 대한 나노 표지 8 개의 결과를 요약해 보여주고 있다. 여기서 나노표지 3과 4는 주관적 난이도와 선호도에서 각각 자리를 바꿔 1, 2 등을 하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 표지 3은 결정적으로 이해도에서 16.1%의 현격하게 낮은 점수를 보였다. 심지어 가장 좋은 난이도 점수조차도 잘 못 오해한 의미를 가지고 쉽다고 평가한 것이기에 나노 위험에 대한 표준 심벌로 채택하기 어렵다고 판단된다.

ETC 그룹에 의해 추천된 표지 1은 두 번째로 높은 이해도 점수를 보였으나, 표지 4와의 이해도 비율 차이가 10% 이상으로 나타났다. 표지 1은 많은 피실험자들에게 꽃가루나 눈송이 등으로 오해를 불러 일으켰다. 또한 난이도 점수에서도 5 등으로 피실험자들에게 이해에 어려움을 주었다.

그러므로 표지 4가 8개의 표지 대안 중 나노 물질에 대한 안전보건표지로 가장 적절한 것으로 판단된다.

4. 결론과 추후연구

오늘날 이미 많은 산업체와 연구소에서 나노 물질을 널리 사용하고 있다. 그리고 나노 물질에 대한 위험성은 이미 많은 연구들에서 지적되고 있다. 따라서 나노 물질에 대한 표준적인 안전보건 표지를 제정하는 일 역시 시급한 과제로 대두되고 있다. 지금까지 비정부기구인 ETC 그룹에서 나노물질에 대한 표지 제정을 위해 노력해 왔으나 이에 대한 공식적인 평가 결과는 없는 상태이다. 그래서 본 연구진에서는 ETC 그룹에서 제안한 심벌들을 포함한 나노 물질 안전보건 표지에 대한 평가 실험을 ANSI 방법에 의거해 이해도 평가를 수행하였으며, 부수적으로 주관적 난이도와 선호도도 조사하였다.

그 결과, 표지 4의 심벌이 8개의 심벌 대안 중 이해도, 주관적 난이도, 선호도 등에서 가장 높은 점수를 받았다. 그러나 그 이해도 수준이 ANSI 의 기준이 85%에 훨씬 못 미치고 있어 이를 바로 안전보건 표지의 나노 물질의 위험을 표시하는 그래픽 심벌로 채택하기에는 무리가 있어 보인다. 따라서 ANSI 표준에서 제안하는 대로 본 연구에서 제안한 심벌을 공중에 자주 노출시키고 이에 대한 교육, 홍보를 추가적으로 하는 노력이 병행될 필요가 있다.

본 연구의 결과는 이외에도 몇 가지 면에서 제약을 갖고 있다. 우선, 나노 물질이 일반 소비재에도 사용되고 있어, 일반인도 나노 물질에 노출될 수 있으나, 아직은 주로 연구자나 산업체 근로자가 대상이라 할 수 있다. 그런 면에서 피실험자들에 그러한 직종의 인물들이 포함되지 못한 것이 한계로 지적될 수 있다. 특히 나노 물질 연구에 종사하는 연구자를 대상으로 했으면 평가 결과가 달라질 가능성도 있을 것이다. 따라서 다음 연구에서는 연구자나 산업체 종사자들을 대상으로 한 평가가 요청된다.

또한 평가를 위해 나노 표지 평가를 위한 그래픽 심벌들의 선정에도 제약이 있었다. 평가에 사용한 심벌 중 절반은 ETC 그룹에서 가져온 것이다. 나머지 심벌들은 연구팀에서 고안한 것이었다. 그러나 ANSI의 기준에 의하면 신규 표지를 개발할 때에는 FGI(Focus Group Interview)를 사용해 관계자들의 의견을 수렴해 그래픽 심벌을 고안할 것을 권고하고 있다. 이에 추후 연구에서는 본 연구에서 나온 결과 외에 나노 물질을 연구하는 관계자들을 대상으로 한 FGI를 실시해 대상 심벌을 추가로 제작해 평가해 볼 필요가 있다. 이렇게 평가가 반복된다면 나노 표지에 대한 이해도는 한층 올라갈 것으로 기대되고 표준으로 채택될 수 있을 것이다.

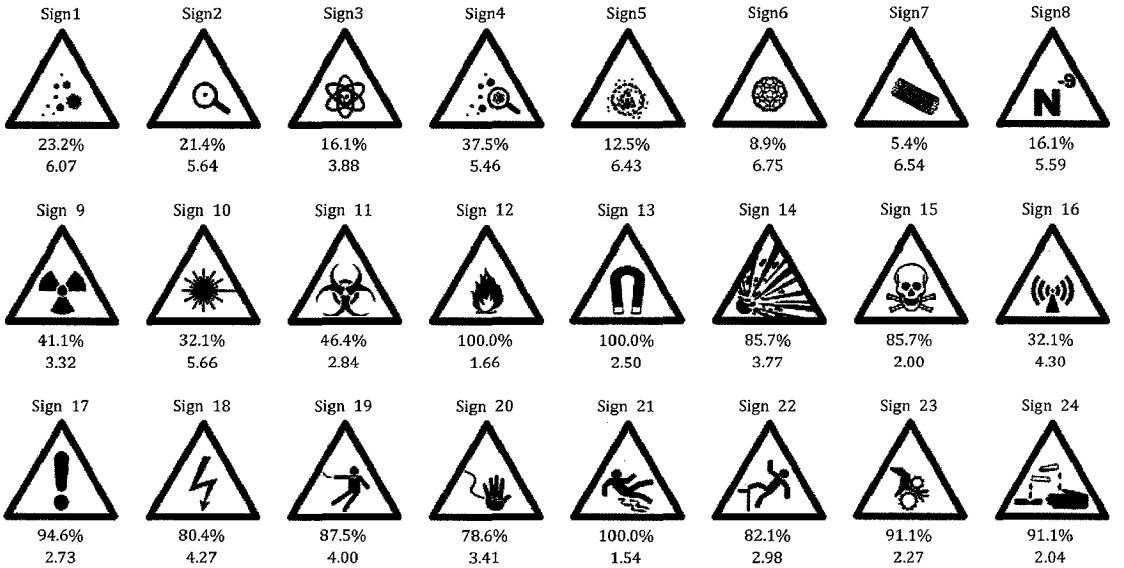

Fig. 3. Graphic symbols and their results on comprehension rate and subjective difficulty.

감사의 글 : 본 연구는 2007년도 한경대학교 교비 해외파견 연구비의 지원에 의한 것임(This work was supported by a research grant from Academic Research Foundation of HankyongNational University for a scholarly exchange program in 2007).

참고문헌

1) Wikipedia, Hazard Symbol. Retrieved 122008, from en.wikipedia.org: http://en.wikipedia.org/wiki/Hazard_symbol
2) Borm, P. J. & Berube, D., "A tale of opportunities, uncertainties, and risks", Nanotoday, Vol. 3. No. 1-2, 56~59, 2008.
3) Glenn, J. C., "Nano technology: Future military environmental health considerations", Technological Forecasting & Social Change, Vol. 73, pp. 128~137, 2006.
4) Helland, A., & Kastenholz, H., "Development of nano technology in light of sustainability", Journal of Cleaner Production, Vol. 16, pp. 885~888, 2008.
5) Sequeira, R., Genaidy, A., Shell, R., Karwowski, W., Weckman, G., & Salem, S., "The nano enterprise: A survey of health and safety concerns, considerations, and proposed improvement strategies to reduce potential adverse effects", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 16, No. 4, pp. 343~368, 2006.
6) Brayner, R., "The toxicological impact of nanoparticles", Nanotoday, Vol. 3, No. 1-2, pp. 48~55, 2008.
7) Sequeira, R., Genaidy, A., Shell, R., Karwowski, W., Weckman, G., & Salem, S., "The nano enterprise: A survey of health and safety concerns, considerations, and proposed improvement strategies to reduce potential adverse effects", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 16, No. 4, pp. 343~368, 2006.
8) Walsh, S., Balbus, J. M., Denison, R., & Florini, K., "Nanotechnology: getting it right the first time", Journal of Cleaner Production, Vol. 16, pp. 1018~1020, 2008.
9) Wogalter, M. S., Conzola, V. C., & Smith-Jackson, T. L., "Research-based guidelines for warning design and evaluation", Applied Ergonomics, Vol. 33, pp. 219~230, 2002.
10) ISO, ISO 3864-1 Graphic symbols - Safety colours and safety signs; part1: Design principles for safety signs in workplaces and public areas, ISO, 2004.
11) ISO, ISO3864-2 Graphical symbols - Safety colours and safety signs; Part2: Design principles for product safety labels, ISO, 2004.
12) ANSI, American National Standard criteria for Safety Symbols, NEMA, 2002.
13) ETC, http://www.etcgroup.org/nanohazard, 2007.
14) ISO, ISO 9186 Graphical symbols - Test methods for judged comprehensibility and for comprehension, ISO, 2001.
15) Wogalter, M. S., Conzola, V. C., & Smith-Jackson, T.

L,. "Research-based guidelines for warning design and evaluation", Applied Ergonomics, Vol. 33, pp. 219~230, 2002.
16) Tamar, B.-B., & David, S., "Ergonomic guidelines for traffic sign design increase sign comprehension", Human Factors, pp. 182~195, 2006.
17) 이준원, 임현교, 산업현장에 부합하는 안전보건 표지 개발, 한국산업안전보건연구원, 2004.
18) Easterby, R. S., & Hakiel, S. R., "Field testing of consumer safety signs: The comprehension of pictorially presented messages", Applied Ergonomics, Vol. 12, No. 3, pp. 143~152, 1981.
19) Cairney, P., & Sless, D., "Communication effectiveness of symbolic safety user groups", Applied Erogonomics, Vol. 13, No. 2, pp. 91~97, 1982.
20) Duarte, E. C., & Rebelo, F., "Comprehension of safety signs: internal and external variable influences and comprehension difficulties by disabled people", Proceedings of CybErg 2005, Johannesburg: International Ergonomics Association Press.
21) Lesch, M. F., "A comparison of two training methods for improving warning symbol comprehension", Applied Ergonomics, Vol. 39, pp. 135~143, 2008.
22) Hancock, H. E., Rogers, W. A., Schroeder, D., & Fisk, A. D., "Safety symbol comprehension: effects of symbol type, familiarity, and age", Human Factors, Vol. 46, No. 2, pp. 183~195, 2004.
23) Collins, B. L., & Lerner, N. D., "Assessment of fire-safety symbols", Human Factors, Vol. 24, No. 1, pp. 75~84, 1982.