

간격효과의 부호화 기전에 대한 ERP 연구*

박 태 진†

전남대학교 심리학과

간격을 두고 반복(간격반복)되는 항목이 간격 없이 반복(집중반복)되는 항목보다 기억 수행이 우수한 간격효과 기저의 부호화 기전을 ERP 연구를 통해 밝히기 위해, 단어의 의도학습을 요구한 부호화단계에서 간격반복, 집중반복, 한번만 제시되는 비반복의 세 조건을 조작하고, 인출단계에서 재인-확신도 평정검사를 실시하였다. 재인-확신도 평정반응의 분석 결과, 확산-적응 반응에 있어 간격반복, 집중반복, 비반복 조건의 순으로 확산-적응율이 높았다. 부호화 도중 측정된 ERP의 시간차별 평균진폭을 분석한 결과, 집중반복 항목은 간격반복 항목과 비반복 항목에 비해 자극제시 후 초기(230-330ms)에는 평균진폭이 더 높았고 그 이후(330-540ms)에는 평균진폭이 더 낮았다. P300 정점의 진폭과 잠재기를 분석한 결과 집중반복 항목은 간격반복 항목과 비반복 항목에 비해 진폭이 더 낮았고 잠재기가 더 짧았다. 간격반복 항목은 자극 제시 후 230ms부터는 평균진폭, 전위 두피분포, P300 진폭과 잠재기에 있어 비반복 항목과 차이가 없었다. 이러한 결과는 간격효과가 부호화 도중 학습항목에 배당되는 주의량의 차이에 기인한다는 것을 보여주는 데, 집중반복 항목이 새로운 항목이나 간격반복 항목에 비해 더 적은 양의 주의를 배당받기 때문에 결핍된 처리가 일어나서 간격반복 항목보다 기억 수행이 더 저조하다는 것을 시사한다.

주요어 : 간격효과, 부호화, P300, 주의, ERP

* “이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임” (R05-2004-202-H00012). 데이터 수집과 분석을 도와준 김미나양에게 깊은 감사를 표하며, 도움말 주신 심사위원들께 역시 감사드립니다.

† 교신저자 : 박태진, 전남대학교 심리학과, 광주시 북구 용봉동 300
E-mail : tpark@chonnam.ac.kr

항목이 연달아 반복 제시되는 경우(집중반복) 보다 간격을 두고 반복 제시되는 경우(간격반복)에 기억 수행이 더 우수한 현상을 반복 간격효과 또는 줄여서 간격효과(spacing effect)라 한다. 간격효과의 부호화 기전에 관한 초기의 대표적 설명으로서 Greene(1989)의 2중 처리이론이 있다. 이 이론에 따르면 간격효과는 자유회상과제에서는 자동적 부호화-변산성 기전에, 재인이나 단서회상과 같은 단서기억과제에서는 수의적 결핍 처리에 기인한다. 항목을 부호화할 때 맥락정보가 함께 자동적으로 부호화되는데 맥락정보는 시간이 경과할수록 더 많이 변화할 것으로 가정된다. 따라서 간격을 두고 반복된 항목은 간격 없이 집중 반복된 항목보다 더 상이한 맥락정보와 함께 부호화될 가능성이 크므로 자유회상과 같이 맥락정보에 크게 의존하는 인출과제에서는 집중반복 항목보다 간격반복 항목의 기억 수행이 더 우수하다. 하지만 재인과 단서회상과 같이 단서가 주어지는 기억과제에서는 맥락정보의 역할이 크지 않음에도 불구하고 반복 간격효과가 관찰되는데, Greene(1989)은 이를 수의적 결핍처리기전으로 설명하였다. 학습자는 간격반복 항목보다 집중반복 항목을 더 친숙한 것 즉 더 잘 학습된 것으로 간주하여 더 적은 처리를 하고 이 때문에 반복 간격효과가 나타난다는 것이다. 간격효과의 수의적/불수의적 부호화 기전을 검증하고자 Greene(1989)은 의도학습과 우연학습이 간격효과에 미치는 효과를 비교하였다. 자유회상에서 간격효과가 불수의적 기전에 기인한다면 의도학습과 우연학습 두 조건 모두에서 간격효과가 나타날 것이고, 단서기억검사에서 간격효과가 수의적

기전에 기인한다면 간격효과가 의도학습에서만 일어나며 우연학습에서는 일어나지 않아야 할 것인데, 실험 결과 이러한 예상들은 모두 지지되었다.

단서기억과제에서 관찰되는 간격효과에 대한 Greene(1989)의 수의적 결핍처리설에 대해 Challis(1993)는 의미점화에 기인한 불수의적 결핍처리설을 제안하였다. 항목이 반복 제시될 때 나중에 제시된 항목은 먼저 제시된 동일 항목에 의해 의미적으로 점화되는데, 의미적 점화가 클수록 그 항목은 더 적게 의미적으로 처리된다. 의미점화는 시간 경과에 따라 감소하므로 집중 반복된 항목보다 간격을 두고 반복된 항목이 의미적으로 더 작게 점화되고 따라서 의미적으로 더 많게 처리된다. 이러한 설명에 따르면 의미점화는 자동적으로 일어날 수 있으므로 점화효과는 우연학습조건에서도 관찰되어야 하는데, Greene(1989)의 연구에서 우연학습조건에서 단서기억과제 수행상 간격효과가 관찰되지 않은 것은 의미점화를 억제하는 비의미적 정향과제가 사용되었기 때문이다. Challis(1993)는 의도학습, 의미적 정향과제를 사용한 우연학습, 비의미적 정향과제를 사용한 우연학습이 단서기억과제 수행에 미치는 효과를 검증하였다. 그 결과 비의미적 정향과제를 사용한 우연학습조건에서는 의도학습조건에서와 달리 간격효과가 일어나지 않았지만, 의미적 정향과제를 사용한 우연학습조건에서는 간격효과가 일어났다.

본 연구의 목적은 단서기억과제에서 관찰되는 간격효과 기저의 부호화 기전, 특히 주의와 의미적 점화의 역할을 ERP 연구를 통해 밝히는 데 있다. 간격반복 항목은 집중반복 항

목에 비해, 수의적 결핍처리기설(Greene, 1989)에 따르면 더 높은 수준의 주의를 받지만 불수의적 결핍처리기설(Challis, 1993)에 따르면 더 많은 의미적 처리를 받을 것으로 예상된다. 그런데 ERP 연구는 이러한 목적을 달성하기에 매우 적합한 데, 주의와 의미적 처리 각각을 반영해주는 것으로 밝혀진 ERP 성분들이 비교적 잘 알려져 있기 때문이다.

주의과정을 반영해주는 대표적인 ERP 성분이 P300으로서, 이는 전통적인 오드볼(oddball) 과제에서 잘 수립되었다. 이 과제에서는 표준 자극들이 높은 확률로 제시되다가 간간히 표적자극이 낮은 확률로 제시되는데 참가자들은 표적자극을 탐지하도록 요구받는다. 표적자극 제시에 뒤이어 250-500ms 잠재기 범위에서 관찰되는 정적 파가 P300인데, 이는 흔히 중심-두정 영역의 분포를 보인다(Donchin & Coles, 1988; Picton, 1992). P300은 주의 조작에 민감하며 특히 자극의 처리에 배당된 주의량을 반영해준다(Ford 등, 1994; Grune 등, 1996). 예를 들어 표적 탐지과제에서 P300의 진폭은 2차 과제에 의해 분산된 주의자원의 정도에 비례하여 감소한다(Wickens 등, 1983).

주의는 일화 기억의 형성에 매우 중요한 역할을 한다. 부호화 도중 2차과제를 수행하도록 하면 학습정보의 부호화에 이용 가능한 주의 자원이 감소함으로써 회상이나 재인과 같은 일화기억 수행이 저하된다(Craik 등, 1996). 그런데 ERP는 일화적 부호화 도중 일어나는 신경활동을 반영하므로 성공적인 부호화와 관련된 신경활동을 알 수 있다. 특히 성공적 부호화와 주의의 관계를 짐작할 수 있게 해주는 ERP 연구로서 Karis, Fabiani, 그리고 Donchin

(1984)의 연구를 들 수 있다. 그들은 단어들을 하나씩 제시하면서 ERP를 측정하였는데, 일부 단어들은 다른 단어보다 더 크거나 작은 글자 크기로 제시되었다. 회상검사 결과 독특한 단어들은 다른 단어보다 회상이 더 잘 되었으며(von Restorff 효과), 특히 부호화 도중 진폭이 더 큰 P300을 유발하였다. 그런데 P300은 되뇌기책략의 영향을 받는데, 기계적 되뇌기를 사용할 때에는 후속 회상된 항목이 그렇지 않은 항목보다 더 큰 진폭을 보이지만, 정교형 되뇌기를 사용할 때에는 후속 회상 수행과 P300 진폭간에 아무런 관계가 없다(Karis 등, 1984; Fabiani 등, 1986, 1990; Fabiani & Donchin, 1995).

이러한 연구들은 일화적 부호화 도중 학습 항목에 대한 배당된 주의량에 따라 부호화 및 후속 기억이 영향받으며, 이러한 주의 조작에 따라 P300 진폭이 영향받음을 보여준다. 본 연구의 관심사인 간격효과와 관련하여 집중 반복된 항목에 비해 간격 반복된 항목에 대해 더 많은 주의량이 배당되었을 가능성을 예상해볼 수 있다. 이러한 예상은 박태진(2005)의 fMRI연구에서 근거를 찾아볼 수 있는데, 그는 집중반복조건에 비해 간격반복조건과 비반복조건에서 부호화 도중 좌반구 배외측 전전두피질 및 복외측 전전두피질 영역에서 더 높은 활성화를 관찰하였다. 뇌신경영상연구에 따르면 배외측 전전두피질은 인지과제에 주의자원을 배당하고 작업기억에 일시적으로 유지된 정보를 조정 통합하는 집행기능과 관련되며(Rypma와 D'Esposito, 2003), 복외측 전전두피질은 학습 자료의 의미적 처리와 관련된 신경구조물이다(Demb 등, 1995; Vandenberghe, 1996).

따라서 간격을 두고 반복된 항목과 처음 제시된(비반복) 항목은 연달아 집중 반복된 항목에 비해 더 높은 수준의 주의 통제와 의미적 처리를 받았음을 짐작할 수 있다. 본 연구에서는 간격반복 항목과 집중반복 항목, 그리고 비반복 항목이 부호화 도중 유발하는 P300 진폭을 분석함으로써 간격효과가 주의량의 차이에 기인하였을 가능성을 검증하고, 이에 따라 수의적 결핍처리가설을 어느 정도로 지지하는지를 평가하고자 한다.

본 연구의 또 다른 관심사는 의미점화에 따른 결핍처리 가능성인데, 의미점화를 반영해주는 대표적인 ERP 성분이 N400이다. N400은 자극 제시 후 300ms에서 500ms 사이에서 일어나며 약 400ms에서 정점에 도달하는 부정적 파형이다. N400은 의미적 이탈에 민감한데, 문장과 단어 수준 처리에서 의미적으로 일치하는 경우보다 일치하지 않는 단어의 경우에 가장 큰 진폭을 보인다(Kutas and Hillyard, 1980). 의미점화나 반복점화 패러다임에서 표적어가 의미적으로 관련된 점화어나 동일한 단어 다음에 제시될 때에는 그렇지 않은 경우에 비해 N400 진폭이 감소하는데 이를 N400 점화효과라 한다(Holcomb, 1993; Kiefer & Spitzer, 2000; Van Petten, 1993). 이러한 연구 결과는 의미적 점화의 크기에 따라 N400 진폭이 영향 받는다는 것을 보여준다. 따라서 본 연구에서는 간격 반복항목, 집중 반복항목, 그리고 비반복 항목이 부호화 도중 유발하는 N400 진폭을 분석함으로써 간격효과가 의미점화에 따른 의미적 결핍처리가설을 어느 정도로 지지하는지를 평가하고자 한다.

본 연구의 마지막 관심사는 성공적인 부호

화와 관련된 신경활동을 규명하는 것이다. 부호화에 후속된 기억검사에서 회상된 항목은 망각된 항목보다 부호화 도중 보다 정적 정위를 촉발하는데, 이처럼 회상된 항목의 ERP와 회상되지 않은 항목의 ERP간 차이를 ERP 후속기억효과라 한다. ERP 후속기억효과와 관련된 대표적 성분이 후기 정적 성분(LPC: late positive component)인데, 자극제시 후 400 내지 500ms 잠재기 이후 망각된 항목에 비해 기억된 항목에서 더 크게 나타나는 정적 성분이다. LPC는 800ms 잠재기까지 나타나는 일시적 후측 정적파 그리고 유사한 시기에 발생하지만 더 지속되는 지속적 전측 정적파로 구분된다. 이 두 성분은 각각 상이한 부호화 지시에 민감한데, 전자는 기계적 기억 지시 하에 학습된 철자상 독특한 단어에 대한 성공적 회상(von Restorff 효과)을 잘 예언해주는 반면(예, Karis, Fabiani, & Donchin, 1984; Fabiani & Donchin, 1995), 후자는 정교형 책략 지시 하에 학습된 단어를 잘 예언해준다(예, Van Petten & Senkfor, 1996). 본 연구에서는 재인검사 결과 정확하게 회상된 항목과 망각된 항목을 구분하여 이들 항목이 부호화 도중 유발하는 LPC에 있어 차이가 있는지 여부를 확인하고, 이러한 ERP 후속기억효과가 자극제시조건에 따라 어떻게 달라지는지 알아보하고자 하였다. 이를 위해 재인검사에서 ‘예·아니오’ 판단 외에 ‘확신·비확신’ 판단을 요구함으로써 확신을 갖고 적중(hit)한 항목과 놓친(miss) 항목을 구분하여, 부호화 도중 이 두 유형의 항목에 의해 유발되는 ERP 성분을 비교함으로써 후속기억효과를 검증하고자 하였다.

방 법

실험참가자 뇌손상이나 뇌관련 질환이 없다고 보고한 31명 오른손잡이 대학생이 실험에 참가하였는데, 이들은 모두 실험참가 동의서에 서명하였고 참가비를 받았다. 이 참가자들 가운데 실험 도중 기기의 작동 불량이나 정전으로 인해 실험이 중단되거나 진극 저항이 전 반적으로 기준치를 넘어선 경우(4명)와 EOG 인공물(artifact)로 인해 데이터 분석에서 탈락된 시행수가 40%가 넘는 경우(3명)를 제외한 24명의 데이터가 최종 분석에 사용되었다.

변인과 실험설계 독립변인으로 반복간격을 조작하였는데, 동일 항목이 연이어 반복 제시되는 집중반복조건, 동일 항목이 6개의 다른 항목을 간격에 두고 반복 제시되는 간격반복조건, 반복되지 않고 한번만 제시되는 비반복조건, 3개 자극제시조건이 있었다. 종속변인으로 재인검사에서의 재인-확신도 평정(예/아니오×확신/비확신)에 따라 학습한 항목에 대한 확신-적중과 놓침(확신-놓침과 비확신-놓침을 합산함) 및 학습하지 않은 항목에 대한 확신-기각의 비율을 조사하고, 부호화단계에서 EEG를 측정하였다.

실험 자료 및 절차 사용빈도(연세대학교 언어정보개발연구원, 1998)가 100만개당 5에서 50 사이의 576개 한국어 두 글자 단어들을 선정하여 이 가운데 288개 단어를 무선 추출하여 3개 부호화조건 각각에 96개씩 무선배정하였다. 재인검사에서는 부호화단계에서 제시한 학습단어 288개 그리고 제시하지 않은 비학습

단어 288개, 도합 576개 단어를 사용하였다.

부호화단계에서 동일 단어가 참가자들 전체적으로 각 실험조건에 동일 횟수만큼 배정되도록 먼저 576개 단어를 96개 단어씩 6개 목록으로 나누었는데, 목록내 단어들의 평균 사용빈도에 있어 목록간 차이가 없도록 구성하였다. 이 6개 목록 가운데 한 목록은 간격반복조건에, 한 목록은 집중반복조건에, 한 목록은 비반복조건에, 한 목록은 비학습조건에, 나머지 두 목록은 비학습 채우기조건에 배정하였다(모든 결과 분석에서 비학습 채우기조건은 제외시켰다). 6개 목록이 각 실험조건에 동일 횟수만큼 배정되도록 부분 역균형화시켜 6개 목록-실험조건 조합을 만들어서 각 조합을 동일한 수의 참가자들에게 노출시켰다. 부호화단계에서 간격반복조건의 단어들은 6개의 다른 단어들을 간격에 두고서 반복 제시되었고, 집중반복조건의 단어들은 각각 연이어 반복 제시되었으며, 비반복조건의 단어들은 각각 한번씩만 제시되었다. 계열위치효과를 통제하기 위해 별도의 채우기단어들을 10개 준비하여 부호화단계의 초두와 말미에서 각각 5개 단어를 한번씩 제시하였다. 재인검사단계에서는 576개 단어들이 각각 한번씩 무선적으로 제시되었다.

부호화 연습을 위해 별도의 9개 단어, 그리고 검사 연습을 위해 부호화 연습용 9개 단어를 포함한 별도의 18개 단어를 준비하였다. 부호화 연습단계 역시 간격반복, 집중반복, 비반복의 세 조건을 포함시켰다.

참가자마다 먼저 부호화연습과 검사연습을 실시한 후 본 실험을 실시하였다. 본 실험은 부호화단계와 재인검사단계의 두 단계로 이루어

어졌는데, 부호화단계에서 EEG를 측정하였고 재인검사단계에서 재인반응을 측정하였다.

부호화단계에서 단어를 한 개씩 제시하면서 의도 학습을 요구하였는데, 각 시행에서 500ms 동안 응시점을 먼저 제시하고 2500ms 동안 단어를 제시한 후 다음 시행으로 넘어갔다. 부호화단계가 끝난 후 3분 정도 휴식을 가지면서 재인판단 반응범주를 설명한 후 재인검사를 실시하였다. 재인검사에서는 재인-확신도 평정을 요구하였는데, 확신-예, 비확신-예, 비확신-아니오, 확신-아니오의 4개 반응범주로 나누어 수평방향으로 배열된 4개 단추(왼쪽부터 1에서 4까지 숫자 표시) 가운데 한 단추를 두 손 각각의 중지과 검지를 사용하여 누르도록 요구하였다. 참가자를 두 집단으로 나누어 반응범주별 반응 단추의 위치를 역균형화시켰다(‘확신-예’, ‘비확신-예’, ‘비확신-아니오’, ‘확신-아니오’ 각각의 단추 위치: 집단 A는 1, 2, 3, 4 순서; 집단 B는 4, 3, 2, 1 순서).

ERP 측정 전기적 차단과 방음 시설이 된 실험실에서 Grass Model 12와 Ag/AgCL전극을 사용하여 부호화 도중 EEG를 측정하였는데, 측정위치는 국제적 10-20체계에 따른 두피상의 21개 위치(Fz, Cz, Pz, Fp1/Fp2, F7/F8, F3/F4, T3/T4, C3/C4, T5/T6, P3/P4, O1/O2, VEOG(왼쪽 눈의 바로 왼쪽), HEOG(왼쪽 눈의 바로 아래쪽))였다. Band-pass는 0.03-100Hz, 표집율은 250Hz, 준거점은 좌우 귓불을 연결한 전극이었으며, 전극 저항은 10KΩ 미만이었다.

ERP분석 측정된 EEG를 1120ms epoch(자극

제시 전 120ms에서 자극제시 후 1000ms)로 분할하고, 자극제시 전 120ms에서 자극제시 순간까지의 평균진폭을 기저선으로 삼아 기저선 교정을 하였으며. 이 가운데 EOG가 $\pm 60\mu V$ 이상인 시행은 분석에서 제외하였다. 각 참가자별로 실험조건마다 평균 ERP 데이터를 구하였다. ERP는 0.03-30Hz bandpass로 digital filtering을 하였다.

결 과

행동 자료 재인검사단계에서 측정한 재인반응 자료를 가지고 3개 자극제시조건별로 확신-적응한 항목(‘확신-예’ 반응 항목)의 비율, 그리고 비학습조건에서 확신-기각한 항목(‘확신-아니오’ 반응 항목)의 비율을 구하였다(그림 1). 확신-적응율에 있어 자극제시조건변인의 효과를 알아보기 위해 반복측정 변량분석을 한 결과 자극제시조건변인의 효과가 통계적으로 유의미하였다($F(2, 46)=54.64, MS_e=.003,$

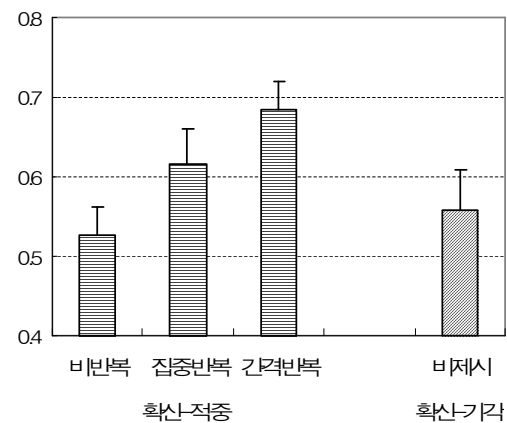


그림 1. 확신-적응과 확신-기각 재인율 (오차막대는 표준오차)

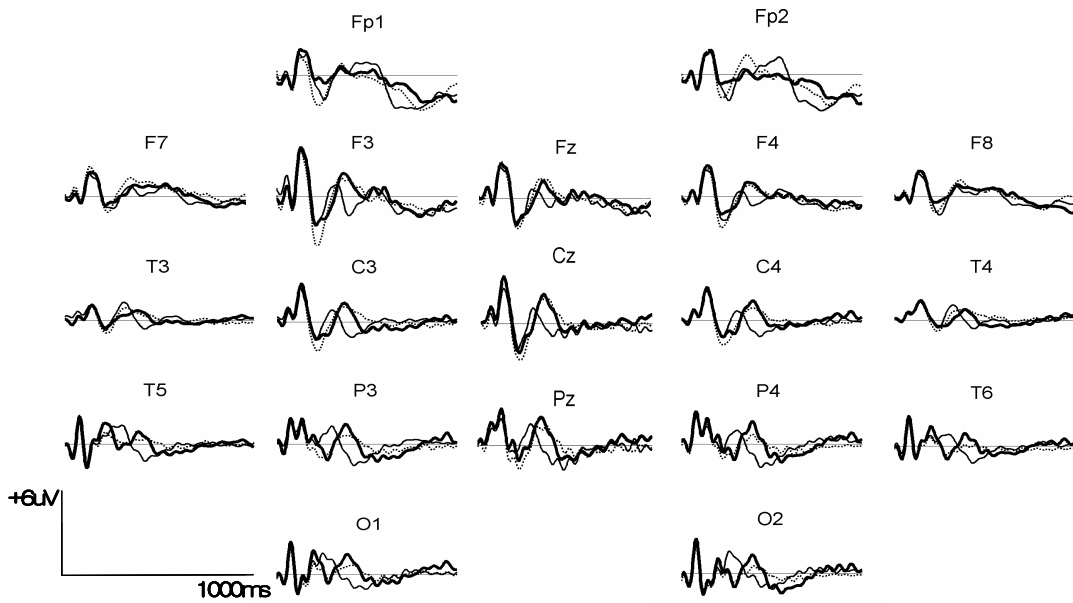


그림 2. 부호화 도중 관찰된 ERP 전체평균(굵은 실선, 간격반복; 가는 실선, 집중반복; 점선, 비반복)

$p < 0.001$]. 또한 간격반복(70%), 집중반복(64%), 비반복(53%)의 3개 조건간 차이가 모두 유의미하였는데(Tukey test, $p < 0.05$), 이는 전형적인 간격효과를 입증하는 결과였다.

ERP 자료 19개 전극위치별로 3개 자극제시 조건(재인 정확도에 따른 구분을 하지 않고 각 조건에 해당된 모든 항목을 포함)의 전체 평균 ERP를 그림 2에 제시하였으며, 이 가운데 Fz, Cz, Pz에서 측정된 3개 자극제시조건의 전체평균 ERP를 다시 그림 3에 크게 제시하였다. 전반적인 ERP 파형을 보면 모든 자극제시 조건에서 공통적으로 P140, N200, P300 성분이 관찰되었고 N400 성분은 거의 관찰되지 않았으며, 자극 제시 후 약 180ms 이전까지는 3개 자극제시조건의 파형이 서로 거의 차이가

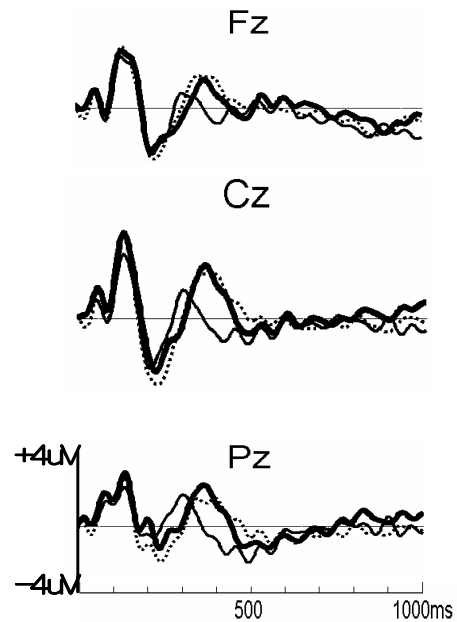


그림 3. 부호화 도중 Fz, Cz, Pz에서 ERP 전체 평균 (굵은 실선, 간격반복; 가는 실선, 집중반복; 점선, 비반복)

없었다. 하지만 약 180ms 이후부터는 조건들 간 차이가 드러났는데, 특히 집중반복조건에서 다른 조건들보다 잠재기가 빠른 P300(초기 P300)이 관찰되었고 비반복조건과 간격반복 조건에서 집중반복조건보다 느린 P300(후기 P300)이 관찰되었다.

전반적인 ERP 파형 검토 결과에 따라 180-230ms, 230-330ms, 330-540ms, 540-840ms의 4개 시간창으로 나누어 시간창별로 평균진폭(영역진폭이라고도 함)을 구하여 이를 종속변인으로 삼아 분석하였다. 이 시간창들은 각각 N200, 초기 P300, 후기 P300, 그리고 LPC¹⁾ 성분과 대체로 상응하는 것들이었다. 평균진폭 분석은 정점진폭 분석에 비해 많은 경우 더 우수한데, 정점진폭이 평균화 과정에서 왜곡될 가능성이 많은데 비해 이러한 왜곡 영향을 평균진폭은 훨씬 적게 받기 때문이다(관련된 이슈는 Luck(2005)의 2장과 6장을 참고). 하지만 평균진폭 분석은 P300과 같은 특정 ERP 성분의 잠재기가 실험조건에 따라 크게 상이할 때에는 ERP 성분의 정점 진폭 및 잠재기에 있어 실험조건간 차이를 알 수 없다는 한계를 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 평균진폭 분석과 정점진폭 분석을 함께 수행함으로써 보완적 증거를 구하고자 하였다. 구체적으로

는 앞서 언급한 4개 시간창 및 정중선 3개 전극위치(Fz, Cz, Pz)에서 자극제시조건들간 평균진폭의 차이와 시간창별 전위 두피분포의 비교, 그리고 주요 ERP성분(P300)의 진폭과 잠재기 차이를 밝히는 데 초점을 두었다.

평균진폭 분석 시간창, 정중선 3개 전극위치, 그리고 자극제시조건(재인 정확도에 따른 구분을 하지 않고 각 조건에 해당된 모든 항목을 포함)별 평균진폭을 구하였으며, 또한 정중선 3개 전극위치를 합친 평균진폭을 구하였는데 이 결과가 그림 4에 제시되었다. 시간창에 따른 자극제시조건의 효과를 알아보기 위해 시간창별로 3개 전극위치와 자극제시조건을 독립변인으로 삼아 반복측정 변량분석 및 구형성 위반을 위한 Greenhouse-Geisser 교정을 하였다. 아울러 각 시간창에서 전극위치별로 자극제시조건들간 개별비교(Tukey검증, $p < .05$)를 수행하였고 아울러 정중선 3개 전극위치를 합친 평균진폭에 대해서도 자극제시조건들간 개별비교(Tukey검증, $p < .05$)를 수행하였는데, 그 결과로서 비반복조건에 비해 유의미한 차이를 보인 조건을 ‘*’로, 집중반복조건에 비해 유의미한 차이를 보인 조건을 ‘+’로 그림 4에 표시하였다.

변량분석 결과 180-230ms 시간창에서 자극제시조건[$F(2, 46)=6.07, MS_e=.99, p < 0.01$]과 전극위치[$F(1.1, 25.9)=5.32, MS_e=1.67, p < 0.05$]의 주효과는 통계적으로 유의미하였지만 상호작용은 유의미하지 않았는데, 집중반복조건과 간격반복조건에 비해 비반복조건의 진폭이 더 낮았고 Pz보다 Fz와 Cz에서 전반적인 진폭이 더 낮았다. 230-330ms 시간창에서 자극제시조

1) LPC를 후기 P300과 동등한 것으로 간주하는 관점(Karis 등, 1984; Fabiani 등, 1986)과 LPC가 P300과 다르다는 관점(Paller, Kutas, & Mayes, 1987)이 있다. 통상 LPC는 400 내지 500ms 잠재기에서 시작하여 800ms 또는 그 이상 지속되지만 여기서 관찰된 후기 P300은 약 430ms 잠재기에서 정점에 도달하고 약 540ms 잠재기에서 영점회귀가 시작되었기 때문에 LPC와 구분되는 것으로 간주하였다.

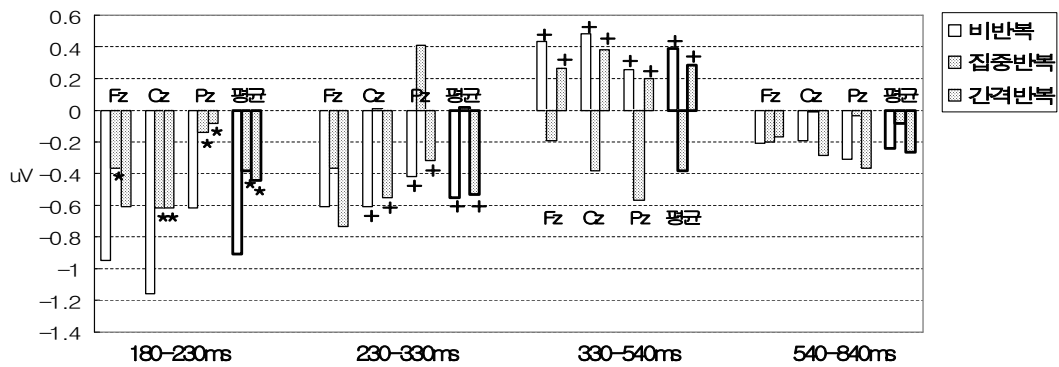


그림 4. 시간창과 정중선 전극별 3개 자극제시조건의 평균진폭 ('평균'은 3개 전극의 평균진폭임; '*'는 해당 전극위치에서 비반복조건에 비해 유의미한 차이를 보인 조건, '+'는 집중반복조건에 비해 유의미한 차이를 보인 조건)

전 $[F(2, 46)=8.95, MSe=.83, p<0.01]$ 의 주효과는 통계적으로 유의미하였지만 전극위치의 주효과는 유의미하지 않았고 상호작용 $[F(2.3, 54.0)=3.42, MSe=.27, p<0.05]$ 은 유의미하였는데, Cz와 Pz에서는 비반복조건과 간격반복조건에 비해 집중반복조건의 진폭이 더 높았지만 Fz에서는 자극제시조건간 차이가 없었다. 330-540ms 시간창에서 자극제시조건 $[F(2, 46)=18.55, MSe=.67, p<0.001]$ 과 전극위치 $[F(1.3, 30.8)=5.57, MSe=.26, p<0.05]$ 의 주효과는 통계적으로 유의미하였지만 상호작용은 유의미하지 않았는데, 모든 전극위치에서 집중반복조건에 비해 비반복조건과 간격반복조건의 진폭이 더 높았고 Pz보다 Fz와 Cz에서 전반적인 진폭이 더 높았다. 540-840ms 시간창에서 자극제시조건과 전극위치의 주효과는 통계적으로 유의미하지 않았지만 상호작용 $[F(2.3, 51.6)=3.42, MSe=.13, p<0.05]$ 은 유의미하였는데, 개별비교 결과 유의미한 대비를 발견하지 못하였다.

ERP 평균 진폭의 두피분포 분석 각 시간창에서 자극제시조건별로 평균진폭의 두피분포를 구한 결과가 그림 5에 제시되었다. 진폭의 두피분포를 통해 두피 전반에 걸친 전위의 전반적 변화 양상을 파악하고 나아가 진폭의 두피분포 패턴이 자극제시조건에 따라 어떻게 상이한가를 파악할 수 있다. 180-230ms 시간창의 두피분포를 보면 집중반복조건과 간격반복조건이 서로 유사하고 이 두 조건은 비반복조건과 상이하며, 전반적으로 후측 부위에 비해 중앙 부위를 정점으로 중앙-전측 부위에서 부정적 전위가 더 컸다. 230-330ms 시간창의 두피분포를 보면 비반복조건과 간격반복조건이 서로 유사하고 이 두 조건은 집중반복조건과 상이하며, 비반복조건과 간격반복조건에서는 중앙 부위에서 외측으로 갈수록 부정적 전위가 감소하는데 비해 집중반복조건에서는 전측에서 후측으로 갈수록 부정적 전위가 감소하면서 후측 부위에서 정적 전위가 뚜렷하게 나타났다. 330-430ms 시간창의 두피분포를 보면 230-330ms 시간창의 두피분포와 마찬가지로 비반

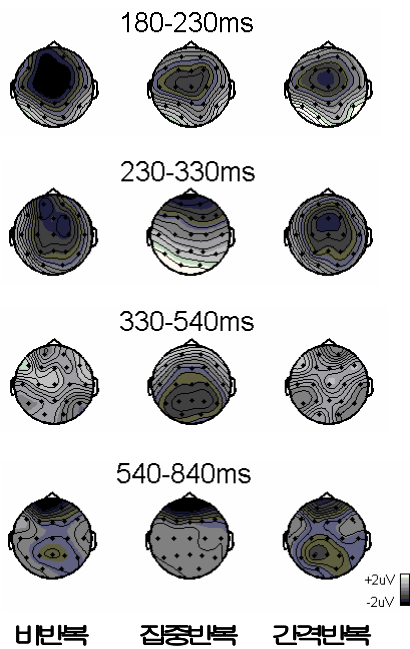


그림 5. 반복간격과 시간창에 따른 ERP 평균 전위 두피분포

복조건과 간격반복조건이 서로 유사하고 이 두 조건은 집중반복조건과 상이하지만, 230-330ms 시간창의 두피분포와 상이하게 비반복조건과 간격반복조건에서는 중앙 부위에서 정적 전위가 가장 크며 외측으로 갈수록 서서히 감소하는 데 비해 집중반복조건에서는 전측 부위에서 정적 전위가 가장 크며 후측으로 갈수록 급격히 감소하여 후측 부위에서 부정 전위가 뚜렷하게 나타났다. 540-840ms 시간창의 두피분포 역시 비반복조건과 간격반복조건이 서로 유사하고 이 두 조건은 집중반복조건과 상이한데, 비반복조건과 간격반복조건에서는 전측과 후측-중심 부위에서 부정 전위가 뚜렷한데 비해 집중반복조건에서는 전측 부위에서만 부정 전위가 뚜렷하였다.

P300 정점진폭 및 잠재기 비교 자극제시조건간 P300의 진폭과 잠재기를 비교하기 위해 정중선 3개 전극위치와 자극제시조건(재인 정확도에 따른 구분)을 하지 않고 각 조건에 해당된 모든 항목을 포함)별 p300의 정점진폭과 잠재기를 구하여 3개 전극위치와 자극제시조건을 독립변인으로 삼아 반복측정 변량분석 및 구형성 위반을 위한 Greenhouse-Geisser 교정을 하였다. 아울러 각 전극위치별로 자극제시조건들간 개별비교(Tukey검증, $p < .05$)를 수행하였다.

P300 정점진폭에 대한 변량분석 결과 자극제시조건 주효과 [$F(2, 46) = 20.36, MS_e = 3.20, p < 0.01$] 그리고 자극제시조건과 전극위치의 상호작용 [$F(3.1, 71.7) = 3.50, MS_e = .90, p < 0.01$]은 통계적으로 유의미하였지만 전극위치의 주효과는 유의미하지 않았다. Fz와 Cz에서 집중반복조건에 비해 간격반복조건과 비반복조건 P300 정점진폭이 더 높았으며 Pz에서는 자극제시조건간 차이가 없었고, 간격반복조건과 비반복조건간에는 모든 전극위치에서 차이가 없었다. P300 잠재기에 대한 변량분석 결과 자극제시조건 [$F(2, 46) = 14.81, MS_e = 6448.67, p < 0.01$]의 주효과만 통계적으로 유의미하였는데, 집중반복조건이 비반복조건과 간격반복조건에 비해 잠재기가 더 빨랐고 비반복조건과 간격반복조건 P300 잠재기는 서로 차이가 없었다. 상호작용이 유의미하지 않았지만 개별비교를 수행한 결과 집중반복조건과 비반복/간격반복조건간 차이가 Fz와 Cz에서는 있었지만 Pz에서는 없었다.

결국 정중선 전극위치에서 관찰된 P300 정점진폭 분석 결과 간격반복 항목과 비반복 항

목간에는 진폭에 있어 차이가 없었고, 이 두 유형의 항목은 집중반복 항목보다 더 높은 진폭을 유발하였다. 그리고 이러한 차이는 두피 중앙 및 전측 부위에서 관찰되었고 후측 부위에서는 관찰되지 않았다. P300 잠재기 분석 결과 역시 정점진폭 결과와 유사한 패턴을 보였는데, 간격반복 항목과 비반복 항목간에는 잠재기에 있어 차이가 없었고 이 두 유형의 항목에 비해 집중반복 항목은 잠재기가 더 빨랐다. 그리고 이러한 잠재기상의 차이 역시 두피 중앙 및 전측 부위에서 관찰되었다.

성공적 부호화에 따른 평균진폭 분석 성공적 부호화효과와 관련된 ERP 특성을 알아보기 위해 재인-확실편단에 따라 확신-적중 항목들과 농침 항목들(확신-농침과 비확신-농침을 합산함)을 구분하여 각각 부호화 도중 측정된 ERP 파형을 구하였는데, 이 가운데 Fz, Cz, Pz에서 측정된 3개 자극제시조건 각각의 확신-적중 항목과 농침 항목의 전체평균 ERP를 그림 6에 제시하였다. 전반적인 ERP 파형을 보면 확신-

적중과 농침의 두 조건간 차이가 잘 드러나지 않는데, 앞서의 4개 시간창과 전극위치별로 두 재인반응조건간 차이를 반복측정 변량분석 및 Greenhouse-Geisser 교정에 따라 분석한 결과 두 재인반응조건간 차이가 모든 시간창과 전극위치에서 관찰되지 않았다.

논 의

본 연구에서는 단서기억과제에서 관찰되는 간격효과 기저의 부호화기전, 특히 주의와 의미적 점화의 역할을 규명하고자 하였다. 간격효과에 대한 수의적 결핍처리가설(Greene, 1989)에 따르면 간격반복 항목이 집중반복 항목에 비해 더 높은 주의자원을 배당받지만, 불수의적 결핍처리 설명(Challis, 1993)에 따르면 간격반복 항목이 집중반복 항목에 비해 더 많은 의미적 처리를 받을 것으로 예상된다. 배당된 주의량의 차이는 P300 진폭에 반영될 것이며 의미적 처리량의 차이는 N400 진폭에 반영될 것으로 예상하고, P300 진폭 차이를

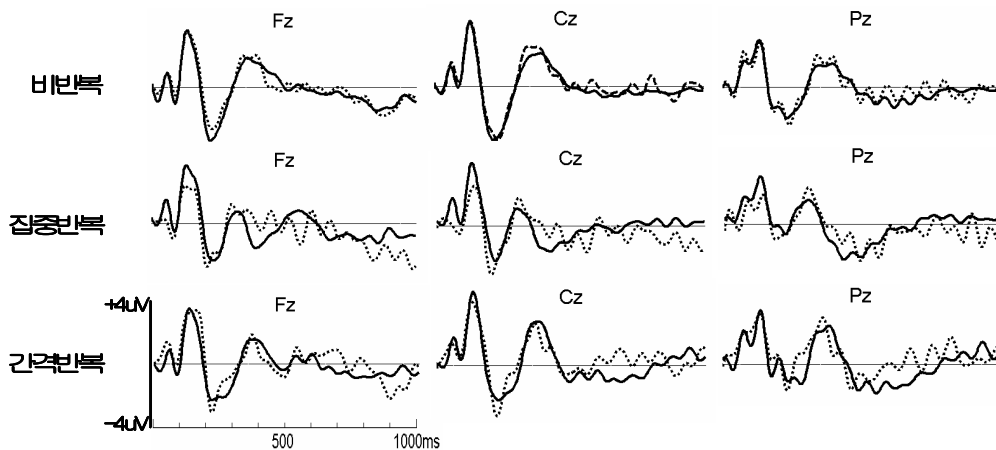


그림 6. 확신-적중 항목과 농침 항목에 대한 부호화 도중 ERP 전체평균(실선, 확신-적중; 점선, 농침)

분석함으로써 수의적 결핍처리가설을 검증하고 N400진폭을 분석함으로써 의미적 결핍처리가설을 검증하고자 하였다.

부호화단계에서 단어를 하나씩 제시하면서 의도적으로 학습하도록 요구한 후 인출단계에서 재인-확신도 평정검사를 실시하였다. 부호화단계에서 특정 항목이 한번만 제시되는 비반복조건, 연달아 반복 제시되는 집중반복조건, 6개의 다른 단어들을 간격에 두고서 반복되는 간격반복조건을 조작하였다. 재인반응 분석 결과, 확신-적중 반응에 있어 간격반복, 집중반복, 비반복 조건의 순으로 정반응율이 높았는데 이러한 결과는 전형적인 간격효과를 확인해주는 것이었다.

ERP자료에 대해서는 먼저 180-230ms(N200), 230-330ms(초기 P300), 330-540ms(후기 P300)의 4개 시간창을 구분하여 각 시간창별 평균진폭을 구하여 분석하였다. 자극제시조건간 차이를 중심으로 평균진폭 분석 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다. 180-230ms 시간창에서는 두 반복조건들보다 비반복조건의 진폭이 더 낮았으며 이러한 차이는 두피 부위에 따라 차이가 없었고, 전반적인 진폭은 두피의 후측 부위보다 중앙 및 전측 부위에서 더 낮았다. 230-330ms 시간창에서는 비반복조건과 간격반복조건보다 집중반복조건의 진폭이 더 높았는데 이러한 차이가 전측 부위와는 달리 중앙 및 후측 부위에서만 나타났다. 330-540ms 시간창에서는 집중반복조건보다 비반복조건과 간격반복조건의 진폭이 더 높았는데 이는 230-340ms 시간창의 자극제시조건간 차이 패턴과는 반대되는 패턴이었다. 또한 집중반복조건대 비반복/간격반복조건의 차이가 230-330ms

시간창에서는 중앙 및 후측 부위에 국한된 반면 330-540ms 시간창에서는 모든 부위에서 동등하게 나타났다. 마지막으로 540-840ms 시간창에서는 자극제시조건간 차이가 관찰되지 않았다.

시간창별 평균진폭의 두피분포를 구하였는데, 그 결과를 자극제시조건간 차이를 중심으로 다음과 같이 요약할 수 있다. 180-230ms 시간창에서는 진폭 두피분포 패턴에 있어 두 반복조건들이 서로 유사하였고 비반복조건은 상이하였는데, 전반적으로 중앙 부위를 정점으로 중앙-전측 부위에서 부적 전위가 컸다. 반면 230ms 이후의 시간창들에서는 두피분포 패턴에 있어 비반복조건과 간격반복조건이 서로 유사하였으며 집중반복조건은 앞서 두 조건들과 상이하였다. 특히 230-330ms 시간창의 두피분포에서는 집중반복조건의 경우 후측 부위로 갈수록 정적 전위가 뚜렷하게 커졌으며, 330-540ms 시간창에서는 비반복조건과 간격반복조건의 경우 중앙 부위에서 정적 전위가 가장 크며 외측으로 갈수록 서서히 감소하였다. 230-330ms 시간창의 전위와 330-540ms 시간창의 전위가 각각 초기 P300과 후기 P300을 반영한다고 볼 때, 이러한 결과는 일반적으로 P300 진폭이 중앙-후측 부위에서 가장 크다는 기존 연구 결과(Johnson, 1993)와 대체로 일치하는 결과라 할 수 있다.

P300 정점진폭과 잠재기 분석 결과를 요약하면, 처음 제시된 항목이나 간격을 두고 반복 제시된 항목은 연달아 반복 제시된 항목에 비해 잠재기가 더 늦고 진폭이 더 큰 P300(후기 P300)을 유발했는데, 이러한 후기 P300과 집중반복 항목에 의해 유발된 초기 P300의 두피상

차이는 중앙 및 전측 영역에서 두드러졌다.

결국, 진폭 두피분포 패턴에서 드러난 자극 제시조건들간의 유사성과 차이는 평균진폭 분석 결과와 나란하였다. ERP 평균진폭과 두피 분포에 있어 자극 제시 후 180-230ms 동안에는 집중반복과 간격반복의 두 반복조건이 서로 유사하고 이 두 반복조건은 비반복조건과는 상이하였다. 그러나 자극 제시 후 230ms 이후에는 간격반복조건과 비반복조건이 서로 유사하고 이 두 조건은 집중반복조건과는 상이하였다. 특히 집중반복조건에서는 자극제시 후 약 300ms에서 초기 P300이 관찰된 반면 비반복조건과 간격반복조건에서는 자극제시 후 약 380-400ms에서 후기 P300이 관찰되었다. P300 정점진폭과 잠재기 분석 결과 역시 비반복 항목이나 간격반복 항목이 집중반복 항목에 비해 잠재기가 더 늦으며 진폭이 더 큰 P300을 유발한다는 것을 확인하였는데, 이러한 차이는 특히 두피상 중앙과 전측 부위에서 두드러졌다.

이상 결과를 N200과 P300 등의 ERP 성분에서 설명하면 다음과 같다. 먼저 N200은 자극제시 후 약 200ms에 정점에 도달하는 부적 파로서 항상 반응에 선행하고, 주의집중된 자극의 감각적 변별과 관련된 판단과정 즉 자극 평가를 반영하며 정보처리 지속기간의 지표라고 할 수 있다(Renault 등, 1982; Ritter 등, 1979). 측두엽의 아래 영역에 위치한 복측 경로에 대한 두개내 ERP 측정 결과 특히 후측 방추회에서 단어나 단어와 유사한 글자열에 대해서만 유발되는 N200이 관찰되었는데, 이 N200은 의미점화나 문장맥락과 같은 의미적 맥락의 영향을 받지 않았다(Nobre, Allison, &

McCarthy, 1994). 이러한 사실들로 미루어 N200은 정보처리 초기단계에서 일어나는 자극의 식별과 분류를 반영해주고 특히 단어자극의 경우 어휘맥락과 같은 하향처리의 영향을 받지 않는 어휘전 처리를 반영한다. 본 연구의 180-230ms 시간창의 평균진폭이 N200을 반영한다고 볼 때, 비반복조건에서 두 반복조건보다 더 낮은 진폭이 관찰된 결과는 반복되어 제시되는 항목보다 처음 제시되는 새로운 항목의 경우 자극을 식별하고 평가하는 데 더 많은 정보처리가 요구되었기 때문이라고 해석된다. N200 진폭이 정보처리 지속기간의 지표라고 볼 때 새로운 항목(비반복 항목)은 반복된 항목에 비해 정보처리에 소요되는 시간이 더 걸렸을 것이고 이것이 N200 진폭의 크기로 반영되었을 것이다.

P300은 자극제시 후 약 250-500ms에 정점에 도달하는 정적 파로서 잠재기는 자극양상, 과제조건, 연령 등에 따라 달라진다(Polich & Kok, 1995; Polich, 2007). 오드볼(oddball) 과제를 중심으로 P300에 대해 제안된 이론 가운데 대표적인 것이 맥락-갱신이론인데, 이 이론에 따르면 P300은 입력자극에 의해 형성된 정신표상의 갱신과정 기저의 뇌 활동을 반영한다(Donchin, 1981). 자극이 입력되면 초기 감각처리가 일어난 후 작업기억내에 있는 기존 정보의 표상을 평가하는 비교과정이 일어난다. 이때 아무런 자극속성 변화도 탐지되지 않으면 작업기억 내의 기존 정보가 그대로 유지되지만 새로운 자극이 탐지되면 자극표상의 갱신과정이 일어나는데 이러한 비교-갱신과정에 주의가 요구된다. P300 진폭이 배당된 주의자원의 양에 민감하다는 사실은 2중과제를 사용

하여 1차과제에 배당된 주의량을 조작한 여러 연구에서 확인되었다(Kramer 등, 1985; Wickens 등, 1983). 본 연구의 정점진폭 분석 결과는 연달아 반복 제시된 항목(집중반복조건)에 의해 유발된 P300이 처음 제시된 새로운 항목(비반복조건)이나 간격을 두고 반복 제시된 항목(간격반복조건)에 의해 유발된 P300보다 진폭이 더 낮다는 것을 밝혔는데, 이는 집중반복 항목에 대해 배당된 주의량이 새로운 항목이나 간격반복 항목에 배당된 주의량보다 더 적다는 것을 시사한다. 즉 앞서 경험했던 항목이 다시 연달아 제시되면 자극속성 변화가 탐지되지 않으므로 작업기억에 있는 기존 정보가 갱신될 필요 없이 그대로 유지되므로 별다른 주의가 요구되지 않는다. 하지만 새로운 항목이 제시되거나 비록 앞서 경험했던 항목이라 할지라도 간격을 두고 제시되면 작업기억내 기존 정보를 갱신해야 하는데 이에 주의가 많이 요구된다고 볼 수 있다. 한편 시간창에 따른 평균진폭분석과 P300 잠재기 분석 결과에 따르면 집중반복 항목이 비반복 항목이나 간격반복 항목에 비해 잠재기가 더 짧았다. P300 잠재기는 자극의 분류 속도를 반영하는 것으로 간주되는데, 이는 자극을 탐지하고 평가하는 데 소요되는 시간에 비례한다(Kutas 등, 1977; Magliero 등, 1984). 이러한 관점에 따르면 본 연구에서 집중반복 항목의 P300 잠재기가 가장 짧았던 결과는 연달아 두 번째 반복 제시된 항목의 탐지 및 평가가 다른 조건의 항목에 비해 더 용이하였기 때문이라고 볼 수 있다. 결국 P300 진폭과 잠재기상에서 관찰된 자극제시조건간 차이로 미루어 볼 때, 집중 반복된 항목이 새로운 항목이나 간격 반

복된 항목보다 더 빨리 식별되고 더 적은 양의 주의를 배당받는 반면, 간격 반복된 항목은 새로운 항목과 대등한 정도의 속도로 식별되고 역시 대등한 정도의 많은 주의량을 배당받는다는 것을 시사한다. 부호화 도중 일어나는 이러한 정보처리 차이가 집중반복과 간격반복간 기억 수행 차이의 원인 가운데 하나라고 판단된다.

이러한 추론에 따른다면 간격반복조건보다 집중반복조건에서 더 적은 주의자원 배정으로 인해 결핍된 처리가 일어났고 이 때문에 간격 효과가 나타났다고 볼 수 있다. 또한 이러한 결핍 처리가 자극제시 후 비교적 짧은 시간내에 일어나는 것으로 미루어 이 결핍처리가 자동적이라고 짐작할 수 있다. 하지만 본 연구에서 수의적 통제처리와 불수의적 자동처리를 구분할 수 있는 실험조작을 직접 채택하여 검증하지 않았기 때문에 결핍처리의 자동성 여부에 대해서는 확실한 결론을 유보해야 할 것이다.

반복간격을 조작한 본 연구와 유사한 선행 연구로서 Kim, Kim, 그리고 Kwon(2001)의 연구를 들 수 있다. 그들은 단어를 하나씩 제시하면서 각 단어가 앞서 제시되었는지 여부를 판단하도록 요구하는 연속적 재인기억과제를 사용하면서 과제 수행 도중 ERP를 측정하였는데, 각 단어는 한번만 제시되거나(비반복) 연달아 반복 제시되거나(집중반복) 5개 단어를 간격에 두고 반복 제시되었다(간격반복). 그 결과, P300의 잠재기에 있어 집중반복 항목은 자극 제시 후 425ms에 정점에 도달한 반면(초기 P300), 간격반복 항목과 비반복 항목은 자극 제시 후 508-514ms에서 정점에 도달하였는

데(후기 P300), 이러한 자극제시조건에 따른 P300 잠재기의 차이 패턴은 본 연구 결과와 매우 유사하였다. 하지만 P300 진폭에 있어 집중반복 항목이 간격반복 항목이나 비반복 항목에 비해 더 컸는데, 이는 본 연구의 결과와는 상이한 결과라 할 수 있다. 그밖에 Kim 등(2001)에서는 N200과 P250, 그리고 N400이 관찰되었는데, 이 가운데 자극제시조건간 차이는 N400에서만 관찰되었다. 본 연구에서는 이 가운데 N200만이 관찰되었는데 Kim 등(2001)과는 달리 N200에서 비반복 항목과 집중/간격반복 항목간 차이를 관찰하였다. 물론 Kim 등(2001)의 연구 결과와 본 연구 결과를 직접 비교하기는 어려운데, 그들 연구에서 사용된 과제는 부호화와 인출을 동시에 요구하는 연속적 재인과제로서 부호화만을 요구한 본 연구와는 상이한 정보처리 기전이 포함되어 있었을 것이기 때문이다.

한편 본 연구에서는 N400을 관찰하지 못하여 의미처리과정을 검증할 수 없었다. 본 연구에서 관찰된 P300 직후의 부적 굴절을 N400으로 간주할 수도 있겠지만 이 부적 굴절은 P300이 감소함에 따라 자연스럽게 영점으로 회귀하는 후속 파형으로 간주하는 것이 더 타당할 것이다.

본 연구의 또 다른 관심사는 후속기억효과로서, 재인검사 결과 정확하게 회상된 항목과 망각된 항목간에 특히 후기 정적 성분(LPC)에 있어 차이가 있는지 그리고 ERP 후속기억효과에 자극제시조건이 어떤 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 특히 후속기억효과와 관련된 LPC상의 차이를 340-540ms 시간창과 540-840ms 시간창의 진폭분석에서 기대하였다. 이

를 위해 재인검사 수행상 확신을 갖고 적중항목과 놓친 항목의 부호화 도중 ERP를 비교하였는데 아무런 차이도 관찰하지 못했다. ERP 후속기억효과는 일반적으로 자유회상에서는 크고 신뢰롭게 관찰되지만 재인에서는 더 작고 덜 신뢰로우며 암묵기억검사에서는 탐지 불가능하다(Paller, 1990; Paller, McCarthy, & Wood, 1988). 그런데 재인 수행 결과를 바탕으로 ERP 후속기억효과를 보고한 연구들은 대부분 의식적 재생(recollection)과 친숙도(familiarity)를 구분하여 판단하도록 요구하고서 '재생된 적중 항목'과 '놓침 항목'간에 ERP 후속기억효과를 관찰했으며, '친숙한 적중 항목'과 '놓침 항목'간에는 ERP 후속기억효과를 대부분 관찰하지 못했다(Smith, 1993; Friedman & Trott, 2000). 본 연구와 같이 '확신-적중 항목'과 '놓침 항목'을 비교하여 ERP 후속기억효과를 보고한 연구는 Otten과 Rugg(2001) 외에는 찾아보기 어렵다. 본 연구에서 ERP 후속기억효과를 관찰하는 데 실패한 이유로서 재생-친숙도 구분에 근거한 재인반응에 비해 확신-비확신 구분에 근거한 재인반응의 기억 변별성이 더 낮았을 가능성을 짐작할 수 있다. Yonelinas (1994; 2001)에 따르면 재생은 높은 기억확신 반응을 일으키지만 친숙도는 폭넓은 범위의 기억 확신 반응을 일으킨다. 이러한 관점에 따라 설명한다면 확신-비확신 판단은 재생-친숙도 판단과는 상이한 인출과정에 의존하며, '확신-적중 항목'이 '재생된 적중 항목' 뿐만 아니라 '친숙한 적중 항목'까지 포함함으로써 후속기억효과에 덜 민감하였을 가능성이 있다. 추후 '재생-친숙도'에 따라 재인반응을 구분하여 ERP 후속기억효과를 밝혀보고, 이러한 후

속기억효과가 자극제시조건과 어떻게 상호작용하는지 규명해볼 필요가 있을 것이다.

본 연구는 집중간격과 반복간격의 차이를 P300 진폭과 잠재기, 그리고 전위 두피분포에서 찾았는데, 집중간격 항목은 간격반복 항목에 비해 P300 진폭이 더 작고 잠재기가 짧았다. 한편 간격반복 항목은 P300 진폭 및 잠재기, 그리고 전위 두피분포에 있어 비반복 항목과 차이가 없었다. 이러한 결과는 간격효과의 원인이 부호화 도중 학습항목에 배당되는 주의량의 차이 때문이라는 것을 시사하는데, 집중반복 항목은 비반복 항목이나 간격반복 항목에 비해 더 적은 양의 주의를 배당받기 때문에 결핍된 처리가 일어나 기억 수행이 더 저조하다고 짐작된다. 하지만 이러한 결핍처리가 자동적인지 여부는 확실하지 않으며 또한 의미적 결핍처리가설과 관련된 ERP 성분을 본 연구에서 검증하지 못했기 때문에, 본 연구 결과는 간격효과가 정보처리과정의 주의력 결핍에 기인한다는 가설에 대해 부분적으로만 지지 증거를 제공하였다.

참고문헌

- 박태진 (2005). 간격효과의 부호화 기전: An event-related fMRI 연구. *인지과학*, 16, 255-270.
- 연세대학교 언어정보개발연구원 (1998). 현대 한국어의 어휘빈도. 연세대학교 언어정보 개발연구원 보고서 CLID-WP-98-02-28.
- Challis, B. H. (1993). Spacing effects on cued-memory tests depend on level of processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 389-396.
- Craik, F. I. M., Govoni, R., Naveh-Benjamin, M., & Anderson, N. D. (1996). The effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 159-180.
- Demb, J. B., Desmond, J. E., Wagner, A. D., Vaidya, C. J., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: a functional MRI study of task difficulty and process specificity. *Journal of Neuroscience*, 7, 1-13.
- Donchin, E. (1981). Surprise!. Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral Brain Science*, 11, 357-374.
- Fabiani, M., Demetrios, K., & Donchin, E. (1986). P300 and recall in an incidental memory paradigm. *Psychophysiology*, 23, 298-308.
- Fabiani, M., & Donchin, E. (1995). Encoding processes and memory organization: a model of the von Restorff effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 224-240.
- Fabiani, M., Karis, d., & Donchin, E. (1990). Effects of mnemonic strategy manipulation in a von Restorff paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75, 22-35.
- Ford, J., Sullivan, E., Marsh, L., White, P, Lim, K., & Pfefferbaum, A. (1994). The relationship between P300 amplitude and

- regional gray matter volumes depends on the attentional system engaged. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 90, 214-228.
- Friedman, D., & Trott, C. (2000). An event-related potential study of encoding in young and older adults. *Neuropsychologia*, 38, 542-557.
- Greene, R. L. (1989). Spacing effects in memory: Evidence for a two-process account. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 371-377.
- Grune, K., Metz, A.-M., Hagedorf, H. & Fischer, S. (1996). Information processing in working memory and event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 23, 111-120.
- Holcomb, P. J. (1993). Semantic priming and stimulus degradation. Implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, 30, 47-61.
- Johnson R. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology*, 30, 90-97.
- Karis, D., Fabiani, M. & Donchin, E. (1984). 'P300' and memory: individual differences in the von Restorff effect. *Cognitive Psychology*, 16, 177-216.
- Kiefer, M., & Spitzer, M. (2000). Time course of conscious and unconscious semantic brain activation, *NeuroReport*, 11, 2401-2407.
- Kim, M.S., Kim, J. J., Kwon, J. S. (2001). The effect of immediate and delayed word repetition on event-related potential in a continuous recognition task. *Cognitive Brain Research*, 11, 387-396.
- Kramer, A. F., Wickens, C. D., & Donchin, E. (1985). Processing of stimulus properties: evidence for dual-task integrality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 393-408.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M, McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, 197, 792-795.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. H. & Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, 21, 171-186.
- Nobre, A. C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, 372, 260-263.
- Otten, L. J., & Rugg, M. D. (2001). Electrophysiological correlates of memory encoding are task-dependent. *Cognitive Brain Research*, 12, 11-18.
- Paller, K. A. (1990). Recall and stem-completion priming have different electrophysiological correlates and are modified differentially by directed forgetting. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*,

- 16, 1021-1032.
- Paller, K. A., Kutas, M., & Mayes, A. R. (1987). Neural correlates of encoding in incidental learning paradigm, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 67, 360 - 371.
- Paller, K. A., McCarthy, G. & Wood, C. C. (1988). ERPs predictive of subsequent recall and recognition performance. *Biological Psychology*, 26, 269-276.
- Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9, 456-479.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2128-2148.
- Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology*, 41, 103-146.
- Renault, B., Ragot, R., Lesevre, N., & Remond, A. (1982). Onset and offset of brain events as indices of mental chronometry. *Science*, 215, 1413-1415.
- Ritter, W., Simson, R., Vaughan, H. G., & Friedman, D. A. (1979). Brain event related to the making a sensory discrimination. *Science*, 203, 1358-1361.
- Rypma, B., & D'Esposito, M. (2003). A subsequent-memory effect in dorsolateral prefrontal cortex. *Cognitive Brain Research*, 16, 162-166.
- Smith, M. E. (1993). Neurophysiological manifestations of recollective experience during recognition memory judgments. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 1-13.
- Van Petten, C. A., (1993). A comparison of lexical and sentence-level context effects in event-related potentials. *Cognitive Processes*, 8, 485-531.
- Van Petten, C., & Senkfor, A. J. 1996. Memory for words and novel visual patterns: Repetition, recognition, and encoding effects in the event-related-potential. *Psychophysiology*, 33, 491-506.
- Vandenberghe, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O., Frackowiak, R. S. (1996). Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, 383, 254-256.
- Wickens, C., Kramer, A., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). Performance of concurrent tasks: a psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources. *Science*, 221, 1080-1082.
- Yonelinas, A. P. (1994). Receiver-operating characteristics in recognition memory: Evidence for a dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 1341-1354.
- Yonelinas, A. P. (2001). Consciousness, control, and confidence: The 3 Cs of recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 361-379.

1 차원고접수 : 2007. 10. 1

최종게재결정 : 2007. 12. 28

An event-related potential study of encoding mechanism underlying spacing effect

Taejin Park

Department of Psychology, Chonnam National University

Memory for repeated items improves when presentations are spaced during study (spacing effect). To examine the neural mechanisms underlying the spacing effect, event-related potentials (ERPs) were recorded during intentional study phase of a recognition memory paradigm. During study, words were presented once (no repetition) or repeated immediately (massed repetition) or repeated after 6 intervening items (spaced repetition). Participants were then asked to do old/new and confident/no confident judgments. Confident-hit recognition was better for repeated items with delay than immediately repeated items. Mean amplitudes at 230-330ms interval were more positive for massed repetition compared to spaced and no repetition conditions, but mean amplitudes at 330-540ms interval were more positive for spaced and no repetition compared to massed repetition condition. P300 peak amplitudes were more positive for spaced and no repetition compared to massed repetition condition and P300 latencies were shorter for massed repetition compared to spaced and no repetition conditions. In terms of mean amplitudes of time intervals after 230ms, P300 peak amplitudes/latencies, and scalp distributions of potentials, no difference was found between spaced vs. no repetition conditions. These results show that smaller amount of attention is allocated to immediately repeated items than to repeated items with delay. Spacing effect could be explained by deficient processing of immediately repeated items.

Key words : spacing effect, encoding, P300, attention, ERP