

인간공학적 헬리콥터 조종실 설계를 위한 종합적인 조종사 작업부하 평가 시스템 개발

이원섭¹, 김수진¹, 윤성혜¹, 박장운¹, 이달호²
박세권², 강병길³, 엄추호³, 유희천¹

¹ 포항공과대학교 기계산업공학부
² 공군사관학교 산업공학과
³ 한국항공우주산업

목차

- ↪ 연구 배경 및 필요성
- ↪ 연구 목적
- ↪ 조종사 작업부하 평가 방법
- ↪ 토의 및 결론

연구 배경

- 헬리콥터의 조작 시스템 및 수행 업무 복잡화
⇒ **조종사의 작업부하 증가**
- 높은 작업부하 ⇒ 인적 오류 유발 ⇒ 비행 사고 초래
- 조종사의 **작업부하 및 부하원인 파악**을 통한 **시스템 설계 개선** 필요



UH-60 cockpit



Apache cockpit

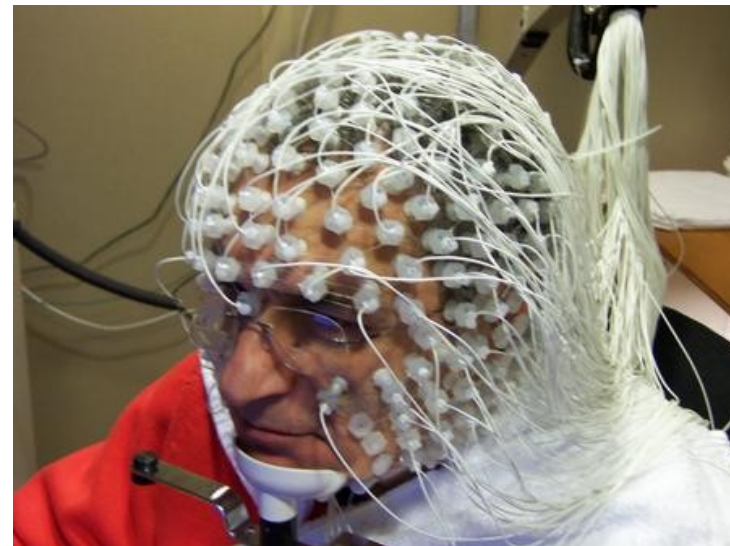
연구 배경

■ 작업부하 평가 도구

- ✓ 신체적 작업부하: OWAS, RULA, REBA
- ✓ 정신적 작업부하
 - 주관적 평가 도구: NASA-TLX, SWAT, Cooper-Harper Scale
 - 객관적 평가 도구: 뇌파(EEG), 심전도(ECG), 호흡수



신체적 작업부하 평가 시스템 (REBA)



EEG 분석을 통한 작업부하 파악

연구 필요성

- **특화된 종합적 작업부하 평가 시스템 개발 사례:** 천장 크레인 운전 작업부하 평가모델 개발 (권오채 외, 2007)



- **헬리콥터 조종 작업 및 헬리콥터 조종실 설계에 특화된 작업부하 평가모델 개발이 필요**

연구 목적

- 헬리콥터 조종작업에 특화된 작업부하 평가 방법 개발
- 다양한 종류의 작업부하를 전반적이고 종합적으로 평가
- 실무에서의 간편한 활용을 위한 평가 시스템 개발
- 헬리콥터 조종실 평가 결과를 기반으로 시스템 설계 개선 적용

연구 방법

Step 1

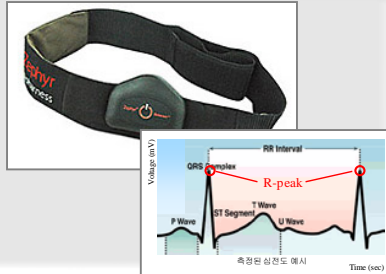
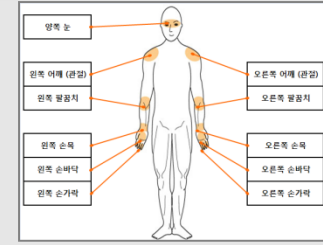
평가 시스템 구조 설정

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하	- NIOSH 근골격계 질환양성자 분석 - CMDQ	-	-
정신적 작업부하	NASA-TLX	- WinScat - MiniCog - 공군조종사적성 연구소 프로그램	- 심전도 - 호흡수

Step 2

평가 방법 개발

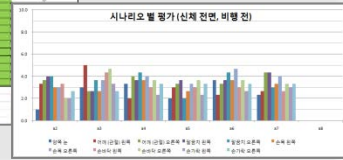
No.	항목	극도로 낮음	매우 낮음	상당히 낮음	낮음	다소 낮음	보통	다소 높음	높음	상당히 높음	매우 높음	극도로 높음
1	정신적 요구수준	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
2	신체적 요구수준	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
3	시간적 요구수준	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪



Step 3

평가 시스템 개발

I. 평가 정보 입력		II. 신체적 심전도 평가 결과 입력									
항목	내용	신체부하	정신부하	시간부하	심박수	HRV	HRV	HRV	HRV	HRV	HRV
1	정신적 요구수준	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	신체적 요구수준	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	시간적 요구수준	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



평가 시스템 구조 설정

- 작업부하 평가 관련 국내외 50편 문헌 검토
- **작업부하 유형과 평가 유형에 따라 4가지 평가방법 선정**
- 평가방법 별 대표 평가도구 선택하여 연구 적용

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하	<ul style="list-style-type: none"> - NIOSH 근골격계 질환양성자 분석 - CMDQ 	-	-
정신적 작업부하	NASA-TLX	<ul style="list-style-type: none"> - WinScat - MiniCog - 공군조종사적성 연구소 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> - 심전도 - 호흡수

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

신체적 불편도 평가: 평가 방법

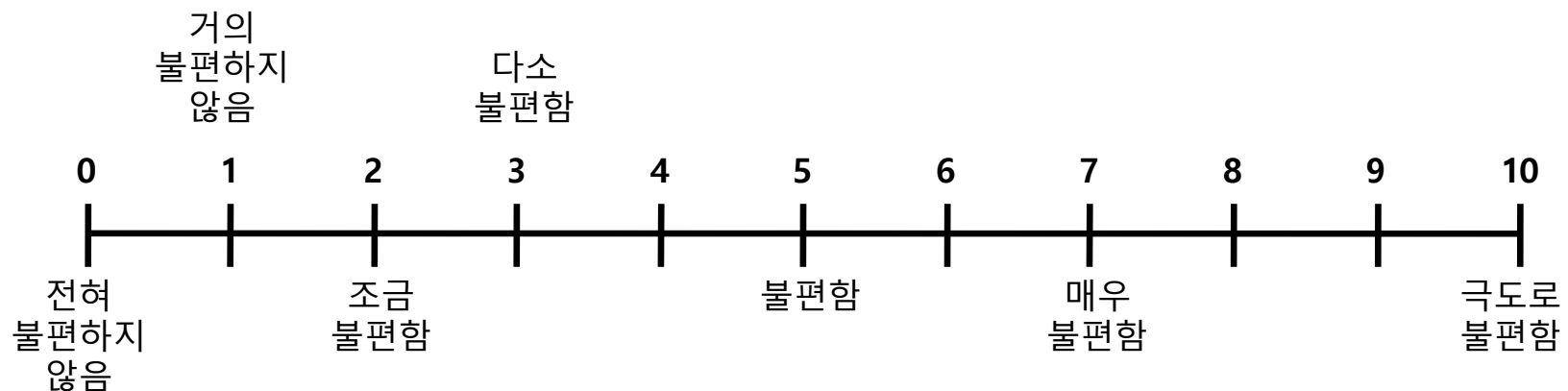
■ 개요

- ✓ 비행 시뮬레이션 전후에 적용하여 신체적 작업부하의 변화 분석
- ✓ 신체 주요 부위에 대한 불편도를 주관적으로 빠르게 평가 (1분 이내)

■ 참고자료

- ✓ 미국 NIOSH 근골격계질환 양성자 분석 (Bernard 외, 1993)
- ✓ Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ; Hedge 외, 1999)

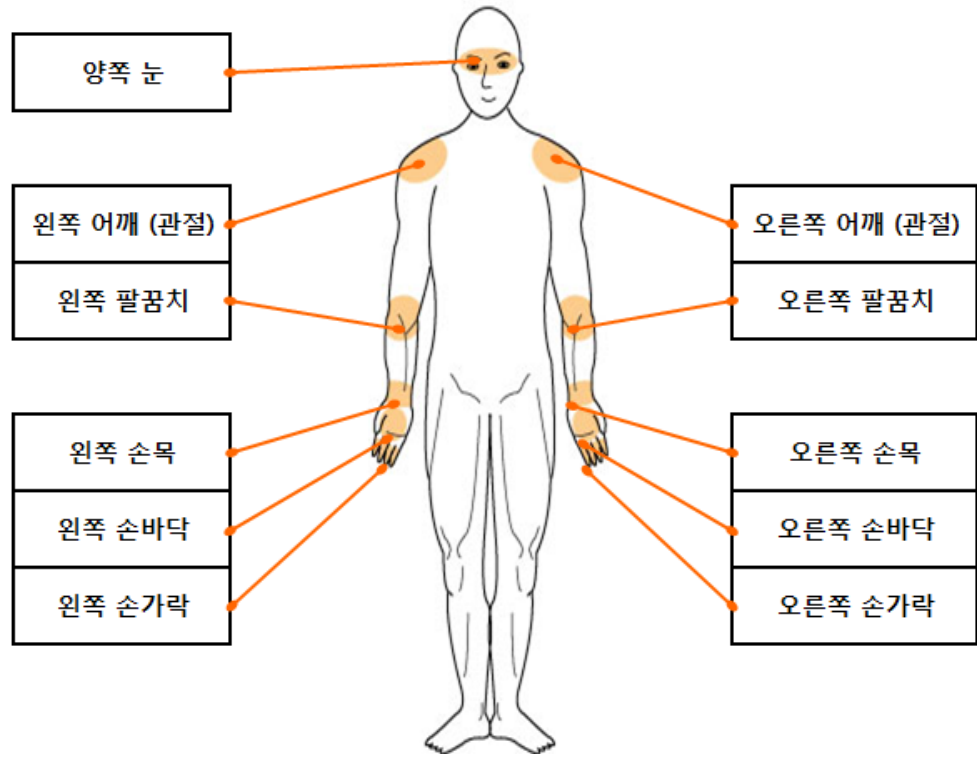
■ 평가방법: Borg's CR-10을 응용한 11점 척도



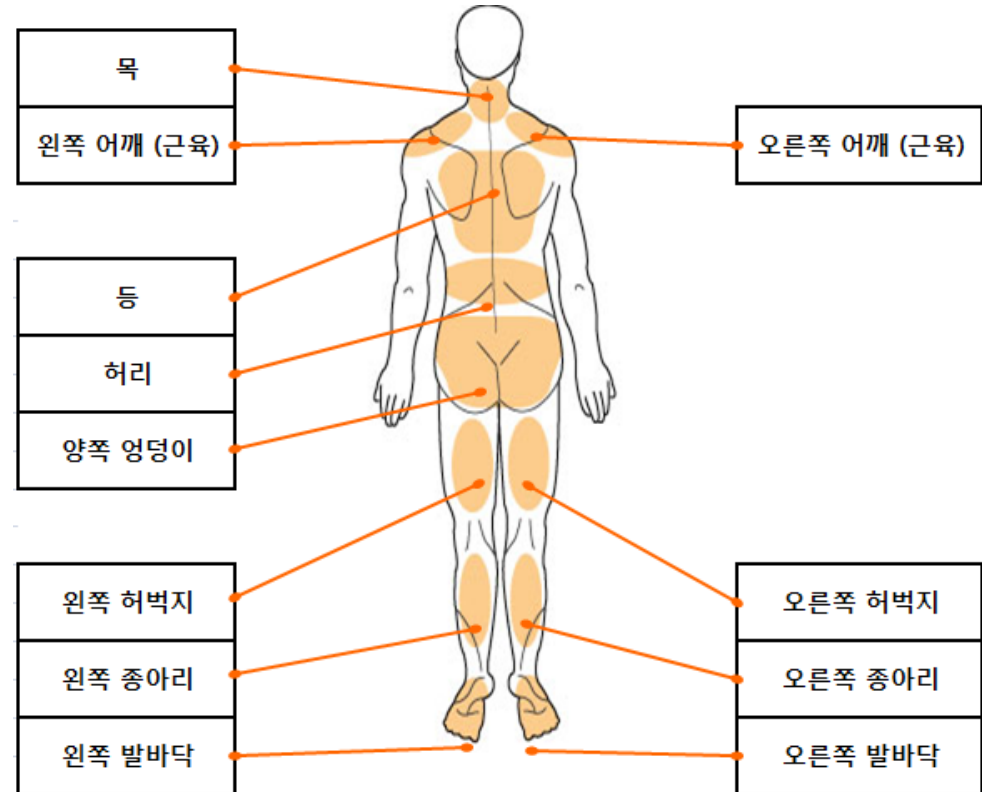
신체적 불편도 평가: 평가 부위

평가 유형	주관적 평가	객관적 평가	
작업부하 유형		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

- 기존 연구들을 기반으로 헬리콥터 조종사의 신체 사용 특성을 반영하여 평가 부위 보완



신체 전면 (11개 부위)



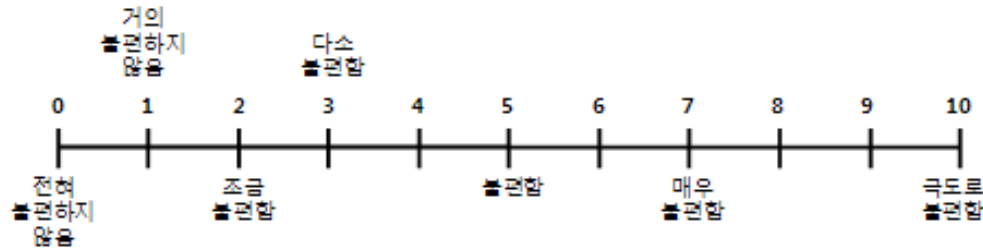
신체 후면 (12개 부위)

신체적 불편도 평가: 평가 설문

평가 유형	주관적 평가	객관적 평가
작업부하 유형	인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하		
정신적 작업부하		

신체적 불편도 평가: 시나리오 수행 후

본 설문은 헬리콥터 조종 시나리오를 수행한 후의 신체적 불편도를 평가하는 양식입니다. 제공된 평가 예시를 참조하시어, 불편함을 느끼는 부위와 불편 정도(0~10 점)를 기입하여 주십시오.



앞모습		옆모습			
부위	불편여부	불편도 점수	부위	불편여부	불편도 점수
양쪽 눈			양쪽 눈		
왼쪽 어깨 (관절)			오른쪽 어깨 (관절)		
왼쪽 팔꿈치			오른쪽 팔꿈치		
왼쪽 손목			오른쪽 손목		
왼쪽 손바닥			오른쪽 손바닥		
왼쪽 손가락			오른쪽 손가락		

신체적 불편도 평가: 분석 시스템

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가 인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

I. 평가 정보 입력

Pilot ID	A-027	* ID와 Scenario 번호를 입력하여 주십시오.
Scenario ID	H13	

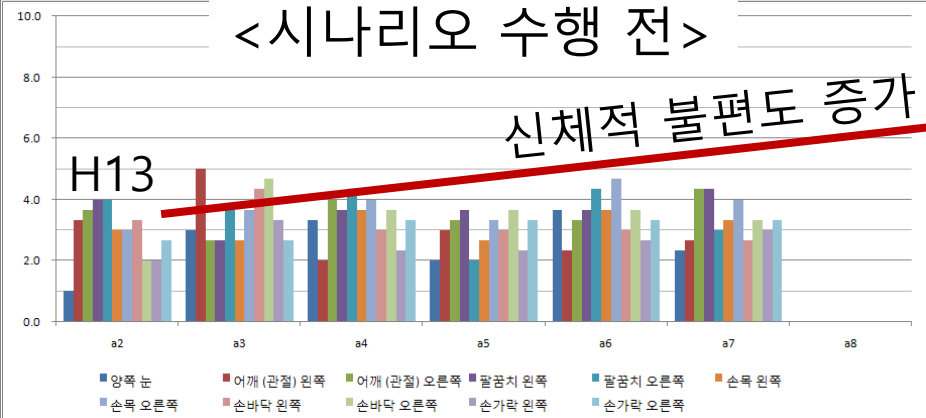
II. 신체적 불편도 평가 결과 입력

신체 전면부					신체 후면부					
번호	신체부위	불편도 점수 (비행 전)	불편도 점수 (비행 후)	점수 차이 (비행 후 - 비행 전)	번호	신체부위	불편도 점수 (비행 전)	불편도 점수 (비행 후)	점수 차이 (비행 후 - 비행 전)	
1	양쪽 눈	2	5	3	12	목	6	7	1	
2	어깨 (관절)	왼쪽	5	8	3	13	어깨 (근육)	왼쪽	3	6
3		오른쪽	0	6	6	14		오른쪽	4	8
4	팔꿈치	왼쪽	5	7	2	15	등	2	5	
5		오른쪽	0	8	8	16	허리	0	6	
6	손목	왼쪽	2	6	4	17	양쪽 엉덩이	3	6	
7		오른쪽	3	4	1	18	허벅지	왼쪽	0	4
8	손바닥	왼쪽	0	5	5	19		오른쪽	1	5
9		오른쪽	6	6	0	20	종아리	왼쪽	2	6
10	손가락	왼쪽	2	5	3	21	오른쪽	0	8	
11		오른쪽	3	5	2	22	발바닥	왼쪽	5	5
					23	오른쪽	2	4	2	

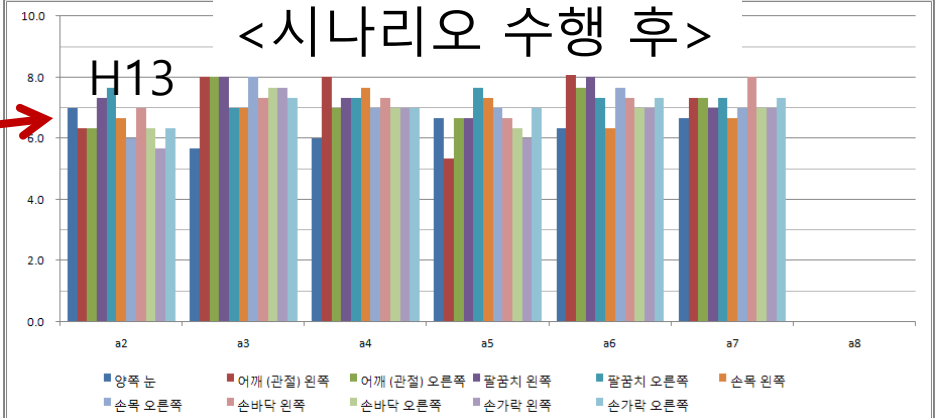
* 노란색(비행 전)과 연두색(비행 후) 부분만 입력하여 주십시오. (0~10)
 * 점수차이는 자동으로 계산되는 부분이므로 수정하지 마십시오.
 * 설문지에서 불편도가 없다고 표기된 항목은 오른쪽의 <불편도 점수>란을 빈칸으로 두시기 바랍니다.

저장하기
 새로 쓰기

<시나리오 수행 전>



<시나리오 수행 후>



정신적 작업부하 평가: 평가 방법

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

■ 개요

- ✓ 비행 시뮬레이션의 각 단계 수행 후, 정신적 작업부하의 변화를 분석
- ✓ 정신적 작업부하를 주관적으로 신속하게 평가 (1분 이내)

■ 참고자료

- ✓ **NASA-Task Load Index** (NASA-TLX; Hart and Staveland, 1988)
- ✓ NASA-TLX 방법에 의한 KTX 운전 직무부하 분석 (정원대 외, 2007)
- ✓ NASA-TLX를 활용한 인간-제품 상호작용 과정에서의 작업부하 평가에 관한 연구 (김현호 외, 2002)
- ✓ 메뉴 설계를 위한 접근 방법론 비교 평가 (김봉건 외, 2005)

정신적 작업부하 평가: 평가 방법

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

■ 작업부하 평가항목 정의 (한글화)

- ✓ 원문 및 기존 한글화 문헌 참조
- ✓ 인간공학 전문가 및 실무자의 세무 검토

No.	항 목	정 의
1	정신적 요구수준	임무 수행 시 지각적/인지적 활동(예: 탐색, 사고, 의사 결정, 연산, 기억 등)이 요구되는 정도
2	신체적 요구수준	임무 수행 시 신체적 활동(예: 조작, 기동, 힘 사용 등)이 요구되는 정도
3	시간적 요구수준	임무 수행 시 느껴지는 시간적 압박감(예: 임무 완료까지의 시간 제약, 할당 임무 수 등) 정도
4	임무 성취감	임무를 성공적으로 완수했다고 생각하는 정도
5	노력 수준	임무 목표를 달성하기 위해 정신적/신체적으로 노력한 정도
6	불쾌감 수준	임무를 수행하는 동안 불안, 낙담, 화남, 압박감, 좌절감 등의 부정적인 감정을 느낀 정도

정신적 작업부하 평가: 평가 방법

평가 유형	주관적 평가	객관적 평가
작업부하 유형	인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하		
정신적 작업부하		

평가방법: NASA-TLX와 동일

[1] 6개 항목별 작업부하 평가 (11점 척도)

No.	항 목	극도로 낮음	매우 낮음	상당히 낮음	낮음	다소 낮음	보통	다소 높음	높음	상당히 높음	매우 높음	극도로 높음
1	정신적 요구수준	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
2	신체적 요구수준	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
3	시간적 요구수준	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪

NASA-TLX
 는 100점
 척도 사용

[2] 항목간 상대적 중요도 평가 (가중치로 적용)

No.	평가 항목 쌍	No.	평가 항목 쌍
1	정신적 요구수준 □ / □ 신체적 요구수준	10	시간적 요구수준 □ / □ 임무 성취감
2	정신적 요구수준 □ / □ 시간적 요구수준	11	시간적 요구수준 □ / □ 노력 수준
3	정신적 요구수준 □ / □ 임무 성취감	12	시간적 요구수준 □ / □ 불쾌감 수준
4	정신적 요구수준 □ / □ 노력 수준	13	임무 성취감 □ / □ 노력 수준
5	정신적 요구수준 □ / □ 불쾌감 수준	14	임무 성취감 □ / □ 불쾌감 수준

NASA-TLX
 와 동일

정신적 작업부하 평가: 평가 설문

평가 유형	주관적 평가	객관적 평가	
작업부하 유형		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

정신적 작업부하 평가

본 설문은 헬리콥터 조종 시나리오 수행 시 느끼신 정신적 부하를 평가하는 양식입니다. 제공된 평가 예시를 참조하시어, 표 1의 6가지 정신적 작업부하 항목에 대해 (1) 항목별 작업부하와 (2) 항목간 상대적 중요도를 평가하여 주십시오.

1. 항목별 작업부하 평가

각 항목에 대한 정신적 작업부하 정도를 평가(✓)하여 주십시오.

No.	항목	극도로 낮음	매우 낮음	상당히 낮음	낮음	다소 낮음	보통	다소 높음	높음	상당히 높음	매우 높음	극도로 높음
1	정신적 요구수준	○	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
2	신체적 요구수준	○	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
3	시간적 요구수준	○	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
4	임무 성취감	○	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
5	노력 수준	○	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
6	불쾌감 수준	○	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

2. 항목간 상대적 중요도 평가

각 평가 항목 쌍에서, 정신적 작업 부하를 증가시키는데 상대적으로 더 중요한 영향을 미친 항목을 표시(✓)하여 주십시오.

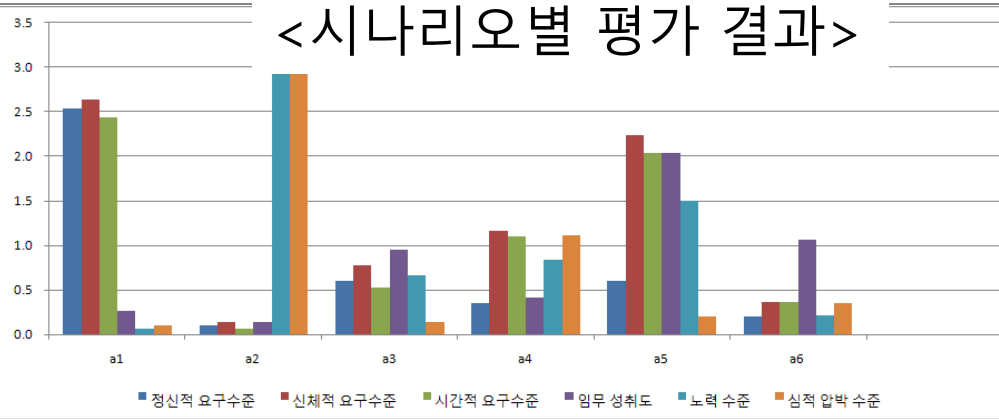
No.	평가 항목 쌍	No.	평가 항목 쌍
1	정신적 요구수준 □ / □ 신체적 요구수준	10	시간적 요구수준 □ / □ 임무 성취감
2	정신적 요구수준 □ / □ 시간적 요구수준	11	시간적 요구수준 □ / □ 노력 수준
3	정신적 요구수준 □ / □ 임무 성취감	12	시간적 요구수준 □ / □ 불쾌감 수준
4	정신적 요구수준 □ / □ 노력 수준	13	임무 성취감 □ / □ 노력 수준
5	정신적 요구수준 □ / □ 불쾌감 수준	14	임무 성취감 □ / □ 불쾌감 수준
6	신체적 요구수준 □ / □ 시간적 요구수준	15	노력 수준 □ / □ 불쾌감 수준
7	신체적 요구수준 □ / □ 임무 성취감		
8	신체적 요구수준 □ / □ 노력 수준		
9	신체적 요구수준 □ / □ 불쾌감 수준		

정신적 작업부하 평가: 분석 시스템

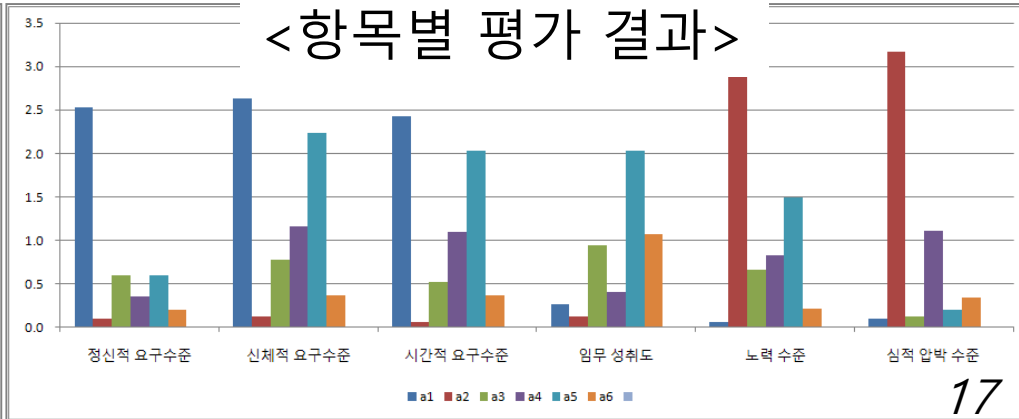
평가 유형	주관적 평가	객관적 평가
작업부하 유형	인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하		
정신적 작업부하		

I. 평가 정보 입력					
Pilot ID	B-003	* ID와 Scenario 번호를 입력하여 주십시오.			
Scenario ID	L09				
II. 정신적 작업부하 평가 결과 입력					
번호	정신적 작업부하 평가 항목	점수	표기된 개수	가중치	가중점수
1	정신적 요구수준	3	2	0.1	0.4
2	신체적 요구수준	2	5	0.3	0.7
3	시간적 요구수준	4	2	0.1	0.5
4	임무 성취도	2	3	0.2	1.6
5	노력 수준	3	2	0.1	0.4
6	심적 압박 수준	1	1	0.1	0.1
			합계: 15		총점: 4
* 노란색과 연두색 부분만 입력하여 주십시오. * <점수>란에는 1~10점 사이의 점수로 입력하여 주십시오. * <가중치>와 <가중점수>는 자동으로 계산되는 부분이니 수정하지 마십시오.					저장하기 새로 쓰기

<시나리오별 평가 결과>



<항목별 평가 결과>



인지능력 평가: 평가 방법

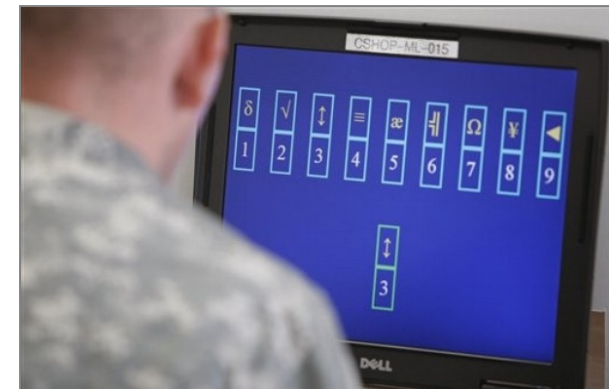
평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

■ 개요

- ✓ 비행 시뮬레이션의 각 단계 수행 전후에 적용하여 인지 능력의 변화를 분석
- ✓ 인지능력과 관련된 정신적 작업부하를 신속하게 평가(5분 이내) 및 분석

■ 참고자료

- ✓ WinScat (Kane 외, 2005)
- ✓ MiniCog (Shephard 외, 2005)
- ✓ 공군조종사적성연구소에서 개발한 소프트웨어 (공군사관학교, 1998)



인지능력 평가: 평가 방법


평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

- 기존 평가도구 분석을 통해 평가항목 선정

No.	평가 항목	설 명
1	즉각 반응 능력	신호가 주어졌을 때 즉각적으로 반응하는 능력 평가
2	정밀 조작 능력	대상을 정밀하게 조작할 수 있는 능력을 평가
3	속도 감지 및 예측 능력	움직이는 사물의 속도를 감지하고 특정 거리까지 도달하는 데까지 걸리는 시간을 예측하는 능력 평가
4	단기 기억 능력	공간 및 언어(숫자)와 관련된 단기 기억 능력을 평가
5	주의 분배 능력	주의를 분배하여 두 가지 작업을 동시에 수행하는 능력 평가

인지능력 평가: 평가 및 분석 시스템

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			



Pi-WAM
 Pilot Workload Assessment Model

한국항공우주산업
 포항공과대학교
 공군사관학교

평가 실행 관리자 모드

소개

본 프로그램은 조종사의 인지 능력 평가용 프로그램으로써, 모두 5개의 실험 set로 구성되어 있습니다.
 매 실험은 약 1분 정도 수행되며, 전체 평가 시간은 대략 10분 정도 소요될 것입니다.
 본 평가를 위한 실험장치는 컴퓨터, 마우스, 조이스틱, 키보드를 사용하게 됩니다.

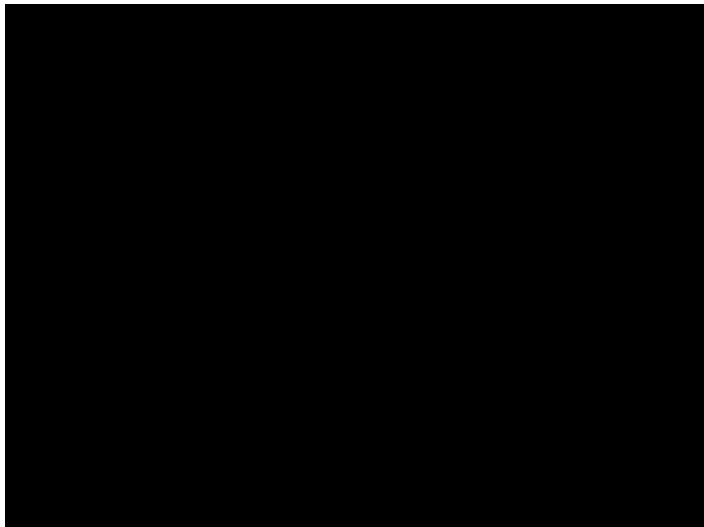
아래에 제시된 예행 연습을 통해 평가 전 각 평가 단계에 대한 충분한 연습을 수행할 수 있습니다.
 본 실험은 열러마 빨리 그리고 얼마나 정확하게 수행하는가를 측정하는 실험이므로,
 당신이 할 수 있는 한 최대한 빨리 그리고 정확하게 반응하여 주실 것을 당부합니다.
 [화면을 다 읽으셨으면 화면 아래의 다음 버튼을 클릭하십시오.]

예행 연습

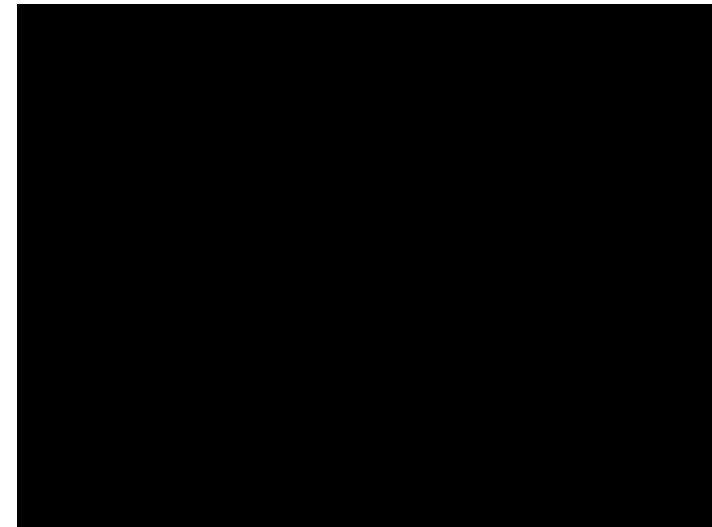
1 2 3 4 5

즉각반응능력 속도 감지 및 예측 능력 정밀 조작 능력 단기 기억 능력 주의 분배 능력

이전 다음



속도 감지 및 예측 능력 평가 예시

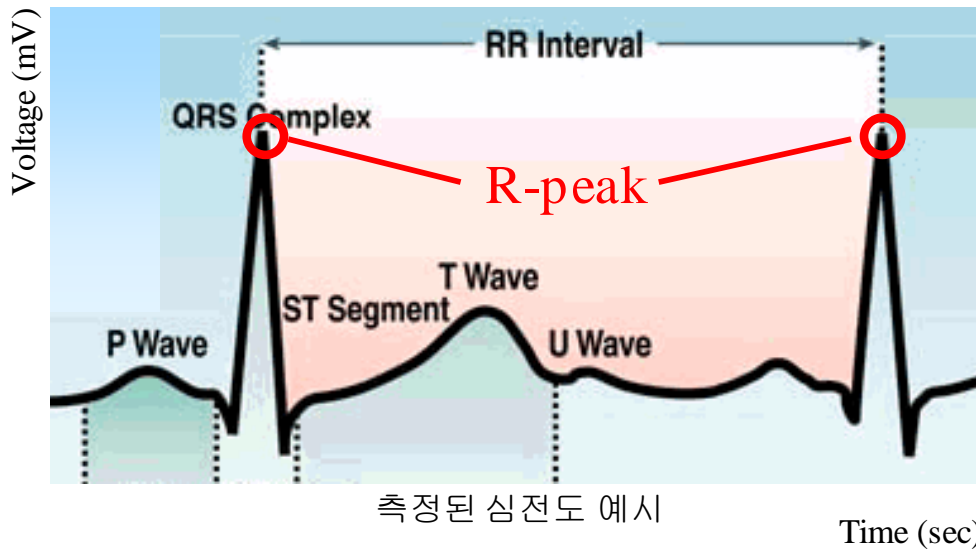


주의 분배 능력 평가 예시

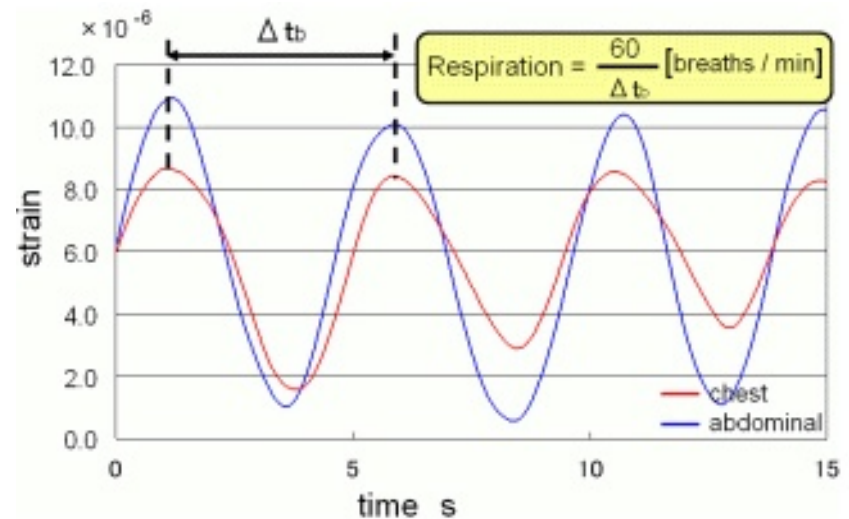
정신생리학적 평가: 평가 방법

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하	■	■	■
정신적 작업부하	■	■	■

- 개요: 비행 시뮬레이션의 각 단계에 적용하여 실시간으로 정신적 작업부하 변화를 모니터링 및 사후 평가(통계 분석)
- 측정 항목
 - ✓ 심전도 (heart rate): 분당 심박수, RR interval
 - ✓ 호흡수 (respiration rate): 분당 호흡수



심전도 그래프 예시



호흡수 그래프 예시

정신생리학적 평가: 평가 장비 선정

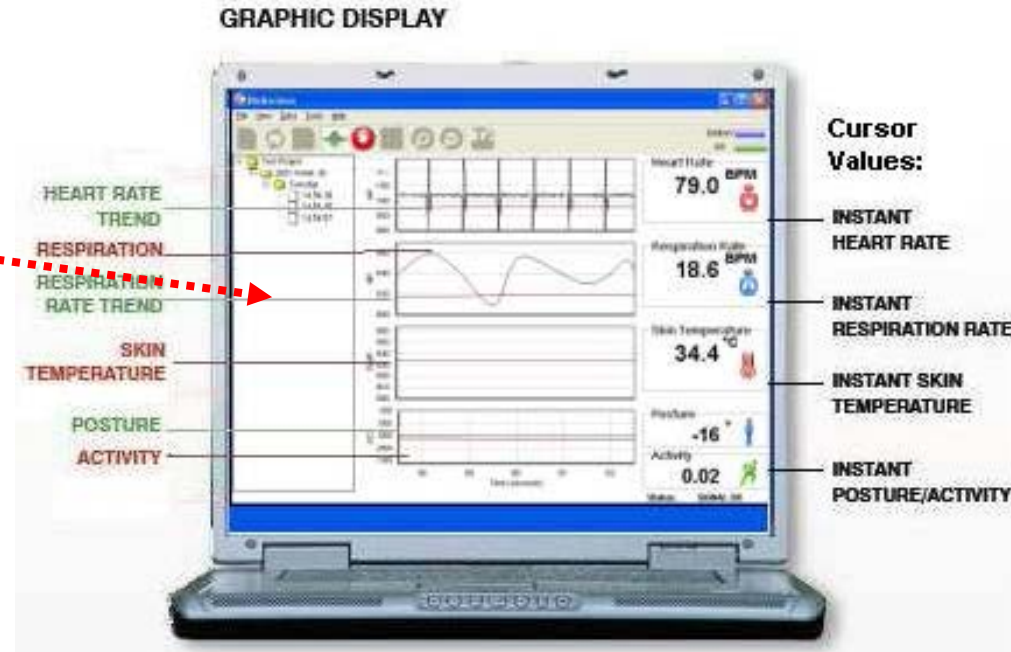
평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

- 간단한 설치 및 착용
- 다양한 항목을 동시에 측정 (심전도, 호흡수 등)
- 무선으로 실시간 data 기록 및 분석



BioHarness™ (Zephyr Inc.)

wireless



정신생리학적 평가: 평가 방법

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

	휴식 단계	작업 수행 단계	회복 단계
측정 목적	Baseline 측정	임무 수행 시의 작업부하 측정	심전도 및 심박수의 회복 패턴 측정
측정 시간	10분	(임무 시간에 따라 다름)	5분
측정 장소	Resting room	Simulator room	Resting room



Resting room

- 외부와 차단
- 편안한 의자
- 은은한 조명 (직사광선은 피함)
- 조용한 분위기
- No work (아무 것도 하지 않고 편안한 마음으로 가만히 있음)

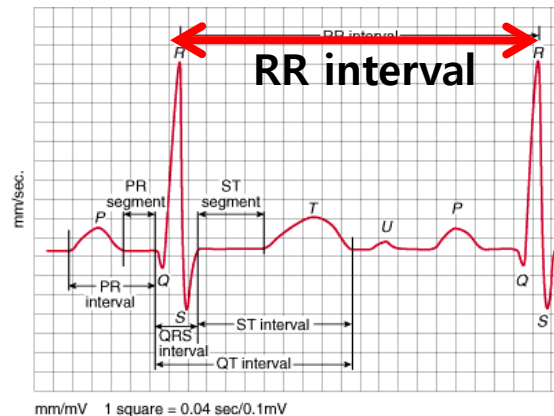
정신생리학적 평가: 분석 방법

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하			
정신적 작업부하			

- Baseline 대비 작업 수행 단계에서의 심전도와 호흡수의 변화 정도를 분석

(분석 예시)

	분당 심박수 (bpm)	RR interval (ms)	분당 호흡수 (bpm)
Baseline	69	1032	12.6
낮은 작업부하 업무	87	867	15.9
높은 작업부하 업무	93	689	19.3



토의 및 결론

■ 헬리콥터 조종사의 작업부하 평가에 특화된 평가 체계 개발

- ✓ 다양한 종류의 작업부하를 전반적이고 종합적으로 평가
- ✓ 실무에서의 간편한 활용을 위한 평가 시스템 개발

평가 유형 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하	<ul style="list-style-type: none"> - NIOSH 근골격계 질환양성자 분석 - CMDQ 	-	-
정신적 작업부하	NASA-TLX	<ul style="list-style-type: none"> - WinScat - MiniCog - 공군조종사적성 연구소 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> - 심전도 - 호흡수

■ 적용 방안

- ✓ 헬리콥터 조종실의 시스템 설계 평가
- ✓ 헬리콥터 조종실의 설계 개선 효과 분석

Q & A

경청해주셔서 감사합니다.