

Psychophysical scale에 의한 자료 분류 및 적용

곽 효 연*, 제 종 식**

An data classification and application of psychophysical scale

Hyo Yeun Kwak*, Jong Sik Je**

요 약

Psychophysical magnitude 측정기법은 인간의 주관적인 느낌 또는 의견을 파악하는데 유용한 도구이다. 본 논문에서는 psychophysical scale를 적용한 결과 획득되는 실험데이터의 특성, 척도의 종류(명목척도, 서열척도, 간격척도 그리고 비율척도) 및 실험데이터의 특성에 적합한 분석방법을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

The estimation technique of psychophysical magnitude is useful tool which measures to subjective feeling or opinion of human. This paper introduces properties of the measured data, scales(nominal, ordinal, interval, and ratio scale), and right analyzing methods of the measured data.

I. 서 론

Psychophysical scaling 기법은 원래 소리의 크기(loudness), 빛의 밝기(brightness), 통증(pain), 촉감(touch), 추위(cold), 미각(taste) 등 물리적 자극에 대한 인간의 지각강도(sensory magnitude)를 수치화하고 자극의 세기와 지각강도 간의 관계를 파악하기 위한 목적으로 사용되었으나 여러가지 사회적 현상이

나 행동 특성 등 심리적인 요소의 정량적 측정방법으로서 사용범위를 넓혀 가고 있다. 그러나 psychophysical scale의 적용범위가 넓어지고 다양화되고 있지만 실제 사용할 때 측정 대상 자료 속성과 척도의 특성을 잘못 정의함에 기인하여 오류를 범하기 쉽다. 잘못된 scaling 기법을 사용하여 얻은 자료는 의도했던 연구목적에 적합하지 않기 때문에 이 자료 속성에 적합한 분석기법을 사용하더라도 처음

* 동아대학교 산업공학과

** 동래여자전문대학 사무자동화과

부터 그릇된 자료특성에 의해 올바른 결과를 유도할 수 없으며 또한 정확한 scaling 기법 적용에 의한 타당한 자료일지라도 분석기법의 오류에 의해서 잘못된 결과를 유도한다. 본 논문에서는 psychophysical scale의 데이터특성과 올바른 분석방법에 대한 기존 문헌들의 개괄과 문제점 분석을 통해 심리학적 요소를 정량화하는 작업의 초기단계에서부터 이런 오류발생을 제거하고자 한다.

II. 감각 강도 측정

감각경험의 강도 즉, 심리적 강도를 평가할 때 감각경험은 우회적인 방법으로 측정이 가능하며 감각경험이 물리적 자극과 직접 비교될 수 없지만 감각들은 최소한도 서로 서로간에는 비교가 가능하다. 한 피실험자가 자기 자신의 감각경험 중 2개를 비교하여 그것들이 동일한 것인가 아니면 상이한 것인가를 판단할 수 있다. 망막에 투사되는 광선 반점의 시각적 명도에 대한 감각경험을 고려할 때 광선 반점의 강도를 증가시킴으로서 피실험자가 이전 것보다 더 밝다는 감각을 경험하도록 하는 최소변화량 즉, 차이역(difference threshold) 이 얼마인가를 물어볼 수 있다. 이것은 최소가차이(just-noticeable difference, j.n.d, 변화감지역)를 산출한다. j.n.d는 물리적 자극의 단위로 산출되지만 변별능력을 나타내는 것이기 때문에 심리적인 속성을 지닌다^{[1][11]}.

Weber의 법칙

차이역의 크기가 표준자극에 대해서 상수비를 갖는다.

$$\text{즉 } \frac{\Delta I}{I} = C$$

ΔI 는 빛의 밝기, 음의 높이, 무게 등 물리적 자극을 상대적으로 판단하는데 있어 특정감각기관의 자극강도로서 I 에 대하여 최소가차이만큼 증가시키는데 필요한 자극강도의 증가이며 I 는 표준자극, C 는 상수이다. $\Delta I/I$ 는 변별의 질을 나타내며 비가 작을수록 변별력이 크고 즉, 감각기관이 더 많은 정보를 전달할 수 있으므로 표준에 대한 차이가 관찰되기 위해서는 비례적으로 적은 양만 첨가하면 된다. Weber 법칙은 자극이 강하면 강할수록 피실험자가 변화를 알아채기 위해서 자극강도를 더 많이 증가시켜야 함을 표현한 것이다.

Fechner의 법칙

Fechner의 법칙은 자극강도와 감각강도를 연결짓는 유일한 수단으로서 Weber 법칙을 더욱 광범위하게 일반화시킨 것이다.

$$S = k \log I$$

S : 심리적(주관적)강도

I : 자극강도

k : 상수

자극이 어떤 값 I_0 에서 시작하여 바로 앞의 자극과 구별되는 다음 자극치 $I_n = I_{n-1} = I_0(1 + \text{상수})^n$ 들을 축차적으로 구할 때 I_n 들은 지수적으로 증가하며 $\log I_n$ 들은 산술적으로 증가한다.

Stevens 법칙

자극량 I 와 감각량(인지강도) S 간에는 다음과 같은 멱함수 관계가 유지되며 여러가지 자극에 대한 값은 실험을 통해 밝혀졌다.

$$\log S = \alpha \log I + C'$$

$$S = C'I^\alpha$$

S : 감각량

I : 자극량

α 값은 magnitude estimation의 cross-modality matching을 통한 측정 자료의 타당성 검증에 이용된다^[1]. 이처럼 물리적 자극에 대한 인지 강도를 파악하여 이들간의 연관관계를 규명할 수 있다.

Ⅲ. 자료와 해석

3.1 자료의 형태 및 특성

Stevens는 각종 측정기법의 적용 결과 얻어지는 척도(scale)를 명목척도, 서열척도, 간격척도, 비율척도의 4가지로 분류하였다^[1].

(1) 명목척도(nominal scale)

이 척도에서 사용되는 문자, 숫자 등의 기호(symbol)는 자료의 분류(classification)나 식별(identification)을 위한 것으로 어떤 대상을 표현하기 위해 숫자가 사용되더라도 이는 정량적인 측정의 의미는 제공하지 못한다. 명목척도의 예는 노선버스의 번호, 운동선수의 등번호, 남녀 구분에 사용되는 번호 등을 들 수 있다. 이들은 양적인 크기를 나타내거나 산술적인 계산을 할 수 있는 의미를 갖는 것이 아니라 대상들 간을 구분하기 위해서 사용되는 번호이다. 명목척도에 의해서 얻어지는 데이터는 가장 적은 양의 정보를 제공하며 4가지 척도 중에서 가장 낮은 단계이므로 사용 가능한 통계량이나 통계적 분석기법의 적용에 있어서 가장 많은 제약을 받는다. 즉, 데이터는 단순한 분류 및 식별의 의미만을 제공하므로 경우의 수, 최빈값, 이항분포검증, 교차분석 등이 통계량으로서 적절하다.

(2) 서열척도(ordinal scale)

측정대상간의 순서관계를 밝혀주는 척도로

서 명목척도로 표현된 데이터가 갖는 분류와 식별의 의미를 가지며 측정대상에 대한 순위 결정이 가능하다. 즉 측정대상의 속성으로 판단하여 측정대상 간의 대소나 높고 낮음 등의 순위를 부여해 주는 척도이다. 그러나 측정대상 간의 해당 속성의 양적인 비교를 할 수 없다. 따라서 선호의 정도는 알 수 없고 단지 순위만을 나타낼 뿐이다. 순서를 변화시키지 않는 범위 내에서 모든 종류의 변환이 가능하다. 서열척도는 주로 정확하게 정량화하기 어려운 소비자의 태도, 선호도 등의 측정에 이용된다. 이런 척도로 부터 얻어진 데이터는 중앙값, 서열상관관계, 서열간의 차이분석 등을 행할 수 있으며 산술평균이나 표준편차 등이 포함되는 분석은 행할 수 없다.

(3) 간격척도(interval scale, 등간 척도)

간격척도는 속성에 대한 순위를 부여하되 순위 사이의 간격이 동일한 척도를 말한다. 간격척도에 의해서 얻어진 측정치는 측정대상이 갖는 속성의 양적인 정도의 차이와 척도의 연속성이 존재한다. 해당속성이 전혀 없는 절대적인 원점(absolute zero)은 존재하지 않지만 임의적인 원점은 존재한다. 그러나 임의적인 원점만으로는 측정간의 비율계산은 무의미하다. 측정하고자 하는 속성이 전혀 존재하지 않는 절대원점에 부여한 숫자가 0이 아닌 경우는 간격척도가 된다. 간격척도는 온도계의 수치가 대표적이며 주로 몰가지수나 생산성지수와 같은 지수의 측정에 잘 이용되며 이로부터 얻은 데이터는 범위의 계산, 산술평균, 표준편차, 상관계수를 구할 수 있고 비모수 검정 뿐만 아니라 회귀분석과 분산분석 등의 모수검정을 실시할 수 있다.

(4) 비율척도(ratio scale)

비율척도는 이전의 모든 척도의 성질을 가지고 있으며 서로 다른 두 값의 차이 뿐만 아니라 측정값 사이의 비율계산이 가능한 척도이다. 비율계산이 가능한 것은 측정하고자하는 속성이 전혀 존재하지 않은 상태가 0인 절대영점이 존재하기 때문이다. 비율척도로 측정되어지는 변수는 연령, 가격, 소득 등이 있다. 비율척도 데이터에 대하여 불변성을 유지할 수 있는 변환은 상수를 곱하여 원점을 변화시키지 않는 1차 함수 뿐이며 어떠한 형태의 통계적 분석도 적용이 가능하다.

(1) 비모수 통계분석법

모집단의 분포에 대한 가정이 불필요한 경우와 자료의 특성이 비수치적(nonmetric)일 때 적용되는 분석법으로서 명목자료와 서열자료를 분석하는 경우에 사용된다. 서열자료, 명목자료의 특성 그리고 표본수에 따라서 분석방법은 달라진다. 명목자료를 분석하는 방법은 χ^2 검정, 이항분포검정 그리고 run 검정법을 사용하고 켄달의 일치도 검정, 콜모고르프-스미르노프 검정, 부호검정은 서열자료분석법으로 사용한다.

3.2 자료 형태에 따른 분석방법

scaling 기법을 통해 측정된 결과는 명목, 서열, 간격, 비율로 구분되며 각 자료 특성에 따라서 통계처리 방법 및 분석방법이 달라진다. 이 절에서는 자료형태에 따른 분석기법을 소개한다.

표 1은 척도별 자료 분석 방법 예를 보여준다.^[2]

표 2. 단일 표본 분석법

Table 2. The method of analyzing single sample

자료의 형태	분석 방법
명목 자료	χ^2 - test run test binominal test
서열 자료	Kolmogorov-Smirnov one sample test

표 1. 척도별 자료 분석 방법 및 예

Table 1. The classification list of data

척 도	숫자부여 방법	평균의 측정	적용 가능 분석 방법	예
명 목 척 도	확 인 분 류	최 빈 값	빈 도 분 석 비모수 통계 교 차 분 석	성별분류, 상품유형별류, 존재유무
서 열 척 도	순 위 비 교	중 앙 값	서열상관관계 비모수 통계	상표선호순위, 상품품질등위, 사회계층
간 격 척 도	간 격 비 교	산 술 평 균	모 수 통 계	온도, 주가지수, 상표선호도
비 율 척 도	절대적 크기 비 교	기 하 평 균 조 화 평 균	모 수 통 계	매출액, 구매확률, 무게, 소득, 나이

표 3. 복수 표본 분석방법

표 3. The method of analyzing multiple samples

자료의 형태	분석 방법
명목 자료	χ^2 - test McNemar test Cochran Q test
서열 자료	Kolmogorov-Smirnov two sample test Mann-Whitney U test Median test Kruskal-Wallis one way ANOVA Friedman-two way ANOVA Kendall Wald-Worforwitz test Wilcoxon test Sign test

(2) 모수통계분석

이것은 모집단의 특성을 나타내는 모수에

표 4. 독립 변수와 종속 변수 관계 분석법

Table 4. The method of analyzing relations between dependent and independent variable

	독립 변수	종속 변수
correlation	간격(비율)	간격(비율)
regression	간격(비율)	간격(비율)
analysis of variance	명목	간격(비율)
discriminant analysis	간격(비율)	명목
canonical correlation	간격(비율)	간격(비율)

표 5. 변수들 간의 상호관계 분석법

Table 5. The method of analyzing relations among variables

	자료의 형태
factor analysis	간격(비율)
cluster analysis	간격(비율)
multi-dimensional scaling	간격(비율)

대한 검정과 수치적(metric) 특성을 지닌 간격 자료와 비율 자료를 대상으로 변수간의 관계를 분석한다. 독립 변수와 종속 변수가 없을 때 변수와 대상의 집단화(grouping)에는 요인 분석과 다차원 척도법 등이 적용된다.

IV. Psychophysical Scales

Psychophysical scales은 측정 방법에 따라 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 구분한다^[4]. 직접적인 방법은 관찰자가 측정대상을 직접 평가하여 인지강도를 표현하는 방법이고 간접적인 방법은 관찰자가 비교를 통하여 측정대상을 간접적으로 평가함으로써 측정치를 얻는다.

Paired Comparison Scale

자극을 비교의 대상이 되는 기준자극(Standard Stimulus)과 함께 제시하여 피실험자가 어느 쪽의 자극이 더 크게 느껴지는지를 응답하게 한다. 서로 다른 두 자극 A와 B에 대한 전체 실험횟수 중 자극 A가 기준이 되는 자극 B보다 크다고 응답한 횟수의 비를 계산하여 이를 이용하여 A와 B의 차이의 분포를 유도함으로써 측정치를 결정하게 되므로, 결과적으로 얻어지는 척도는 간격척도로 볼 수 있다. 따라서 산술평균, 표준편차를 사용할 수 있으며 회귀분석 및 분산분석과 같은 모수검정이 가능하다. 쌍비교는 각 자극의 세기가 주관적 강도(subjective magnitude)의 분포로 표현이 가능하고 두 자극의 차이는 정규분포를 따른다는 것을 전제로 한다^[5]. 한편 n 개의 자극을 평가하고자 할 때 2^n 를 반복해야 하므로 n 이 클 경우, 실험평가가 불가능한 규모가 된다는 단점이 있다.

Ranking

피실험자가 주어진 자극을 평가하여 지각강도의 크기에 따라 모든 자극에 대한 순위를 결정하는 방법으로 일련의 자극에 대한 개개인의 Ranking 결과로 부터 집단 전체의 Ranking 결과(Group Ranking)를 얻기 위해 사용한다^[5]. Ranking에 의한 평가 결과로 얻어지는 척도는 서열척도이다.

Sorting

피실험자에게 모든 자극을 동시에 제시하여 Ranking과 Paired Comparison을 통해 자극들을 순서가 있는 일련의 항목으로 분류하는 방법이다^[5]. 순서대로 제시된 일련의 항목에 맞추어 주어진 자극을 분류하는 것으로서 모든 자극을 동시에 고려해야 하기 때문에 평가 대상 자극의 수가 많은 경우 측정이 어렵다. Sorting을 통해 얻어지는 척도는 서열척도이다.

Category Scales

Category Scaling은 제한적인 항목들 중에서 피실험자가 느낀 지각강도를 가장 유사하게 표현한 항목을 선택하도록 하는 방법을 쓴다. Sorting의 경우는 피실험자에게 모든 자극을 동시에 제시하는 데 반해 Category Scaling에서는 한 번 시행에 하나의 자극만을 제시하게 된다. Category Scale의 종류는 크게 두가지 유형으로 구분할 수 있다. 먼저 제한적인 항목들 중에서 피실험자가 느낀 지각강도를 가장 유사하게 표현하는 항목을 선택하도록 하는 방법을 쓴다. 이러한 유형의 척도에서는 항목들간의 등간격성을 보장할 수 없으므로 간격척도로 보기 어렵다. 두번째 유형은 지각강도의 최고치와 최하치를 나타내는 형용사나 어

구만을 제시하여 이들을 양 끝점으로 하는 구간을 세부항목으로 구분하여 관찰자의 지각강도와 유사한 점을 선택하게 하는 방법이다. 이러한 유형의 Category Scale은 간격척도로 판단하여 대표값으로 평균, 표준편차를 사용하거나 분산분석 또는 요인분석을 사용하여 변수간의 관계를 밝히는 것은 범주척도 데이터 처리에서 자주 발생하는 오류이다. 그러나 실제로 척도의 연속성이 없으므로 서열척도로 보는 것이 타당하다. 이 방법은 다른 방법과 비교하여 측정이 용이하고 평가대상의 갯수만큼만 실험을 실시하면 측정치를 얻어낼 수가 있으므로 자극의 평가와 분석이 간단하여 여러 분야에서 가장 널리 적용되고 있으나 다음과 같은 단점이 있다^[6].

① 정보의 손실

측정대상의 성격을 표현하는 몇 개의 제한적 항목만을 제시한 후 실제 지각강도와 가장 유사한 하나의 항목만을 선택하게 하므로써 피실험자에게 유사성-상이성(similarity-difference) 판단만을 행하게 한다. 또한 다소 조그만 차이가 있음에도 불구하고 동일한 범주로 판단하게 하므로써 정보손실의 가능성이 있다. 즉 자극의 실제 범위와 제한된 범주 범위간의 차이가 커지기 때문에 정보 손실이 커진다.

② 서열수준의 데이터

형용사나 어구의 선택에 유의하지 않으면서 서열수준의 측정결과를 얻게 된다. 이때 범주에 숫자를 할당하고 이것을 간격수준의 데이터로 취급하여 타당한 기법보다 더 강력한 통계적 기법을 적용하므로 정확한 결론을 얻을 수 없다.

③ 편향된 결과

제한된 항목 수를 제시하고 범주에 할당하는 값도 임의적이므로 자극과 피실험자의 응답간의 차이가 발생하고 이것은 피실험자의

응답에 의도하지 않은 영향을 주므로써 편향된 결과를 야기시킨다.

Ratio Scales

비율판단에 의해 측정치를 결정하는 Ratio Scaling 기법 중 가장 많이 이용되는 방법은 Magnitude Estimation 이 있다^{[9][10]}. 이 기법은 관찰자가 주어진 자극을 평가하여 기준자극의 지각강도에 대한 비율로 판단한 후 기준자극에 배정된 값에 이 비율을 곱한 값을 응답하게 하여 이를 측정치로 이용하는 방법이다^{[3][4][6]}. 기준자극에 해당하는 값을 제시해 주는 Modulus Method와 이를 피실험자 스스로가 결정하게 하는 Free-Modulus Method로 구분되는데, Modulus Method의 경우 피실험자의 응답에 편중된 영향을 초래할 가능성이 커기 때문에 Free-Modulus Method가 자주 사용되고 있다. 측정 결과 얻어지는 데이터는 비율척도의 데이터이므로 모든 통계량이 의미를 가지며 모든 통계적 검증기법의 적용이 가능하다. 또한 측정에 이용할 수 있는 응답형식(response modality)이 다양하고 제시된 자극강도에 대해 2개의 응답형식을 일치시키는 Cross-Modality Matching을 사용하여 척도의 타당성을 검토할 수 있는 장점이 있는 가장 강력한 측정기법이라고 할 수 있다^{[7][8]}.

간접적인 방법으로 측정치를 얻어내는 방법은 Paired Comparison Scale, Ranking 및 Sorting 에 의한 측정 방법이 있으며 Category Scale, Magnitude Scale은 직접적인 방법에 해당한다.

V. 결 론

인간공학에서 연구목적과 관련하여 타당한

실험설계 구현은 올바른 결론을 유도하기 위한 선결조건이다. 측정목적은 정의한 후 측정대상이 가지고 있는 특성에 적합한 자료를 수집하고 수집한 자료의 성격에 맞는 해석기법을 적용하는 것은 실험설계의 전부라고 할 수 있다. 따라서 psychophysical scaling 기법을 통해 인간의 주관적인 판단과정을 정량화 할 때 측정대상이 가지고 있는 특성과 척도의 특성이 일치해야 한다. 또한 척도의 특성에 따라 자료의 조작 및 분석방법에 제한이 가해지므로 측정의 목적에 적합한 측정기법(자료수집방법)을 선택한 후 실험결과를 평가하고 허용된 범위내에서 분석을 행해야 정의된 목적을 만족시킬 수 있는 타당한 결론을 유도할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Stevens, S.S., "on the theory of scales of measurements", *Science*, vol.103, pp.667-680, 1946
- [2] SPSS/PC+ 를 이용한 통계분석, 채서일, 김범중 공저, 법문사, 1992
- [3] Gescheider, G. A., "Psychophysical Scaling", *Annual Review of Psychology*, Vol.39, pp.169-200, 1988
- [4] Gescheider, G. A., *Psychophysics : Method, Theory, and Practice*, 2nd Ed., Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum Associates, 1985
- [5] Meister, D., "subjective and Objective Method", *Behavioral Analysis and Measurement Methods*, 1985
- [6] Lodge, M., *Magnitude Scaling: Quantitative Measurement of Options*, 1981

- [7] Ward. L. M., "Mixed-Modality Psychoophysical Scaling: Sequential Dependencies and Other Properties", *Perception and Psychophysics*, Vol.31, pp.53-62, 1982
- [8] Ward. L. M., "Mixed-Modality Psychoophysical Scaling: Intermodality and Intramodality Sequential Dependencies as A Function of Log", *Perception and Psychophysics*, Vol.38, pp.512-522, 1985
- [9] Zwislocki, J. J., "Absolute and Other Scales: Question of Validity", *Perception and Psychophysics*, Vol.33, pp.593-594, 1983a
- [10] Zwislocki, J. J., "Group and Individual Relations between Sensation Magnitude and Their Numerical Estimation", *Perception and Psychophysics*, Vol.33, pp.460-468, 1983b
- [11] 도해 에르고노믹스, 한국공업표준협회, 1990

□ 著者紹介

곽 효 연

1991년 2월 동아대학교 선업공학과(학사)
1993년 2월 동아대학교 대학원 산업공학과(석사)
1994년 3월 동아대학교 대학원 산업공학과(박사과정 재학)

제 중 식

1984년 2월 동의대학교 공업경영학과(학사)
1986년 2월 동아대학교 대학원 공업경영학과(석사)
1994년 3월 동아대학교 대학원 산업공학과(박사과정 재학)
현재 동래여자전문대학 사무자동화과 조교수

