

정보 차원의 배합이 이중 순서 학습에 미치는 영향: 위계적 공간 차원상의 순서 학습을 통한 연구

Jacqueline Chakyung Shin[†]

Indiana State University

환경 자극 중에는 여러 차원에서 정보가 패턴을 이루면서 나타나는 경우가 많다. 인간은 동시에 여러 차원에서 제시되는 정보 패턴을 암묵적으로 학습할 능력을 가졌지만, 어떤 경우에 어떤 정보가 학습되는지 잘 이해되지 않고 있다. 예컨대, 화면을 삼분하는 세 영역이 있고, 각 영역 안에 네 개의 국소 위치가 있는 자극판에서 자극이 순차적으로 임의의 한 곳에 제시되면, 자극의 제시 위치는 영역 위치와 (각 영역 내) 국소 위치의 두 개 차원에서 조작된다. 이때 영역 차원과 국소 차원간의 독특성(distinctiveness)이 자극 제시 위치의 순서 학습에 어떤 영향을 미치는지를 본 연구는 살펴보았다. 실험 참가자는 자극의 국소 위치에 따라 반응을 했고, 자극이 속한 영역의 위치는 반응과 무관했다. **관계 반복 조건**에서는 영역 및 국소 순서 계열간의 관계가 일정하게 유지되었으므로 두 계열이 통합되어 학습될 여지가 있었다. **관계 변동 조건**에서는 두 순서 계열간에 일정한 관계가 유지되지 않았으나, 개별 순서 계열들이 독립적으로 학습될 여지가 있었다. 주요 결과는 다음과 같았다. 첫째, 관계 반복 조건에서는 통합 순서 학습은 일어났으나 개별 순서 학습은 일어나지 않았다. 둘째, 관계 변동 조건에서는 영역 순서가 학습되었지만 국소 순서는 학습되지 않았다. 다시 말해서 통합 순서 학습과 개별 순서 학습이 동시에 일어나지 않았으며, 개별 순서 학습도 불완전했다. 이 결과는 자극 제시 차원간의 독특성이 높았던 선행 연구에서 통합 순서 학습과 개별 순서 학습이 모두 일어난 결과와 대조되며, 본 연구 결과는 두 순서 계열이 밀접한 관계를 가진 차원상에 제시되었기 때문에 얻어졌다고 볼 수 있다. 부호화 혹은 작업 기억 활성화 과정에서 차원간의 상호작용이 일어나서 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 제약 받았다고 해석할 수 있다.

주요어 : 순서 학습, 암묵 학습, 공간 학습

[†] 교신저자 : Jacqueline Chakyung Shin, Department of Psychology, Indiana State University, Terre Haute, IN 47809, U.S.A.

E-mail : Jacqueline.shin@indstate.edu, Fax : 001-1-812-237-4378

테니스, 수영 등의 스포츠에서부터 말하기, 워드프로세서로 글짓기와 같은 일상적인 루틴(routine)에 이르기까지 복잡하면서도 일관성 있게 수행되는 행위들을 운동 기술(motor skill)이라 일컫는다. 이들 기술은 오랜 반복과 연습을 통해 “몸에 배어” 정확 신속하게 수행된다. 동작 순서의 반복적인 연습을 통하여 인지적 자원을 절약하고 자동적으로 일련의 동작들을 수행할 수 있게 된다. 운동 기술을 습득하는 데는 의식적이고 전략적인 인지 과정들도 어느 정도 중요한 역할을 하는 것은 사실이지만, 자동화의 핵심은 반복을 통한 암묵 학습(implicit learning)이다. 특정 운동 기술을 암묵 학습하는 데에 관계되는 정보는 동시에 여러 자극 차원에서 주어지지만, 주어진 모든 정보가 학습되는 것이 아니라, 그 중 하나의 혹은 몇 개의 차원에서 정보가 선택 학습된다.

본 연구의 목적은 다수의 차원에서 주어지는 순서 정보 중 암묵 학습으로 이어지는 요건을 탐구하는 데에 있다. 본 연구에서는 운동 기술 학습을 연구하는 패러다임으로 흔히 이용되는 계열 반응 과제(serial reaction time task)를 사용했다. 이 과제에서는 시행마다 자극을 바꾸어 제시하면서 일정한 순서로 반복 제시한다. 자극을 무선으로 제시한 구획과 비교해서 반응 시간이 감소하면 순서 학습이 일어난 것으로 본다. 대체로 실험 참가자는 자극의 순서를 보고하지 못하므로 의식적인 과정을 거치지 않은 암묵 학습이 일어나는 것으로 본다.

선행 연구들은 두 정보 차원상에 별개로 전개되는 순서 계열을 동시에 학습하는 이중 순

서 학습(dual-sequence learning)이 가능하다는 것을 보여주었다. 예컨대, Mayr(1996)는 두 시각 차원에서 순서 계열을 제시하였다. 즉, 네 가지 자극의 모양에 따라 반응 단추를 누르게 했고, 이들 자극을 네 가지 위치에 제시하였다. 두 순서 계열은 길이가 서로 달랐기 때문에 상관관계를 가지지 않은 채 전개되었다. 이 연구에서는 두 순서 계열이 각각 학습되는 **개별 순서 학습**이 발견되었다.

서로 상관관계를 가지고 제시될 경우 순서 계열들이 개별적으로 순서 학습이 일어나는 동시에 통합적으로 학습되기도 한다. Schmidtke와 Heuer(1997)는 시각 자극과 청각 자극을 동시에 제시하였다. 즉, 시각 자극의 위치에 따라 손으로 단추를 누르게 하였고, 자극제시시차 동안 청각 자극을 제시해서 그 높낮이 주파수에 따라 발로 단추를 누르게 하였다. 이 연구에서는 계열의 길이를 똑같이 맞추고 일정한 관계를 유지하도록 제시하였다. 연습 후 두 계열간에 일정하게 유지되었던 관계를 깨뜨리도록 계열을 서로 어긋나게 제시했을 때, 반응 시간이 늘어났다. 이 결과는 두 계열간의 관계가 **통합 학습**되었다는 것을 가리켰다. 동시에 두 차원의 개별 순서 학습도 발견되었다.

Keele, Ivry, Mayr, Hazeltine 및 Heuer(2003)는 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 각각 서로 다른 뇌 체계에 의해서 이루어진다고 제안했다. 즉, 전자는 뇌 피질의 상위 체계인 “단차원 학습 체계(unidimensional system)”에 의해서, 후자는 뇌 피질의 하위 체계인 “다차원 학습 체계(multidimensional system)”에 의해서 이루어진다고 가정했다. 서로 다른 학습 체계가

동시에 활성화되는 것이 가능하다면 개별 순서 학습과 통합 순서 학습도 동시에 가능하다고 결론지을 수 있다. 그러나 사실상 이중 개별 순서 학습이 관찰되지 않은 예도 있고 (Willingham, Nissen & Bullemer, 1989), 통합 순서 학습이 일어나도 개별 순서 학습이 일어나지 않은 예도 있다(Cock & Meier, 2007; Shin & Ivry, 2002). Willingham 등(1989)에서는 자극의 색과 위치가 각기 별개의 순서 계열로 제시되었다. 반응과 관계있는 색의 순서 계열은 학습되었으나, Mayr(1996)에서와는 반대로, 반응과 무관한 위치의 순서 계열은 학습되지 않았다. Mayr(1996)의 연구에서는 눈 운동이 필요할 정도로 자극간의 거리가 멀었으므로, 이와 비교할 때 자극간 거리가 가까웠던 Willingham 등(1989)의 연구에서는 자극 위치가 상대적으로 **현출성(perceptual salience)**이 낮았다고 해석할 수 있다. 단차원 순서 학습에서 자극에 주의가 주어지는 것이 중요하기 때문에(Jiménez & Méndez, 1999) 이중 순서 학습에서도 현출성이 한 요인으로 작용할 수가 있다. 또, 자극 차원이 반응과 관계 있어야 하는 것이 학습의 또 한 요인으로 작용할 수 있다.

Shin과 Ivry(2002)에서는 반응과 관계 있는 자극 위치와 반응과 무관한 반응-자극제시 시차(RSI)가 각기 순서 계열로 제시되었다. Schmidtke와 Heuer(1997)에서 발견된 것처럼 통합 순서 학습이 일어났고, 동시에 위치 순서 계열에 대한 개별 순서 학습도 일어났다. 그러나 RSI 계열에 대한 개별 순서 학습은 일어나지 않았다. 과제 전환 과제(tasks-switching)를 이용한 Cock과 Meier(2007)에서도 과제와 반응

의 순서 계열간 관계는 학습되었지만 개별 순서 학습이 일어나지 않았다. 두 연구 경우에는 자극의 현출성이 비교적 높았기 때문에 개별 자극 차원들의 현출성 문제는 아닌 것으로 보인다.

본 연구에서는 현출성이나 반응과 관계 있는지 여부보다 차원간의 관계성이 이중 학습의 요인이 될 수 있는지 탐구했다. 구체적으로, **차원간 독특성(cross-dimensional distinctiveness)**이 암묵 학습에 영향을 미치는지 알아보았다. 차원간 독특성은 지각적인 독특성으로 정의될 수도 있고 또 감각 양상간에 뇌 피질상 표상 거리로 생각할 수도 있겠다. 두 차원이 유사할수록 각 차원의 정보를 독립적으로 입력하거나 작업 기억에 유지하는 등의 정보 처리 과정이 비효율적일 것이고, 따라서, 암묵 학습이 제약을 받을 것이다. 순서 계열의 인접한 원소들이 작업 기억에 동시에 활성화되는 것이 순서 학습에 중요하다(Stadler, 1995). Willingham 등(1989)과 Shin과 Ivry(2002)에서 개별 차원 학습이 이루어지지 않은 것은 차원들이 서로 너무 유사했기 때문일 가능성이 있다. 전자의 경우에는 두 차원이 모두 시각 차원이어서 독특성이 낮았다고 볼 수 있고, 후자의 경우에는 시간 차원(RSI)이 자극 자체와도 반응과도 밀접한 관계를 가졌기 때문에 독특성이 낮았다고 볼 수 있다. 반면, 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 관찰된 Schmidtke와 Heuer(1997)에서는 자극이 시각과 청각, 독특성이 서로 높은 차원상에 제시되었다.

이중 순서 학습을 탐구한 선행 연구는 차원간 독특성이 매우 높은 경우도 있었고 독특성이 그리 높아 보이지 않는 경우도 있었다. 그

러나 차원간의 독특성을 직접 조작한 연구가 없었기 때문에 이 요인이 실제로 순서 학습에 미치는 영향을 가늠하기 어렵다. 본 연구에서는 독특성이 분명히 높은 Schmidtke와 Heuer (1997)의 연구와 비교하기 위해서 이와 대조되게 차원간 독특성이 가능한 한 낮은 상황을 만들었다. 그 외의 요인은 Schmidtke와 Heuer (1997)와 가능한 한 비슷하게 하였다. 구체적으로 말하자면, 같은 시공간상에 별개의 순서 계열을 제시하여 차원간의 독특성을 매우 낮게 하는 동시에, Schmidtke와 Heuer(1997)와 같이 두 차원이 상관관계를 가지고 제시될 경우와 그런 관계가 없을 경우를 실험에 포함했다. 그림 1과 같이 세 개의 넓은 영역이 있고, 각 영역 속에 네 개의 국소 위치가 있었다. 자극은 시행마다 12개 중에 한 위치에 제시된다. 이렇게 영역 공간과 국소 위치라는 위계적인 관계를 가진 두 차원의 독특성은 극히 낮은 것이 특징이다. 독특성이 낮아도 각 차원의 순서 계열을 독립적으로 조작할 수 있다. 독특성이 낮은 점만 제외하면 각 차원의 순서가 학습될 조건은 최대화된다. 왜냐하면, 영역 차원은 현출성이 높으며, 국소 차원은 반응과 관계있기 때문이다.

차원간 독특성이 낮으면 각 차원이 독립적으로 입력되거나 작업 기억에 유지되기 어려울 것이라는 가설에 따르면 개별 순서 학습이 두 차원에서 동시에 이루어지지 않을 것이라고 예언된다. 특히, 두 차원이 상관관계를 가지고 제시될 경우 개별 순서 학습은 특히 힘들고, 그 대신 통합 순서 학습이 일어날 것으로 예언된다.

방 법

참가자들은 계열 반응 과제를 수행하고 나서 외현 학습(explicit learning) 설문지에 응답했다. 전부 한 시간 가량 걸렸다.

계열 반응 과제

자극과 도구. 참가자는 컴퓨터 모니터를 약 60 cm 거리에서 보았다. 모니터에 세 영역이 그림 1처럼 삼각형 형태로 제시되었고, 각 영역마다 네 곳의 국소 위치가 네모로 표시되었다. 한 영역의 중심에서 인접한 영역의 중심까지의 간격은 약 5.5 cm 였다. 각 영역 안에 있는 네모들의 중심간 간격은 1.1 cm 였고, 각 네모의 크기는 .8 cm x 1.0 cm 였다. 각 시행마다 한 네모 안에 X자가 300 ms 동안—혹은 반응 시간이 그보다 짧으면 반응할 때까지만—제시되었다. 반응-자극제시차(response-to-stimulus interval, RSI)는 500 ms 였다. 반응은

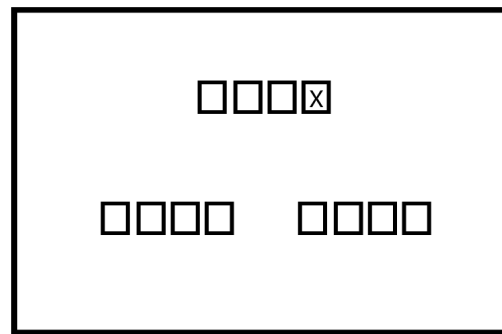


그림 1. 실험 자극. 시행마다 X자극이 12 네모 중 한 곳에 제시되었다. 이때, X자극이 제시된 영역 내 국소 위치 넷 중 X의 위치에 해당하는 단추를 눌러야 했다. 이 그림 경우에는 네 째 단추를 누르는 것이 정확한 반응이다.

특별히 계열 반응 과제를 위해 만들어진 반응 판을 사용했다. 네 반응 단추는 각각 10.2 cm x 2.0 cm 였고, 단추간 간격은 .6 cm 였다. 능숙한 손으로 반응했다.

실험 과정과 설계. 12네모 중에 어느 하나에 X자극이 제시되는데, 참가자의 과제는 X의 국소위치(즉 해당 영역 내의 1~4위치)를 반응 단추를 눌러 표시하는 것이었다. 가령, 자극이 네 곳의 국소 위치 중 제일 오른쪽에 제시되었으면 제일 오른쪽의 반응 단추를 누르도록 요구 받았으며, 자극이 제시되는 영역은 반응과 무관했다. X자극이 제시된 영역과 국소 위치는 서로 다른 순서 계열로 반복 제시되었다. 또, 순서 학습을 측정하기 위하여 영역이나 국소 위치가 무선적으로 제시되는 구획도 포함시켰다. 국소 위치가 순서 계열을 이루는 구획에서는 국소 위치가 14213243의 형식으로 8개의 원소로 구성된 순서 계열로 반복 제시되었다. 영역이 순서 계열을 이루는 구획에서는 그 순서 계열의 길이가 참가자 집단에 따라 다르게 제시되었다. **관계 반복 조건**에서는 자극이 제시되는 영역이 ACBCACBC의 형식으로 8개의 원소로 이루어진 순서 계열로 제시

되었는데, 이 때문에 영역의 순서 계열과 국소 위치의 순서 계열간에는 일정한 관계가 반복 유지되었다. 이 조건에서는 세 가지 순서 정보, 즉 국소 순서, 영역 순서 및 계열간의 관계에 대한 학습이 가능했다. **관계 변동 조건**에서는 영역이 ACBCABC의 형식으로 7개의 원소로 구성된 순서로 제시되었다. 이 조건에서는 국소와 영역의 관계가 순서 계열이 반복될 때마다 바뀌었으므로, 국소 순서와 영역 순서 두 가지 정보에 대한 학습만 가능했다. 표 1에서 관계 반복 조건과 관계 변동 조건의 특성을 요약했다.

순서 학습을 측정하기 위하여 영역의 위치가 무선으로 제시된 구획 및 국소 위치가 무선으로 제시된 구획을 포함시켰다. 국소 위치가 무선으로 제시된 구획에서는 연달아 같은 위치가 반복되지 않도록 하였다. 그리고 연달아 제시되는 두 시행간의 관계는 순서 구획과 무선 구획간에 같도록 했다. 이렇게 한 이유는 순서 학습을 측정할 때, 연달아 제시되는 세 원소 이상의 관계를 학습한 것만 측정하기 위해서였다. 마지막으로, 국소 위치가 무선으로 제시된 구획에서는 순서 계열로 제시된 구획과 마찬가지로 각 위치가 대략 1/4의 시행에

표 1. 순서 계열이 제시된 구획에서의 실험 조건들의 특성

	관계 반복 조건	관계 변동 조건
국소 순서 계열의 길이	8 원소	8 원소
영역 순서 계열의 길이	8 원소	7 원소
계열간 관계	일정한 관계 존재	관계가 계속 변동함
학습 가능한 정보	국소 순서 영역 순서 계열간 관계	국소 순서 영역 순서

제시되었다. 영역이 무선으로 제시된 구획에서도 국소 위치와 같은 통계를 하였다.

국소 위치와 영역이 각기 순서 계열로 제시되는지 무선으로 제시되는지에 따라 네 종류의 구획이 있었다. 27 구획에 걸쳐 제시된 순위는 표 2와 같았다. 각 구획은 56개 시행으로 구성되었다. 그러므로, 국소 위치나 영역의 순서 계열이 제시되는 구획에서는 계열이 7-8번 반복 제시되었다. 구획 1-2는 국소 위치와 영역이 둘 다 무선으로 제시되어 계열 반응

과제가 친숙해지도록 연습하는 부분이었다. 구획 3-7에는 두 차원에서 순서 계열이 제시되었다.

순서 학습을 측정하기 위한 **탐사 구획**이 제시되었다. 다섯 종류의 탐사는 각각 네 구획으로 구성되었다. 이 중 바깥에 있는 구획(첫째와 넷째 구획)과 안에 있는 구획(둘째와 세째 구획)은 서로 제시되는 내용이 달랐다. 바깥구획이 안구획보다 제시되는 순서 정보가 더 많았다. 표 3에서 그 차이가 요약되었다.

표 2. 실험에서의 구획과 탐사 구획의 전개 순위

구획	국소 위치	영역	탐사 구획
1-2	무선	무선	
3-7	순서	순서	
8	순서	순서	} 계열 관계
9-10	관계 바꿈	관계 바꿈	
11	순서	순서	
12	순서	순서	
13	순서	순서(무선)	} 국소-S (국소-R)
14-15	무선	순서(무선)	
16	순서	순서(무선)	
17	순서	순서	
18	순서	순서	} 영역-S
19-20	순서	무선	
21	순서	순서	
22-23	순서	순서	영역-R
24	순서	무선(순서)	} 국소-R (국소-S)
25-26	무선	무선(순서)	
27	순서	무선(순서)	

주. 탐사 구획의 균형 배치를 위해 참가자의 반에게는 괄호 속의 구획 종류를 제시했다. 영역-R 탐사 구획은 화살표가 나타내듯이 국소-S 탐사 구획과 국소-R 탐사 구획 중의 국소 위치가 무선적으로 제시된 구획(구획 14, 15, 25, 26)들로 구성되었다.

표 3. 탐사 구획에 순서 계열로 제시된 정보

탐사 구획 (구획)	바깥구획	안구획	바깥구획과 안구획의 차이
계열 관계 (8-11)	국소 영역 계열간 관계	국소 영역	계열간 관계
국소-S (13-16 혹은 24-27)	국소 영역 계열간 관계	영역	국소 계열간 관계
국소-R (24-27 혹은 13-16)	국소		국소
영역-S (18-21)	국소 영역 계열간 관계	국소	영역 계열간 관계
영역-R (14-15와 25-26)	영역		영역

주. 계열간 관계는 관계 반복 조건의 경우에만 해당된다.

안구획의 반응 시간에서 바깥구획의 반응 시간을 빼서 그 값이 영보다 크면 학습이 일어난 것으로 보았다. 탐사 구획의 구성은 다음에 구체적으로 기술되어 있다.

가. 계열 관계 탐사: 이것은 관계 반복 조건에서 일정하게 유지된 두 순서 계열간의 관계에 대한 학습을 측정하기 위한 탐사였다. 바깥구획에서는 구획 3-7동안 일정하게 제시된 것과 마찬가지로 두 차원의 관계가 반복되도록 하였다. 반면, 안구획에서는 두 순서 계열은 제시되었으나, 그 관계가 무너졌다. 즉, 영역 순서 계열을 국소 순서 계열에 비해서 한 시행만큼 앞당겨 제시했다. 바깥구획과 안구획의 차이는 계열간 관계의 제시 여부에 있었다. 관계 변동 조건에서도 이 탐사를 포함

시켰으나, 56 시행마다 반복되는 계열간 관계의 학습이 기대되지 않았기 때문에 관계 반복 조건과 비교하기 위한 통제 이상의 의미가 없었다.

나. 국소-S 탐사: 이것은 국소 순서 학습을 측정하는 탐사였다. 국소 위치가 바깥구획에서는 순서 계열로 제시되었고, 안구획에서는 무선으로 제시되었다. 네 구획 모두 영역이 순서 계열로 제시되었다. 바깥구획과 안구획은 국소 순서와 계열간 관계 두 가지 내용에서 차이가 났다.

다. 국소-R 탐사: 이것은 국소 순서 학습을 측정하는 또 한 탐사였다. 국소 위치의 구성은 국소-S탐사와 같았으나, 네 구획 모두 영역

이 무선으로 제시되었다. 바깥구획과 안구획은 단지 국소 순서에서 차이가 났다.

라. 영역-S탐사: 이것은 영역 순서 학습을 측정하는 탐사였다. 영역이 바깥구획에서는 순서 계열로 제시되었고, 안구획에서는 무선으로 제시되었다. 네 구획 모두 국소 위치가 순서 계열로 제시되었다. 따라서, 바깥구획과 안구획은 영역 순서와 계열간 관계 두 가지 내용에서 차이가 났다.

마. 영역-R탐사: 이것은 영역 순서 학습을 측정하는 또 한 탐사였다. 영역은 영역-S탐사와 같았으나, 네 구획 모두 국소 위치가 무선으로 제시되었다. 따라서, 바깥구획과 안구획은 단지 영역 순서에서 차이가 났다.

반응 시간을 통하여 측정한 순서 학습 내용은 표 3의 네 번째 칼럼과 같다. 탐사 구획이 27구획 중에 차지한 순위는 표 2에 나타나 있다. 이 중 국소-S 탐사와 국소-R 탐사의 순위는 참가자에 걸쳐 균형 배치했다. 이 다섯 가지 탐사에서 얻어낸 측정치는 회귀 분석의 자료로서 국소 순서 학습, 영역 순서 학습 및 두 계열간의 관계 학습을 측정하는 데 사용되었다.

과제 지시와 피드백. 참가자들에게 단추 반응의 정확도와 속도를 동일한 정도로 강조했다. 즉, 가능한 한 빨리 반응단추를 누르도록 하였다. 한 구획이 끝날 때마다 반응 시간 평균치와 틀린 반응의 수를 제시했다.

외현 학습 설문지 계열 반응 과제를 끝내고, 참가자는 국소 순서와 영역 순서를 의식적인 수준에서 학습한 정도를 알아내기 위한 설문지에 답했다. 이 설문지에서는 참가자가 다음 네 가지 조건 중 어느 조건에 속했는지를 답하게 했다:

1. X자극이 나타난 국소 위치와 영역이 모두 일정한 순서로 반복 제시되었다;
2. X자극이 나타난 국소 위치는 일정한 순서로 반복되었으나, 영역은 무선적으로 제시되었다;
3. X자극이 나타난 국소 위치는 무선적으로 제시되었으나, 영역은 일정한 순서로 반복 제시되었다;
4. X자극이 나타난 국소 위치와 영역이 모두 무선적으로 제시되었다.

다음, 참가자는 X자극이 나타난 국소 위치에 어떤 규칙성이 있었는지를 표시했다. 마지막으로, 참가자는 X자극이 나타난 영역에 어떤 규칙성이 있었는지를 표시했다.

참가자 56명의 대학생이 학점의 일부에 대한 보상을 전제로 실험에 참가하였다. 이 중 27명은 관계 반복 조건에 속했고, 29명은 관계 변동 조건에 속했다.

결 과

관계 변동 조건에 속했던 2명의 참가자 결과가 정확도나 반응 시간의 평균치가 극단치였기 때문에 분석에서 제외되었다. 그리하여, 관계 반복 조건과 관계 변동 조건에서 각각 27명씩 되는 총 54명의 참가자의 결과만 분석

다음, 다섯 개의 학습 계수를 이용한 회귀 분석은 개별 학습인 국소 순서 학습과 영역 순서 학습, 그리고 통합 학습인 계열간 관계 학습이 반응 시간을 감소시키는 데에 기여한다는 모델을 기초로 하였다. 이들이 반응 시간 감소에 각각 기여하는 정도를 β_1 , β_2 , β_3 로 표시하였다. 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 가산적으로 반응 시간을 감소시킬 가능성도 있고, 비가산적으로 작용할 가능성도 있다. 국소 순서 학습과 계열간 관계 학습이 비가산적으로 반응 시간을 감소시키는 효과(상호작용 효과)를 β_{13} 로 표시하고, 또 영역 순서 학습과 계열간 관계 학습의 상호작용 효과를 β_{23} 로 표시하였다. 이 다섯 요인을 포함하는 회귀모델은 다음과 같다.

$$Y = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_{13} + \beta_{23} + \varepsilon$$

여기서, Y 는 순서 학습으로 인한 반응 시간의 감소를 가리키고, ε 는 무선 오차다.

각 참가자마다 다섯 탐사 구획으로부터 산출한 학습 계수는, 표 3의 네 짝 칼럼에 요약된 것처럼, 측정하는 학습의 종류가 탐사 구획에 따라 달랐다. 위의 다섯 회귀 요인 중

학습 계수들이 반영하는 학습의 종류는 다음과 같았다.

$$\begin{aligned} Y_1 &= \beta_3 + \varepsilon_1 \\ Y_2 &= \beta_1 + \beta_3 + \beta_{13} + \varepsilon_2 \\ Y_3 &= \beta_1 + \varepsilon_3 \\ Y_4 &= \beta_2 + \beta_3 + \beta_{23} + \varepsilon_4 \\ Y_5 &= \beta_2 + \varepsilon_5 \end{aligned}$$

여기서, Y 들은 학습 계수들이다. Y_1 은 계열간 관계 탐사의 계수, Y_2 은 국소-S 탐사의 계수, Y_3 은 국소-R 탐사의 계수, Y_4 은 영역-S 탐사의 계수, 그리고, Y_5 은 영역-R 탐사의 계수를 나타낸다. Shin과 Ivry(2002)에서 상세히 기술한 방법을 따라 일반선형모형에 기초해서 β 들을 추정하는 최소제곱추정치 b 들을 구하는 회귀분석을 하였다. 이 추정치들의 단위는 ms였다. 이들 추정치의 평균치와 표준 오차가 표 4에 기록되어 있다.

모든 참가자의 결과. 모든 참가자의 결과는 표 4의 상단에 나타나 있다. 관계 반복 조건에서는 국소 순서 학습과 영역 순서 학습의 추정치 b_1 과 b_2 는 무시할 만했다, $|M|_s=2$. 반

표 4. 학습 요인 추정치의 평균치(표준 오차)

조건	b_1	b_2	b_3	b_{13}	b_{23}
모든 참가자 포함					
관계 반복 ($n=27$)	-2 (4)	-2 (5)	35 (8)	35 (10)	15 (10)
관계 변동 ($n=27$)	5 (5)	20 (6)	1 (4)	4 (7)	-11 (10)
외현 학습한 참가자 제외					
관계 반복 ($n=19$)	-4 (4)	-5 (7)	30 (9)	42 (11)	27 (11)
관계 변동 ($n=20$)	3 (6)	20 (7)	3 (4)	0 (6)	-12 (12)

면, 계열간 관계 학습의 추정치 b_3 는 영보다 컸다, $M=35$, $SE=8$, $t(26)=4.56$, $p<.0001$. 국소 순서 학습과 계열간 관계 학습의 상호작용의 추정치 b_{13} 도 유의미하였다, $M=35$, $SE=10$, $t(26)=3.35$, $p<.01$. 영역 순서 학습과 계열간 관계 학습의 상호작용의 추정치 b_{23} 는 유의미한 수준에 약간 못 미쳤다, $M=15$, $SE=10$, $t(26)=1.48$, $p<.08$.

관계 변동 조건에서는, 관계 반복 조건과는 달리, 영역 순서 학습의 추정치 b_2 만 영보다 컸고, $M=20$, $SE=6$, $t(26)=3.23$, $p<.01$, 다른 추정치들은 모두 무의미하였다, $p_s>.1$.

외현 학습한 참가자를 제외한 결과. 외현 학습 설문지를 통해서 국소 순서에 대한 외현 학습을 보인 참가자와 영역 순서에 대한 외현 학습을 보인 참가자를 확인했다. 선행 연구 (Shin, 2008; Shin & Ivry, 2002)의 방법대로 국소 순서의 경우에는 계열 중 연속한 네 시행을 정확하게 표시하면 외현 학습이 일어난 것으로 보았다. 영역 순서의 경우에는 계열 중 연속한 세 시행을 정확하게 표시하면 외현 학습이 일어난 것으로 보았다. 국소 순서에 대한 외현 학습을 한 참가자는 관계 반복 조건에서 2명, 관계 변동 조건에서 4명이었다. 영역 순서에 대한 외현 학습을 한 참가자는 관계 반복 조건에서 6명, 관계 변동 조건에서 4명이었다. 이들 중 두 가지 순서에 대한 외현 학습을 한 참가자는 관계 반복 조건의 단 1명 뿐이었다. 어느 순서에 대해서도 외현 학습을 하지 않은 참가자는 관계 반복 조건에서 19명, 관계 변동 조건에서 20명이었다. 이 데이터를 대상으로 회귀 분석을 한 추정치들은 표 4의

하단에 나타나 있다.

이 결과는 모든 참가자의 데이터를 포함한 결과와 비슷했다. 관계 반복 조건에서는 계열간 관계 학습의 추정치 b_3 가 유의미하였으며, $M=30$, $SE=9$, $t(18)=3.51$, $p<.01$, 국소 순서 학습과 계열간 관계 학습간의 상호작용 추정치 b_{13} 도 유의미하였다, $M=42$, $SE=11$, $t(18)=3.81$, $p<.001$. 영역 순서 학습과 계열간 관계 학습간의 상호작용 추정치 b_{23} 도 유의미하였다, $M=27$, $SE=11$, $t(18)=2.41$, $p<.05$.

관계 변동 조건에서는 영역 순서 학습의 추정치 b_2 만 유의미하였다, $M=20$, $SE=7$, $t(19)=2.72$, $p<.01$. 다른 추정치들은 무의미하였다, $p_s>.1$.

논 의

본 연구는 환경에 주어지는 수많은 정보 패턴들의 암묵 학습에 차원간 독특성이 어떤 역할을 하는지 탐구하였다. 선행 연구는 동시에 제시되는 순서 계열이 개별적으로 또는 통합적으로 학습되는 것이 가능함을 보여준다. 그러나 이중 순서 계열이 제시되었을 경우에 순서 학습이 일어나지 않은 결과가 자주 발견되었다. 이중 순서 학습의 요인들이 무엇인지 정확하게 밝혀지지 않고 있다. 본 연구에서는 차원간의 관계성이 암묵 순서 학습에 중요한 역할을 할 것이라는 가설을 탐구하였다. 선행 연구 중 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 동시에 일어난 연구(Schmidtke와 Heuer, 1997)에서는 자극 차원의 독특성이 높았는데, 이 경우와 비교하기 위하여 본 연구에서는 같은 실험 설계를 이용하면서 가능한 한 독특성이 낮

은 조건을 조성하였다. 즉, 같은 시공간에서 매우 유사한 두 차원상에 순서 계열을 제시하였다. 독특성 가설에 의하면, 두 차원에 대한 개별 순서 학습이 저조할 것이라고 예언되었다. 그리고, 순서 계열들이 상관관계를 가졌을 경우에는 개별 순서 학습이 특히 어려울 것이라고 예언되었다. 예언대로, 두 계열이 상관관계를 가지지 않았을 경우에는 영역 순서에 대한 개별 학습만 관찰되었고, 두 차원의 순서 계열들이 상관관계를 가지고 제시되었을 경우에는 계열간의 관계가 학습되는 통합 학습이 관찰되었으나, 개별 순서 학습은 일어나지 않았다. 후자의 경우, 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 수행에 과(다)가산적인 영향을 미쳤다. 외현 학습의 발생 여부는 결과에 영향을 미치지 않았다.

선행 연구 중에서 단일 순서 학습이 일어난 자극 조건을 사용했기 때문에 본 연구의 결과들은 두 차원의 배합으로 인한 것으로 보인다. 즉, 공간 순서 학습이 일어난 Mayr(1996)의 연구처럼 본 연구에서 영역간의 거리를 넓게 하였기 때문에 지각적 현출성이 높았다. 그리고, Schmidtke와 Heuer(1997)을 비롯한 수많은 선행 연구에서는 반응과 관계있는 차원의 순서 학습이 발견되었으므로, 본 연구의 국소 차원도 반응과 관계있도록 조작하였다.

차원간의 독특성이 매우 낮은 본 연구에서는 개별 순서 학습이 저조하였다. 그 이유는 세 가지를 생각해 볼 수 있다. 첫째, 같은 시공간상에 제시된 자극을 입력할 때 국소 위치와 영역 정보를 함께 부호화해서 이들 정보가 자극과 함께 공동 표상으로 입력되었을 가능성이 있다. 그리고 이들 공동 표상이 서로 연

결되어 순서 표상을 이루었을 가능성이 있다. 그러나 공간의 위계적 표상을 다룬 수많은 선행 연구들은 공간 정보가 동시에 국소와 영역 두 차원에서 독립적으로 표상될 수 있다는 것을 보여주었다. 이를 테면, 작은 H 로 구성된 큰 S 자극은 동시에 작은 H 로도 큰 S 로도 지각될 수 있다. 물론, 구체적인 조건에 따라 그 중 한 차원의 공간 정보가 우선적으로 처리될 수는 있다(Kinchla & Wolfe, 1979; Navon, 1977).

두 번째 가능성은 지각보다 더 상징적인 표상 수준에서 자극의 공간적 특징이 통합적으로 부호화되었을 가능성이 있다. 즉, 공간이 연속적인 표상으로 부호화되기보다 불연속적인 표상으로 부호화되었다고 할 때, 영역-국소의 공간 정보가 (위, 1)이나 (오른쪽, 4)와 같이 독립된 차원으로 표상되지 않고 (위, 1)이나 (오른쪽, 4)와 같은 통합된 방식으로 표상되었다고 가정할 수 있다. 통합된 표상 체계로써는 (위, 1)-(오른쪽, 4)와 같은 형태로 위치간의 연속관계를 학습하는 것이 가능하겠지만, (위)-(오른쪽)이나 (1)-(4)와 같은 형태로 독립된 차원상의 연속관계를 학습하는 것은 어려울 것이다.

이 두 번째 해석은 관계 반복 조건에서 두 순서 계열간에 상관관계가 있었을 경우 계열간의 관계가 학습되는 통합 순서 학습이 일어난 결과와 어느 차원에 대해서도 개별 순서 학습이 일어나지 않은 결과를 잘 설명해준다. 그러나 관계 변동 조건에서 두 순서 계열간에 상관관계가 없었을 경우 영역 순서 계열에 대한 개별 순서 학습이 일어난 결과는 결코 설명할 수 없다. 연구 결과를 종합하자면, 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 동시에 이루어

지지 못하였고, 차원간 상관관계가 없었던 관계 변동 조건에서 개별 순서 학습도 불완전하였다. 이것은 통합 순서 학습과 개별 순서 학습이 모두 동시에 일어난 Schmidtke와 Heuer(1997)의 결과와 대조된다. 차원간 독특성이 높은 경우에 비해서 학습이 이토록 제한된 이유를 작업 기억의 제약에서 찾을 수 있다. 단일 순서 학습에 대한 선행 연구에서는 인접한 순서 계열의 원소들이 작업 기억 속에서 동시에 활성화되는 것이 암묵 학습에 중요하다는 것을 보여주었다(Stadler, 1993, 1995; Frensch & Miner, 1994). 서로 다른 순서로 상관관계 없이 변화하는 시공간 정보를 작업 기억에 유지하는 일은 기억시스템의 구조적 한계로 인하여 어려울 수 있다(Baddeley, 2003; Baddeley & Hitch, 1974). 그런 경우에는 지각적 현출성이 높거나 저주파수인 정보가 우선적으로 처리되고 학습되는 경우가 많은데(Broadbent, 1977), 본 연구에서는 영역 정보가 지각적으로 현출성이 높아서 우선적으로 학습되었을 가능성이 있다. 외현 학습을 한 참가자 15명 중 14명은 한 차원에서만 순서 계열의 내용을 의식적으로 학습한 것에서 국소와 영역이 모종의 경쟁 관계를 가졌음을 짐작할 수 있다.

이러한 논의는 다소 사변적인 감이 있으나, 차원간의 독특성에 기초한 이러한 해석은 선행 연구들간의 결과 차이를 이해하는 데 도움이 될 수 있다. 가령, Willingham 등(1989)에서는 색 자극과 위치 정보가 같은 시각 양상이었기 때문에 독특성이 낮았고, 위치 정보의 현출성도 낮았기 때문에 반응과 관계있는 색 자극만 순서 학습이 일어난 것으로 이해할 수

있다. Shin과 Ivry(2002)에서는 언제 단추를 눌러야 한다는 RSI라는 시간 정보가 어느 단추를 눌러야 한다는 반응 정보와 운동 기억에서 밀접하게 연관되어 표상되기(Schmidt, 1975) 때문에 RSI에 대한 개별 순서 학습은 일어나지 않았고, 반응과 관계있는 위치에 대한 개별 순서 학습과 둘 간의 통합 순서 학습이 일어난 것으로 이해할 수 있다. 반면, Schmidtke와 Heuer(1997)에서 조작된 시각과 청각 정보는 독특성이 높아서 두 차원의 정보가 작업 기억 속의 서로 다른 기제들에 의해 효율적으로 유지되었다고 볼 수 있다. 그리하여, 시각과 청각 정보에 대한 개별 순서 학습도 일어났고 통합 순서 학습도 일어났다고 볼 수 있다. 유의해야 할 것은 이러한 해석들이 순환 논리를 면하기 위해서는 차원간의 독특성 관계를 평가할 척도가 앞으로 마련되어야 한다는 점이다.

앞서 언급했듯이, 선행 연구에서는 반응과 관계있는 정보에 대해서는 개별 순서 학습이 관찰되어 왔다. 반응의 위치가 암묵 순서 표상의 중심적인 내용임을 강조하는 연구(Keele, Jennings, Jones, Caulton, & Cohen, 1995; Willingham, 1999; Willingham, Wells, Farrell, & Stemwedel, 2000)에 비추어 볼 때, 관계 변동 조건에서 국소 순서 학습이 일어나지 않은 본 실험의 결과는 예측되지 않았다. 본 연구의 차원 배합이 시공간 정보를 강조하였기 때문에 정보 처리와 학습의 초점을 반응 위치보다 자극 위치에 두었을 가능성이 있다.

끝으로, 관계 반복 조건에서 개별 순서 학습과 통합 순서 학습(계열간 관계 학습)이 반응 시간에 과다가산적인 영향을 미쳤다. Shin

과 Ivry(2002), Rah, Reber, 및 Hsiao(2000), Schmidtke와 Heuer(1997)에서는 가산성과 일관된 결과를 보였다. 본 연구의 결과는 이와 상반되었는데, 이런 상호작용도 같은 공간 차원의 배합으로 인한 결과일 가능성이 있다. 직접적으로 가산성을 검증한 연구가 부족하므로, 가산성 혹은 과다가산성을 결정짓는 요인은 앞으로의 연구 문제가 될 것이다.

결론적으로, 본 연구의 결과는 다수의 정보가 패턴을 이루면서 변화할 때 이중 순서 학습이 정보 차원간의 독특성으로 인하여 제약을 받는다는 것을 보여준다. 이 연구에서처럼 두 시공간 차원이 서로 밀접한 관계를 가진 차원 배합의 경우에는 부호화나 작업 기억 단계에서 차원간의 정보가 서로 상호작용할 가능성이 있으며, 이것으로 인하여 개별 순서 학습과 통합 순서 학습이 동시에 일어나기 어려운 것으로 보인다.

참고문헌

- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Neuroscience*, 4, 829-839.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol.8, pp.47-89). NewYork: Academic Press.
- Broadbent, D. E. (1977). The hidden preattentive process. *American Psychologist*, 32, 109-118.
- Cock, J., & Meier, B. (2007). Incidental task sequence learning: Perceptual rather than conceptual? *Psychological Research*, 71, 140-151.
- Frensch, P. A., & Miner, C. S. (1994). Effects of presentation rate and individual differences in short-term memory capacity on an indirect measure of serial learning. *Memory & Cognition*, 22, 95-110.
- Jiménez, L., & Méndez, C. (1999). Which attention is needed for implicit sequence learning? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 236-259.
- Keele, S. W., Ivry, R., Mayr, U., Hazeltine, E., & Heuer, H. (2003). The cognitive and neural architecture of sequence representation. *Psychological Review*, 110, 316-339.
- Keele, S. W., Jennings, P., Jones, S., Caulton, D., Cohen, A. (1995). On the modularity of sequence representation. *Journal of Motor Behavior*, 27, 17-30.
- Kinchla, R. A., & Wolfe, J. (1979). The order of visual processing: "Top-down," "bottom-up," or "middle-out." *Perception and Psychophysics*, 33, 1-10.
- Mayr, U. (1996). Spatial attention and implicit sequence learning: Evidence for independent learning of spatial and nonspatial sequences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 350-364.
- Navon, D. (1977). Forest before the trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-393.
- Rah, S. K.-Y., Reber, A. S., & Hsiao, A. T. (2000). Another wrinkle on the dual-task SRT experiment: it's probably not dual task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7, 309-313.

- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidtke, V., & Heuer, H. (1997). Task integration as a factor in secondary-task effects on sequence learning. *Psychological Research*, 60, 53-71.
- Shin, J. C., & Ivry, R. B. (2002). Concurrent learning of temporal and spatial sequences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 445-457.
- Shin, J. C. (2008). The procedural learning of action order is independent of temporal learning. *Psychological Research*, 72, 376-386.
- Stadler, M. A. (1993). Implicit serial learning: Questions inspired by Hebb (1961). *Memory & Cognition*, 21, 819-827.
- Stadler, M. A. (1995). Role of attention in implicit learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 674-685.
- Willingham, D. B. (1999). Implicit motor sequence learning is not purely perceptual. *Memory & Cognition*, 27, 561-572.
- Willingham, D. B., Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1047-1060.
- Willingham, D. B., Wells, L. A., Farrell, J. M., & Stemwedel, M. E. (2000). Implicit motor sequence learning is represented in response locations. *Memory & Cognition*, 28, 366-375.
- 1 차원고접수 : 2012. 7. 23
수정원고접수 : 2012. 9. 10
최종게재결정 : 2012. 9. 14

The Relationship between Dimensions Influences Dual-Sequence Learning: The Concurrent Learning of Nested Visuospatial Sequences

Jacqueline Chakyung Shin

Indiana State University

Humans are capable of learning sequential information from multiple stimulus dimensions simultaneously, but the factors influencing the selection of specific sequences for learning remains unclear. In order to investigate the role of cross-dimensional distinctiveness in sequence learning, in a serial reaction time task, sequences were presented on two dimensions that were very low in distinctiveness. Repeating sequences were presented in two visuospatial dimensions nested hierarchically within each other—a local spatial dimension that specified the correct response on each trial and a global spatial dimension that indicated the general display region of the stimulus. In the *phase-repeat* condition, the two sequences were consistently matched in phase, allowing an integrated representation of the two sequences to be formed. In the *phase-change* condition, the two sequences differed in length and were not correlated. In the phase-repeat condition, integrative learning was found for the cross-dimensional pattern, but individual sequence learning was not found. In the phase-change condition only the global sequence was learned, but not the local sequence. Thus, integrative and individual sequence learning did not occur simultaneously, neither was individual sequence learning complete. Furthermore, learning for individual sequences and the cross-dimensional information had an over-additive influence on performance. This pattern of results contrasts with previous research that showed simultaneous learning for both cross-dimensional and individual sequence information presented in highly distinct dimensions. The current results are attributed to the combination of the two closely related dimensions and suggest that individual and integrative sequence learning can be constrained due to interactions between indistinctive dimensions at encoding or working memory activation stages of processing.

Key words : sequence learning, implicit learning, visuospatial learning