

8. NIOSH 들기 작업 분석

8.1 NIOSH 들기 작업 분석 개요

NIOSH 들기식은 NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health) 에서 제안한 기법으로, NIOSH 들기식(NIOSH Lifting Equation) 혹은 NLE라고 한다. 들기 작업의 위험성을 예측하고 인간공학적인 작업방법의 개선을 통해 작업자의 직업성 요통을 사전에 예방하기 위해 만든 프로그램이다. NIOSH에서는 1981년에 NIOSH 들기식을 발표하였으며, 1991년에는 그동안 진행된 연구 결과들을 반영한 개정 들기식(Revised NIOSH Lifting Equation)을 발표하였다.

중량물을 취급하는 작업에 의해 수반되는 건강 장애를 막기 위한 기준은 여러 나라에서 설정되어 있지만, 그 대부분이 최대 취급 중량과 두 손 취급 회수(frequency) 또는 두 손의 총 취급 중량 (weight limit) 등 만을 규정하고 있는 반면에, NIOSH의 기준은 취급 중량과 취급 회수뿐만 아니라, 다양한 요인들(중량물 취급 위치, 인양 거리, 신체의 비틀기 정도, 들기 빈도, 손잡이 상태)을 고려하고 있으며 보다 정밀한 작업 평가, 작업 설계에 이용할 수 있다.

NIOSH의 기준은 중량물 취급에 관한 각 분야에서의 연구 성과를 통합한 결과로서, 생리학(Physiological), 정신물리학(Psychophysical), 인체역학(Biomechanical)등 다양한 연구 분야의 결과를 종합하여 설정하였다.

8.2 1981 NIOSH 들기 식(Lifting Equation)

1981년 NIOSH 들기식은 다음과 같이 계산된다.

$$AL = 40(\text{kg}) * (15/H) * \{1 - (0.004|V - 75|)\} * \{0.7 + (7.5/D)\} * \{(1 - (F/F_{\text{max}}))\}$$

- H (horizontal distance): 들기 시작 시점에서 손과 발목의 수평 거리
- V (vertical distance) : 들기 시작 시점에서 바닥과 손의 수직 거리
- D (vertical travel distance) : 들기 시작 시점과 끝나는 시점의 수직 이동 거리
- F (frequency of lifting) : 분당 들기 작업의 빈도수
- Fmax : 최대 들기작업 빈도수 : 수직거리와 작업 시간에 따라 결정

Lifting duration (hours)	V>75 cm (standing)	V<75cm(stooped)
1시간 이하	18	15
8시간 이하	15	12

AL (action limit)은 안전작업 무게로서 다음기준에 의해 설정되었다.

- (1) 역학적 조사 : 이 작업 조건에 종사한 사람과 근골격계질환의 발생이 연관됨
- (2) 생체역학적 기준 : L5/S1 디스크에 350Kg (3500 N)의 생체역학적 부하가 걸리고 대부분의 젊고 건강한 작업자는 견딜 수 있음
- (3) 생리학적 기준 : 대사율(metabolic rates)이 3.5Kcal/min을 넘지 않음

(4) 심물리학적 기준 : 여자의 75% 이상과 남자의 99% 이상이 수행 가능

MPL (maximum permissible limit)은 AL의 3배로서 최대 허용 무게로서 다음 기준을 가진다.

(1) MPL 이상의 조건에서 작업하게 되면 근골격계질환의 발생이 증가함

(2) 생체역학 : L5/S1 디스크에 650Kg (6500 N)의 생체역학적 부하가 걸리고, 대부분의 작업자가 견딜 수 없음

(3) 생리학 : 대사율 (metabolic rates)이 5.0 Kcal/min을 넘음

(4) 심물리학적 : 남자 25%, 여자 1% 만 작업 가능

분석결과 작업 개선은 AL과 MPL사이의 작업은 관리적 기법(administrative approach)을 적용하고, MPL 이상의 작업은 공학적 기법(engineering approach)을 적용하여 반드시 MPL 이하로 낮추어야 한다. 두 손의 대칭형 들기작업, 제한 조건이 없는(unrestricted) 들기 자세, 좋은 커플링(손잡이) 상태, 쾌적한 주위환경 등의 조건에서 적용 가능하다.

8.3 Revised NIOSH Lifting Equations

1991년에 개정된 NIOSH(미국국립산업안전보건연구원) 들기 작업 지침을 적용하여 만든 프로그램으로 들기 작업 공식은 다음과 같다.

$$RWL(Kg) = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

LI = 실제 작업 무게 / 권장 무게 한계 (RWL)

Items		계수 구하는 법	
		Metric	U.S. Customary
LC	Load constant	23 kg	51 lb
HM	수평 계수 (Horizontal Multiplier)	25/H	10/H
VM	수직 계수 (Vertical Multiplier)	$1 - (0.003 V - 75)$	$1 - (0.0075 V - 30)$
DM	거리 계수 (Distance Multiplier)	$0.82 + (4.5/D)$	$0.82 + (1.8/D)$
AM	비대칭 계수 (Asymmetric Multiplier)	$1 - (0.0032A)$	$1 - (0.0032A)$
FM	빈도 계수 (Frequency Multiplier)	표 참조	표 참조
CM	커플링 계수 (Coupling Multiplier)	표 참조	표 참조

권장무게한계 (RWL : Recommended Weight Limit)는 건강한 작업자가 특정한 들기작업에서 실제 작업시간 동안 허리에 무리를 주지 않고 요통의 위험 없이 들 수 있는 무게의 한계이다.

들기 지수 (LI : Lifting Index)는 실제 작업물의 무게와 RWL의 비(ratio)로서, 특정 작업에서의 육체적 스트레스의 상대적인 양이다. LI가 1.0보다 크면 작업 부하가 권장치 보다 크다고 판단한다.

23Kg은 최적의 환경에서 들기작업을 할 때의 최대 허용무게로서 최적의 환경이란 (1) 허리의 비틀림 없이 정면에서 (2) 들기작업을 가끔씩 할 때(F<0.2), (3) 작업물이 작업자 몸 가까

이 있으며(H=25cm), (4) 수직위치(V)는 75cm, (5) 작업자가 물체를 옮기는 거리의 수직이동거리(D)가 25cm이하이며, (6) 커플링이 좋은 상태이다.

6개 계수들은 모두 0~1 사이의 값으로서 각 요인이 권장 무게 한계 값에 미치는 영향을 알 수 있음

작업 변수와 용어 정의는 다음과 같다.

▶ 수평위치 (H: Horizontal Location) : 두 발 안쪽 복사뼈 사이의 중점에서 손까지의 수평 거리(cm)

▶ 수직위치 (V: Vertical Location) : 바닥에서 손까지의 수직 거리(cm)

▶ 수직이동거리 (D: Vertical Travel Distance) : 수직으로 이동한 거리(cm)

▶ 비대칭 각도 (A: Asymmetry Angle) : 정면에서 비틀린 정도를 나타내는 각도

정중면과 비대칭 평면 사이의 각도

- 주의 : 비대칭각 A는 중량물의 위치를 가리키는 값, 실제 몸의 비틀기 양이 아님.

▶ 들기 빈도 (F: Lifting Frequency) : 평균적인 분당 들기 횟수(회/분) (최소 15분 평균)

(1) 수평 계수 (Horizontal Multiplier)

수평계수 구하는 식은 $HM = 25\text{cm}/H$ 이다. 여기에서 다음 사항에 주의한다.

▶ $H < 25\text{cm}$: $HM = 0$ or 1 , $H > 63\text{ cm}$: $HM = 0$ or 1

25cm(10인치) : 작업자가 물체를 몸에 가장 가깝게 할 수 있는 최소 수평거리

63cm(25인치) : 체구가 작은 사람이 물체를 최대한 멀리 잡고 들 수 있는 수평거리

주의 사항

한 발로 지탱하는 자세의 경우 무게를 지탱하는 발로부터의 거리를 사용하고, 테이블 옆에서 손을 뺀 물체를 몸쪽으로 당긴 후 들기 시작하는 경우, 수직 이동하는 시점에서 측정해야 한다. 그렇지 않으면 과대 평가(overestimates)하게 된다.

H를 측정하기 어려운 경우, 다음 추정식을 사용한다.

$$H=20+W/2 \quad \text{if } V \geq 25\text{cm}$$

$$H=25+W/2 \quad \text{if } V < 25\text{cm}$$

(2) 수직 계수 (Vertical Multiplier)

수직 계수 구하는 공식은 $VM = 1 - (0.003|V-75|)$ 이다. 역학적인 분석에서 요추에 걸리는 스트레스는 물체를 바닥에서 들 때 크다. 그리고, 75cm 이상인 높이에서 물건을 들 때에는 다시 심물리적 부하(Psychophysical Stress)가 증가한다. 다음 사항에 주의한다.

▶ $H > 175\text{ cm}$: $HM = 0$ or 1

(3) 거리 계수 (Distance Multiplier)

거리계수 구하는 공식은 $DM = 0.82 + (4.5/D)$ 이다. 다음 사항에 주의한다.

▶ $D < 25\text{cm}$: $DM = 0$ or 1 , $D > 175\text{ cm}$: $DM = 0$ or 1

(4) 비대칭 계수 (Asymmetric Multiplier)

비대칭 계수 구하는 공식은 $AM = 1 - 0.0032A$ 이다. 다음 사항에 주의한다.

▶ $A > 135\text{ 도}$: $AM = 0$ or 1

(5) 빈도 계수 (Frequency Multiplier)

빈도 계수는 분당 물체를 드는 횟수에 따라 표에서 찾는다. 빈도 계수를 결정하는 변수는 들기 빈도(F), 들기 작업 기간, 수직 위치 (V)이다.

빈도 계수

빈도수 (회/분)	작업기간					
	1시간 이하		2시간 이하		8시간 이하	
	V < 75	V > 75	V < 75	V > 75	V < 75	V > 75
0.2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15이상	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

작업 기간 (lifting duration)은 3가지로 분류한다. 연속적 작업 시간(WT)과 회복 시간(RT, 예: 가벼운 일)에 의해 결정되며, 가벼운 일이란 앉아서 활동, 모니터링, 가벼운 조립 작업 등이다.

1) short duration : 들기 작업 기간이 1 시간 이하 작업을 하고, 회복 시간이 작업 기간의 1배 이상인 경우.

예) 45분 들기 작업, 45분 이상의 회복 기간 -> short duration

- 주의 : 만약 회복 기간이 작업 기간보다 짧은 경우 이후 들기 작업 시간과 합산하여 작업 기간으로 함.

예) 30분 들기 작업, 10분 휴식, 45분 들기 작업 : 작업 시간은 75분

- 15분 동안 들기 빈도를 측정할 때, 8분 들기, 7분 휴식이 있고, 8분 들기 작업시 분당 10회 들기가 있다면 $F = (10 \times 8) / 15 = 5.33$ 회/분

- 만약 분당 10회 들기 작업을 15분 이상 연속적으로 한다면

$F = 10$ 회/분

2) Moderate duration : 1시간 초과 ~ 2시간 이하 들기 작업을 하고, 이 후에 휴식 시간이 작업 시간의 0.3 배 이상인 작업

예) 2시간 작업 후 36분 이상 휴식 : moderate duration

예) 1시간 30분 들기 작업 -> 10분 휴식 -> 1시간 들기 작업 : long

3) long duration : 들기 작업이 연속적으로 2시간 초과, 8시간 이하인 경우 (표준 산업 휴식 여유 포함 : 아침, 점심, 오후 휴식시간)

주의) 8시간 초과 작업에서는 적용 불가능

(6) 커플링 계수 (Coupling Multiplier)

커플링은 물체를 들 때에 미끄러지거나 떨어뜨리지 않도록 손잡이 등이 좋은지를 권장 무게 한계에 반영한 것으로, ‘ 좋음’, ‘보통’, ‘나쁨’ 3가지로 구분하다.

GOOD	FAIR	POOR
(1) 최적 디자인의 상자이며 ^(a) , 잘 디자인된 핸들 ^(b) 이나, 손으로 들수 있게 잘려나간 부분(hand-hold cut-out) ^(c) 이 있는 경우.	(1) 최적 디자인의 상자이지만, 핸들이나 hand-hold cut-out 부분이 최적으로 디자인 되지 않은 경우.	(1) 상자가 최적 디자인이 아니거나, 포장되지 않고 부정형의 물체이면서 부피가 커(bulky) 잡기가 어려운 경우 or 다루기 어려울 경우 or 끝 부분이 날카로운 경우.
(2)부품(loose parts), 부정형의 물체(irregular objects: 주물의 캐스팅, 재료 등)이지만, 손이 물체를 쉽게 감싸서 편안하게 잡기가 가능 ^(d)	(2) 상자에 손잡이나 hand-hold cut-out이 없거나, 포장되지 않은 부품, 부정형의 물체이지만, 손가락을 약 90도 정도 구부려 잡을 수 있는 경우.	(2) 단단하지 않은 백을 드는 경우(non-rigid bag, 백의 가운데가 들면 꺼지는 경우)

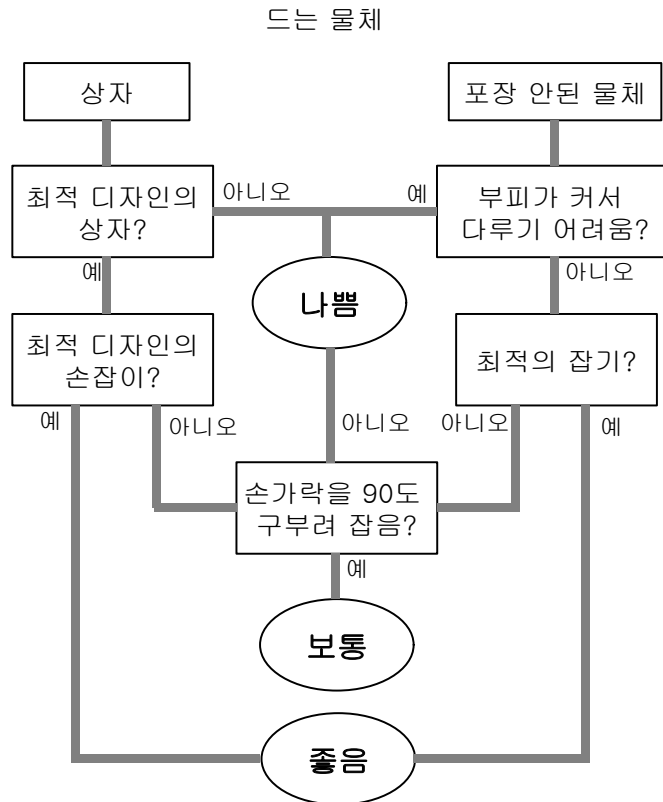
(a) 최적 디자인의 상자: 앞부분 길이(frontal length) <40cm, 높이<30cm, 부드럽고 미끄럽지 않은 표면. 가장자리가 날카롭지 않음. 무게중심이 중앙에 위치, 내용물이 안정됨. 장갑이 필요 없음.

(b) 핸들의 최적 디자인: 지름이 1.9-3.8 cm, 길이>11.5cm, 여유 공간: 5cm, 원형. 부드럽고 미끄럽지 않은 표면

(c) 최적의 hand-hold cut-out 디자인: 높이>3.8cm, 길이:11.5cm, 타원형 모양(semi-oval shape), 여유공간: 5cm, 부드럽고 미끄럽지 않은 표면. 상자 두께>0.60cm

(d) 작업자는 물체를 편안하게 잡을 수 있어야 하며, 손목이 과도하게 꺾이지 않고, 불편한 자세가 되지 않고, 너무 과도한 힘이 요구되지 않아야함.

Decision Tree for Coupling Quality



<그림 8.1> 커플링 결정 의사결정 트리

커플링 상태가 결정되면, 수직거리를 고려하여 다음 표에서 커플링 계수를 찾는다.

커플링 계수

커플링 상태	수직거리(V)	
	75cm 미만	75cm 이상
좋다	1.00	1.00
괜찮다	0.95	1.00
나쁘다	0.90	0.90

8.4 들기작업 분석 절차

들기 작업 분석은 2가지 작업 특성을 고려하여야 한다.

1) 작업의 복잡성

작업이 단일 들기작업(single-task manual lifting job)인지, 복합 들기작업(mult-task manual lifting job)인지에 따라 분석 절차가 달라진다. 단일 들기작업은 들기작업 수행시 매번 작업변수가 큰 차이가 없다든지, 여러 작업 중 한 작업에 대해서만 (가령 가장 힘든 작업) 대표로 분석을 수행하는 경우이고, 복합 들기작업은 여러 작업의 작업변수가 큰 차이를 보이는 경우이다. 각 작업마다 분석을 각각 해야 하기 때문에 상대적으로 단일 들기작업보다 분석절차가

복잡해진다. 예를 들어 컨베이어 벨트에서 완성품 상자를 내려 팔레트에 5단으로 쌓는 작업의 경우 시작점은 매번 같지만, 종점의 높이는 상자가 쌓이는 단계에 따라 달라진다. 5단까지 쌓을 경우 이 작업은 5개의 단순 들기작업으로 이루어진 복합 들기작업이라고 할 수 있다.

2) 작업의 미세 조절 (significant control) 여부

들기작업시 작업물이나 작업장의 특성에 따라 작업물을 종점에 내려놓을 때 작업물에 대한 조절을 신경써야 하는 경우에 미세조절이 발생된다. 예를 들어 깨지기 쉬운 무거운 작업물, 혹은 작업장이 좁아 작업물을 놓는 위치가 매우 제한적인 작업의 경우 미세조절이 발생하며, (1) 작업자가 종점 가까이 에서 작업물을 다시 잡으며(re-grasp), (2) 작업자가 작업물을 종점에서 순간적으로 작업물을 들고 있으며(hold), (3) 작업자가 작업물을 종점의 정해진 위치에 놓기 위해 조절(position)이 일어난다.

종점에서 미세조절이 없는 경우에는 RWL, LI를 시점에서만 계산하면 되고, 종점에서 미세 조절이 일어나는 경우에는 RWL, LI를 시점과 종점에서 각각 계산하여 이중에서 부하가 더 큰 것을 사용한다.

NIOSH 들기 식은 다음과 같은 작업에서는 적용 불가능하다.

- (1) 한 손으로 물건을 취급하는 경우
- (2) 8시간 이상 물건을 같은 자세로 작업을 계속하는 경우
- (3) 앉거나 무릎을 굽힌 자세로 작업을 하는 경우
- (4) 작업 공간이 제약된 경우
- (5) 밸런스가 맞지 않는 물건을 취급하는 경우
- (6) 운반이나 밀거나 끌거나 하는 것 같은 작업에서의 중량물 취급
- (7) 빠른 속도로 중량물을 취급하는 경우(약 75 cm/초를 넘어가는 것)
- (8) 바닥면이 좋지 않은 경우(지면과의 마찰 계수가 0.4미만의 경우)
- (9) 온도/습도 환경이 나쁜 경우(온도 19~26도, 습도 30~50% 의 범위에 속하지 않는 경우)

8.5 단일 들기 작업 분석

단일 들기 작업은 다음 순서로 분석을 수행한다.

- (1) 작업변수 기록, 계수(HM, VM, DM, AM, CM, FM) 결정
- (2) RWL 및 LI 계산
- (3) 종점에서 미세 조절이 없는 경우 : 시작점에서만 RWL과 LI를 계산
- (4) 종점에서 미세 조절이 있는 경우 : 시작점과 종점에서 각각 RWL, LI를 구함. LI시작점, LI종점 중 큰 값을 해당 작업의 LI로 함.

작업분석표

부서명		작업설명	
작업명			
분석자명			
분석날짜			

순서1. 작업변수들을 측정하고 기록한다.

작업물무게 (kg)		손의 위치(cm)				수직거리(cm)	비대칭각도(°)		작업빈도수 횟수/분	작업시간 시간	커플링 C
		시점		종점			시점	종점			
L(평균)	L(최대값)	H	V	H	V	D	A	A	F		

순서2. 작업변수들을 이용하여 RWL(권장무게한계)을 계산한다.

	LC	×	HM	×	VM	×	DM	×	AM	×	FM	×	CM	=	RWL
시점	23														kg
종점	23														kg

순서3. LI(들기지수)를 계산한다.

시점 $LI = \frac{L}{RWL} = \frac{\quad}{\quad} = \boxed{\quad}$

종점 $LI = \frac{L}{RWL} = \frac{\quad}{\quad} = \boxed{\quad}$

<그림 8.2 > 단일 들기 작업 분석 표

8.6 복합들기 작업 분석 절차

복합들기 작업 분석은 다음 절차를 따라 진행한다.

- (1) 작업변수 측정 및 계수들(HM, VM, DM, AM, CM, FM)을 결정
- (2) FIRWL (빈도수를 고려하지 않은 권장무게한계, Frequency-Independent Recommended Weight Limit): 권장무게한계(RWL)의 계산식에서 빈도수 계수를 제외한 나머지 계수들의 곱 (FIRWL=LC*HM*VM*DM*AM*CM)

(3) STRWL (단위작업 권장하중한계, Single-Task Recommended Weight Limit): 각 하위 작업들을 개별 들기작업으로 가정하고, RWL 계산식을 적용해 구한 값

(4) FILI (Frequency-Independent Lifting Index) = L / FIRWL.

(5) STLI (Single-Task Lifting Index) = L / STRWL.

(6) 새로운 작업번호 부여 : STLI를 기준으로 내림차순으로 순서 매김

- 종점에서 미세조절이 있는 경우에는 시작점과 종점에 대해 위의 값들을 모두 구한 후, 새로운 작업번호 부여시에 두 STLI 중 큰 값에 번호를 부여하고, 작은 경우에는 더 이상 진행하지 않음.

(7) 복합 들기지수(Composite Lifting Index: CLI) 계산

$$CLI = STLI1 + \sum \Delta LI$$

$$\sum \Delta LI = (FILI2 \times (1/FM1,2 - 1/FM1))$$

$$+ (FILI3 \times (1/FM1,2,3 - 1/FM1,2)) + \dots$$

$$+ (FILIn \times (1/FM1,2,\dots,n - 1/FM1,2,\dots,n-1))$$

FIL1, FIL2, ..., FILn : 새로 부여된 번호에 의한 FIL

FM1,2, FM1,2,3, FM1,2,...,n-1 : 새로 부여된 번호에 의한 누적빈도수 계수, 즉 FM1,2,3의 경우에 1, 2, 3번 작업의 빈도수를 합한 것에 대한 빈도수 계수 FM

순서1. 작업변수들을 측정하고 기록한다.

작업번호 (No.)	작업물무게(kg)		손외 위치(cm)				수직거리 (cm)	비대칭 각도(°)		작업빈도수 횟수/분	작업시간 시간	커플링 C
			시점		중점			시점	중점			
	L(평균)	L(최대값)	H	V	H	V	D	A	A	F		

순서2. 각 작업에서 하위작업과 FIRWL, STRWL, STRWL, FIL, STLI 등을 계산한다.

작업번호 (No.)	LC × HM × VM × DM × AM × CM						FIRWL × FM		STRWL	FIL= L/FIRWL	STLI= L/STRWL	새작업번호 (New No.)	F
	23												
	23												
	23												
	23												
	23												

순서3. CLI를 계산한다

CLI	=	STL ₁	+	ΔFIL ₂	+	ΔFIL ₃	+	ΔFIL ₄	+	ΔFIL ₅
				FIL ₂ (1/FM _{1,2} - 1/FM ₁)		FIL ₃ (1/FM _{1,2,3} - 1/FM _{1,2})		FIL ₄ (1/FM _{1,2,3,4} - 1/FM _{1,2,3})		FIL ₅ (1/FM _{1,2,3,4,5} - 1/FM _{1,2,3,4})
CLI=										

<그림 8.3> 복합 들기 작업 분석 표