

## 구조방정식 모형을 활용한 당화혈색소 기반 당뇨병 예측모델: 취업성인 대상

서혜경\*

신한대학교 보건대학

### HbA1c-Based Structural Equation Model for Diabetes Risk Prediction in Employed Adults

Hyekyung Seo\*

*The College of Biotechnology and Health, Shinhan University*

#### ABSTRACT

**Objectives:** Occupational factors contribute to diabetes risk through biological and behavioral pathways related to work schedules, job characteristics, and labor intensity. This study aimed to develop an HbA1c-centered diabetes prediction model using structural equation modeling (SEM) and then elucidate pathways through which occupational factors influence diabetes risk via lifestyle behaviors and obesity-related indicators.

**Methods:** Data were obtained from the 9th Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES, 2022-2024). It features 20,191 participants, of whom 8,829 adults were included in the final analysis. This cross-sectional study applied SEM to evaluate factors associated with glycemic indicators while controlling for confounders. Direct and indirect pathways linking demographic characteristics, lifestyle behaviors, metabolic indicators, and occupational factors to body mass index (BMI), systolic blood pressure, glycosylated hemoglobin (HbA1c), and fasting blood glucose were examined.

**Results:** Distinct pathway structures were identified for HbA1c and fasting blood glucose. HbA1c was mainly influenced by chronic metabolic pathways mediated by BMI, whereas fasting glucose showed stronger direct associations with systolic blood pressure and lifestyle-related factors. Weekly work hours were significantly associated with BMI and showed a small but significant direct association with HbA1c, whereas the direct path to fasting glucose was not significant. In adjusted complex-sample logistic regression models, weekly work hours were not independently associated with diabetes, suggesting that the overall association may be largely explained by obesity-mediated and other covariate-related pathways.

**Conclusions:** This study suggests that HbA1c may more stably reflect the cumulative metabolic effects of chronic occupational exposures than does fasting glucose. These findings support the use of HbA1c as a key biomarker for assessing occupation-related diabetes risk and highlight obesity-mediated pathways as targets for occupational health-based diabetes prevention strategies.


**Key words:** HbA1c, fasting blood glucose, working hours, path analysis, KNHANES

## I. 서 론

당뇨병은 전 세계적으로 유병률이 지속적으로 증가하

고 있는 대표적인 만성질환으로, 개인의 건강수준 저하뿐만 아니라 사회·경제적 부담을 가중시키는 주요 공중보건 문제로 인식되고 있다(World Health Organization,

\*Corresponding author: Hyekyung Seo, Tel: 010-3955-5229, E-mail: seohk65@hanmail.net  
The College of Biotechnology and Health, Shinhan University, 95 Hoam-ro, Uijeongbu-city, Gyeonggi-do11644, Republic of Korea  
Received: February 9, 2026 Revised: March 21, 2026, Accepted: March 24, 2026

 Hyekyung Seo <http://orcid.org/0000-0002-5615-8523>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2024). 특히 제2형 당뇨병은 생활습관, 환경적 요인, 사회경제적 조건이 복합적으로 작용하여 발생하는 질환으로, 단순한 개인의 건강행태를 넘어 직업적 특성과 노동환경을 포함한 구조적 요인의 영향이 강조되고 있다 (Hu et al., 2011; Stringhini et al., 2017). 이러한 맥락에서 직업 관련 요인을 고려한 당뇨병 발생 메커니즘을 규명하는 것은 예방 전략 수립과 고위험군 선별에 있어 중요한 의미를 지닌다.

직업은 개인의 일상생활 리듬, 신체활동 수준, 식습관, 수면 패턴, 스트레스 노출 정도를 좌우하는 중요한 사회적 요인 중 하나이다. 교대근무, 야간근무, 장시간 노동과 같은 비정형적 근무 형태는 생체리듬 교란과 호르몬 불균형을 초래하여 인슐린 저항성을 증가시키는 것으로 보고되어 왔다 (Pan et al., 2011; Gan et al., 2015). 이외 신체활동이 제한적인 직업군에서는 비만과 대사이상 위험이 상대적으로 높으며, 육체노동 중심의 직업군에서도 과도한 작업 강도, 직무 스트레스, 불규칙한 식사로 인한 대사 건강이 저해될 수 있다. 특히 사무·관리직과 같은 비육체 노동 중심 직종은 낮은 신체활동 수준과 장시간 좌식 노동으로 인해 비만 및 대사증후군 위험이 증가하는 반면, 단순 육체노동 직종에서는 과도한 작업 강도, 직무 불안정성, 산업 스트레스 노출이 만성 염증 반응과 대사 이상을 유발할 수 있음이 보고되었다 (Kivimäki et al., 2015). 서비스직 및 판매직과 같이 감정노동이 수반되는 직종에서는 스트레스 호르몬 분비 증가를 통해 혈당 조절 기능이 저하될 가능성이 제기되고 있다 (Beziaud, 2004).

근무 형태, 직종 특성, 노동 강도에 따라 상이한 생물학적·행태적 경로를 통해 당뇨병 발생 위험에 기여한다. 교대근무 및 야간근무는 생체시계(circadian rhythm)의 교란을 유발하여 포도당 대사 이상과 인슐린 저항성을 증가시키는 주요 위험요인으로 보고되어 왔다 (Gan et al., 2015). 선행연구에 따르면 장기간 교대근무에 노출된 근로자는 주간 근무자에 비해 제2형 당뇨병 발생 위험이 유의하게 높았으며, 이러한 연관성은 근무기간이 길어질수록 강화되는 경향을 보였다 (Pan et al., 2011).

이러한 직업적 특성은 연령, 성별, 사회경제적 지위, 건강행태, 비만 지표, 혈당 관련 생화학적 지표와도 상호 연관되어 있으며, 이들 요인은 직접효과와 간접효과를 통해 복합적으로 작용한다. 그러므로 직종 분류는 당뇨병 위험을 설명하는 핵심 변수이다. 육체 노동 여부 또한 당뇨

병 발생 경로를 이해하는데 중요한 기준이다. 일반적으로 육체 노동은 신체활동 증가를 통해 혈당 조절에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으나, 실제 산업 현장에서는 불규칙한 근무 시간, 영양 불균형, 회복 부족 등이 동반되어 보호 효과가 상쇄되는 경우도 많다 (Steptoe & Kivimäki, 2012). 이에 따라 육체·비육체 노동의 구분은 단순 이분법적 해석보다는, 직업 스트레스와 생활습관 요인을 매개로 한 구조적 접근이 필요하다.

따라서 직업과 당뇨병 간의 관계를 보다 정교하게 이해하기 위해서는 다수의 관측변수와 잠재변수 간 인과 경로를 동시에 고려할 수 있는 분석 방법이 요구된다. 구조방정식 모형(structural equation modeling, SEM)은 복수의 변수 간 직접 및 간접 효과를 동시에 추정할 수 있는 통계 기법으로, 복잡한 질병 발생 경로 간 인과관계를 설명할 수 있는 분석법이다 (Urrestarazu, 2016; Kline, 2023). 구조방정식 모형을 활용할 경우 직업 관련 요인이 생활습관, 비만 지표, 당화혈색소(hemoglobin A1c, HbA1c)를 매개로 당뇨병 발생으로 이어지는 경로를 체계적으로 분석할 수 있으며, 단순 회귀분석으로는 확인하기 어려운 잠재적 구조를 검증할 수 있다. 이는 직업과 당뇨병 간의 연관성을 단편적 연관성 수준이 아닌, 구조적 인과 관계의 관점에서 해석할 수 있다 (Tripathy et al., 2018; Cao et al., 2020).

국민건강영양조사(Korea National Health and Nutrition Examination Survey, KNHANES)는 대표성 있는 표본을 기반으로 건강설문, 검진, 영양조사를 통합적으로 수행하는 국가 단위 조사로서, 직업 특성과 대사 질환 간의 연관성을 분석하는 데 적합한 자료원이다. KNHANES는 직업 분류, 근무 형태, 근로 시간과 같은 직업 관련 변수뿐만 아니라 당화혈색소, 공복혈당(fasting blood glucose, FBG), 체질량지수(body mass index, BMI), 허리둘레 등 당뇨병 관련 핵심 생화학적·신체계측 지표를 동시에 제공한다. 이중 당화혈색소는 최근 수개월간의 평균 혈당 수준을 반영하는 지표로서, 공복혈당이나 식후혈당(postprandial blood glucose, PBG)에 비해 일시적 변동의 영향을 덜 받으며 당뇨병 진단과 장기적 합병증 위험 예측에 유용한 지표로 활용되고 있다 (American Diabetes Association, 2024). 특히 직업적 요인과 같이 만성적이고 누적적인 노출 특성은 당화혈색소와 같은 장기 혈당 지표를 통해 보다 적절하게 반영될 수 있다. 이에 따라 당화혈색소를 중심으로 한 당뇨병 예측 모형은 직업 환경과 대사 이상

간의 연관성을 규명하는 데 있어 방법론적 타당성을 지닌다.

기존 KNHANES 기반 연구들은 주로 로지스틱 회귀 분석을 활용하여 특정 직업군과 당뇨병 유병 여부 간의 연관성을 제시하는 데 초점을 두어 왔다(Beak et al., 2019; Kim et al., 2019; KDCA, 2023). 그러나 이러한 분석은 직업이 생활습관과 비만 지표를 거쳐 당화혈색소 변화로 이어지는 간접 경로를 충분히 설명하지 못하는 한계를 지닌다. 따라서 KNHANES 자료에 구조방정식 모형을 적용함으로써, 직업 관련 요인이 당뇨병 발생에 이르는 다단계 경로를 통합적으로 검증할 필요성이 제기된다.

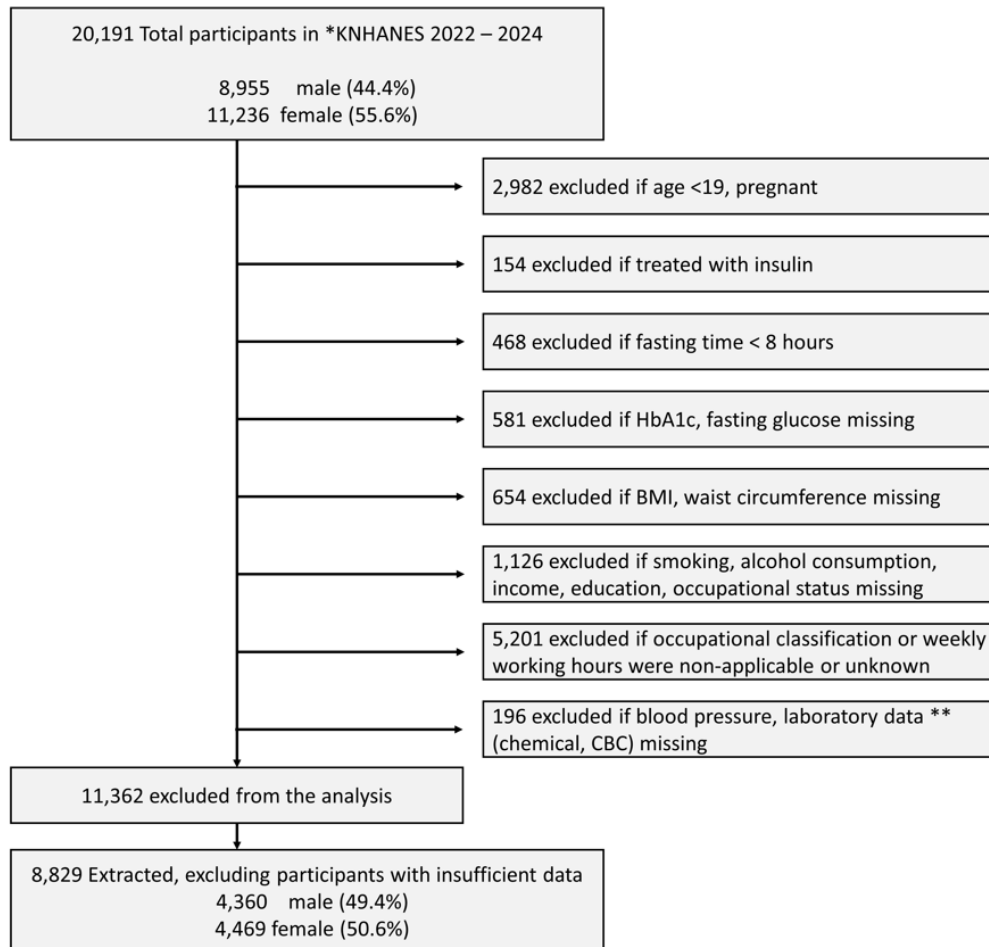
본 연구의 목적은 구조방정식 모형을 활용하여 당화

혈색소를 중심으로 한 당뇨병 예측모델을 구축하고, 직업 관련 요인이 생활습관 및 비만 지표를 매개로 당뇨병 발생에 미치는 경로를 규명하고자 한다. 이를 통해 직업 특성을 고려한 당뇨병 예방 및 관리 전략 수립을 위한 과학적 근거를 제공하고, 산업보건 분야에서의 바이오마커 활용 가능성을 제시하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자(Study population)

본 연구는 2022-2024년 제9기 KNHANES 참여자 총 20,191명을 대상으로 하였다(Figure 1). 만 19세 미만 또는 임신부, 인슐린 치료자, 공복시간 8시간 미만



\* Korean National Health and Nutrition Survey

\*\* cholesterol, HDL-cholesterol, TG, LDL-cholesterol, AST(SGOT), ALT(SGPT), hemoglobin, Hematocrit, BUN, Creatinine(blood), WBC, RBC, PLT

Figure 1. Flowchart of the selection of the study populations

자, 주요 대사 및 생활습관 변수 결측자, 혈압 및 혈액 검사 결측자, 그리고 직업분류 또는 주당 평균 근로시간이 비해당이거나 모름/무응답인 대상자를 제외하였다. 최종적으로 8,829명(남성 4,360명, 여성 4,469명)을 분석에 포함하였다.

2. 연구설계(Study design)

본 연구는 질병관리청 KNHANES 누리집을 통해 공개된 제9기(2022-2024) 원시자료 및 원시자료 이용지침서를 활용한 2차 자료분석 연구이다. 연구설계는 성인 인구를 대상으로 혈당 지표 간의 관련요인을 평가하기 위한 단면연구(cross-sectional study)이다. 본 연구는 기관 연구윤리심의(SHIRB-202601-HR-284-02)를 받았다. 연구에 사용된 KNHANES는 우리나라 국민을 대표하는 국가 단위 조사로, 건강 설문, 신체계측, 임상 검사 및 영양조사를 포함한 복합표본 설계(complex sample design)에 기반하여 수집되었다. 이는 단순 무작위추출이 아닌 층화(stratification), 집락(cluster) 및 단계적 표본추출(multistage sampling)을 적용하여 표본을 구성하였고, 각 대상자의 추출확률을 고려하여 표

본가중치(sample weights)를 산출하였다. 설계 가중치와 분산 추정치 왜곡되지 않도록 분석 가중치(weight)가 적용된 데이터이다. 따라서 본 연구의 분석은 가중치와 설계 변수가 반영된 결과이므로 대한민국 성인 인구를 대표할 수 있다.

3. 공변량(Confounder)

당화혈색소는 단순한 단일시점의 혈당 지표가 아니라, 비만, 생활습관 및 대사 이상을 반영하여 당뇨병 상태를 누적적으로 나타내는 지표로 활용된다. 본 연구에서는 근무시간, 건강행태, 대사 지표와 혈당 관련 지표 간의 관계를 구조적으로 해석하기 위해 DAG(directed acyclic graph)를 활용하였다(Figure 2). 연령, 성별, 사회경제적 요인(소득, 교육 수준) 및 건강행태(흡연, 음주)는 근무시간과 혈당 관련 지표에 영향을 미치는 공통 원인으로 가정하여 교란변수(confounders)로 설정하였다. 한편, 체질량지수(BMI), 중성지방(triglycerides), 수축기 혈압(systolic blood pressure)은 근무시간과 혈당 관련 지표 사이에서 매개적 역할을 할 수 있는 변수로 고려하였다. 즉, 장시간 근무가 비만 및 대사 이상을

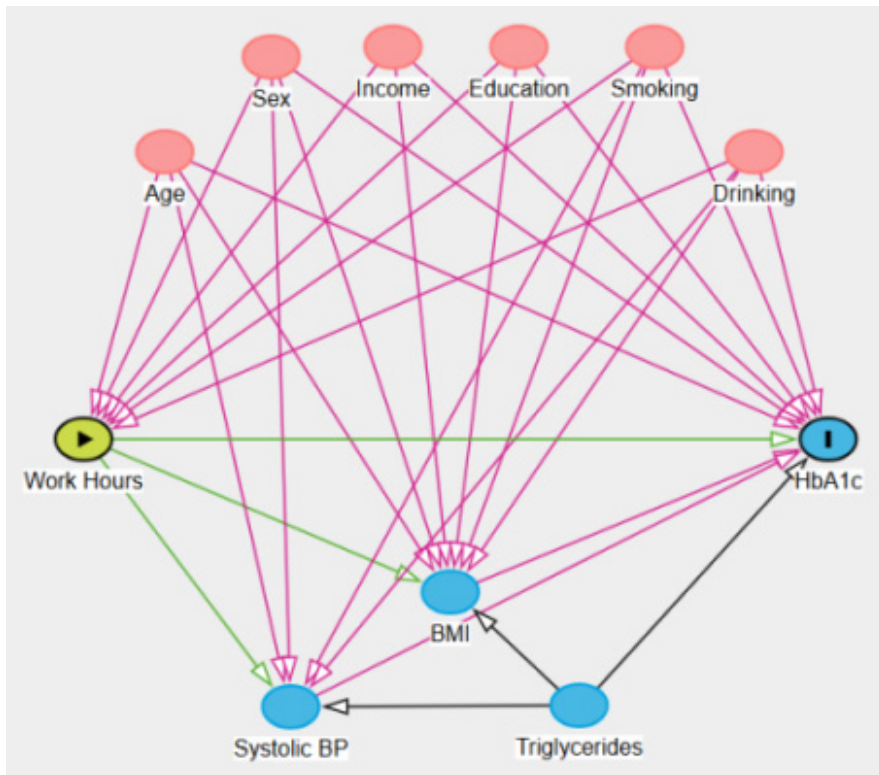


Figure 2. Directed acyclic graph(DAG) for variable selection

통해 혈당 관련 지표에 영향을 미치는 간접 경로를 형성하는지를 함께 평가하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 교란 효과를 통제하면서 관측변수 간 직접 및 간접 경로를 동시에 추정하는 경로분석(pathway analysis)들을 적용하였다.

#### 4. 자료분석

본 연구는 KNHANES에서 제공하는 층화변수(kstrata), 집락변수(psu), 가중치(weight)를 반영한 복합표본 설계하에 분석하였다. 당뇨병은 당화혈색소 6.5% 이상, 공복혈당 126 mg/dL 이상, 의사 진단 당뇨병, 또는 혈당 강하제 복용 중 하나에 해당하는 경우로 정의하였다. 주당 근무시간은 40시간 미만, 40-52시간, 52시간 초과로 범주화하였다. 직업분류 또는 주당 평균 근로시간이 비해당이거나 모름/무응답인 대상자는 분석에서 제외하였다. 대상자의 일반적 특성은 가중치를 적용한 기술통계로 제시하였으며, 연속형 변수는 평균과 표준오차로, 범주형 변수는 빈도와 가중 백분율로 요약하였다. 성별에 따른 범주형 변수의 비교는 Rao-Scott  $\chi^2$  검정을 이용하였고, 연속형 변수의 비교는 복합표본 일반선형모형(complex samples general linear model)을 적용하였다. 주당 근무시간과 당뇨병 간의 관련성은 단계적 보정모형을 적용한 복합표본 로지스틱 회귀분석으로 평가하였다. Model 1은 비보정모형, Model 2는 연령, 성별, 가구소득, 교육수준을 보정한 모형, Model 3은 Model 2에 흡연상태, 음주상태, 체질량지수, 수축기혈압, 중성지방을 추가로 보정한 모형으로 설정하였다. 구조방정식 분석은 잠재변수를 포함하지 않은 관측변수 기반 경로분석(path analysis)으로 수행하였으며, 연령, 성별, 교육수준, 소득, 흡연, 음주, 주당 근무시간, 중성지방, 체질량지수, 수축기혈압 간의 경로를 동시에 고려하여 당화혈색소와 공복혈당에 대한 직접 및 간접효과를 추정하였다. 기술통계 및 복합표본 회귀분석은 IBM SPSS Statistics 프로그램(Version 20.1, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였고, 구조방정식 기반 경로분석은 IBM SPSS Amos 프로그램(Version 31, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였다. 모형 적합도 평가는  $\chi^2$  검정, comparative fit index(CFI), Tucker-Lewis index(TLI), normed fit index(NFI), root mean square error of approximation(RMSEA), expected cross-validation index(ECVI)를 이용하였으며, 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 설정

하였다.

### III. 결 과

#### 1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1). 연구대상자는 총 8,829명이었으며, 이 중 남성은 4,360명(49.4%), 여성은 4,469명(50.6%)이다. 평균 연령은 50.11세였으며, 남성과 여성 간 연령 차이는 통계적으로 유의하였다( $p=0.045$ ). 체질량지수는 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다. 가구소득과 교육 수준을 포함한 사회경제적 요인에서도 성별에 따른 유의한 차이가 있었다. 직업 분포 역시 성별에 따라 유의한 차이를 보였다. 남성은 관리자, 농업 종사자, 기능직 및 기계 조작 종사자의 비율이 높았던 반면, 여성은 서비스·판매직, 단순노무직의 비율이 상대적으로 높았다. 이에 따라 근무시간 분포에서도 성별 차이가 나타났으며( $p < 0.001$ ), 주당 52시간을 초과하여 근무하는 비율은 남성(15.6%)이 여성(8.4%)보다 높았고, 주당 40시간 미만 근무자는 여성에서 더 높은 비율을 보였다. 건강행태 측면에서도 성별에 따른 유의한 차이가 확인되었다. 남성은 여성에 비해 음주 및 흡연 비율이 유의하게 높았다. 남성은 당화혈색소, 공복혈당, 수축기 및 이완기 혈압, 중성지방, 간효소(AST, ALT) 수치가 더 높았으며, 여성은 총콜레스테롤과 고밀도지단백 콜레스테롤 수치가 유의하게 높았다. 혈액학적 및 신장 기능 지표에서도 성별에 따른 유의한 차이가 있었다. 남성은 헤모글로빈, 헤마토크릿, 크레아티닌, 백혈구 수치, 적혈구 수치가 여성보다 높았으며, 혈소판 수치는 여성에서 유의하게 높았다.

#### 2. 구조방정식 모형에서 표준화된 직접효과

##### 1) 인구학적 요인에 대한 대사 지표 경로

인구학적 요인, 생활습관 요인, 대사 지표 및 직업 관련 요인이 체질량지수와 수축기혈압을 매개로 당화혈색소와 공복혈당에 미치는 경로를 구조방정식모형을 통해 분석한 결과는 다음과 같다(Table 2). 성별은 체질량지수와 수축기혈압에 유의한 직접효과를 보였다. 또한 공복혈당은 유의한 직접 효과를 보였다. 연령은 수축기혈압( $\beta=0.366$ ,  $p < 0.001$ ), 당화혈색소( $\beta=0.316$ ,  $p < 0.001$ ), 공복혈당( $\beta=0.234$ ,  $p < 0.001$ )에 모두 유의한 직접효과를 보였다. 즉, 연령이 증가할수록 당화혈색소와 공복혈당 모두 증가하였으며, 그 효과 크기는 당화혈색소에서

**Table 1.** General characteristics of subjects (n=8,829)

Classification	Total (%)	Male (%)	Female (%)	p-value
Sex, n (%)				
Male	4360 (49.4)	-	-	-
Female	4469 (50.6)	-	-	-
Age (yr)	50.11±0.16	50.44±0.23	49.78 ±0.23	0.045*
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.29±0.04	25.09±0.05	23.50 ±0.06	<0.001*
Household income, n (%)				<0.001*
Low	883 (10.0)	327 (7.5)	556 (12.4)	
Middle-low	2009 (22.8)	944 (21.7)	1065 (23.8)	
Middle-high	2757 (31.2)	1406 (32.2)	1351 (30.2)	
High	3180 (36.0)	1683 (38.6)	1497 (33.5)	
Education level, n (%)				<0.001*
Elementary school or lower	966 (10.9)	344 (7.9)	622 (13.9)	
Middle school	727 (8.2)	357 (8.2)	370 (8.3)	
High school	2935 (33.2)	1439 (33.0)	1496 (33.5)	
College or higher	4201 (47.6)	2220 (50.9)	1981 (44.3)	
Occupational classification, n (%)				<0.001*
Managers	167 (1.9)	138 (3.2)	29 (0.6)	
Professionals	2023 (22.9)	955 (21.9)	1068 (23.9)	
Clerks	1519 (17.2)	696 (16)	823 (18.4)	
Service workers	1195 (13.5)	294 (6.7)	901 (20.2)	
Sales workers	717 (8.1)	322 (7.4)	395 (8.8)	
Agriculture workers	486 (5.5)	304 (7)	182 (4.1)	
Craft/related trades	627 (7.1)	501 (11.5)	126 (2.8)	
Machine operators	705 (8.0)	615 (14.1)	90 (2.0)	
Elementary workers	1379 (15.6)	525 (12)	854 (19.1)	
Military	11 (0.1)	10 (0.2)	1 (0.0)	
Work hours, n (%)				<0.001*
<40 h/w	3930 (44.5)	1461 (33.5)	2469 (55.2)	
40-52 h/w	3844 (43.5)	2219 (50.9)	1625 (36.4)	
>52 h/w	1055 (11.9)	680 (15.6)	375 (8.4)	
Alcohol status, n (%)				<0.001*
Non-drinking	1895 (21.5)	660 (15.1)	1235 (27.6)	
<1 time/mo	1746 (19.8)	648 (14.9)	1098 (24.6)	
>1 time/mo	5188 (58.8)	3052 (70.0)	2136 (47.8)	
Smoking status, n (%)				<0.001*
Never	5219 (59.1)	1240 (28.4)	3979 (89.0)	
Former	2082 (23.6)	1808 (41.5)	274 (6.1)	
Current	1528 (17.3)	1312 (30.1)	216 (4.8)	
Systolic blood pressure (mmHg)	118.62±0.16	121.77±0.21	115.54±0.23	<0.001*
Diastolic blood pressure (mmHg)	75.04±0.10	77.47±0.15	72.67±0.14	<0.001*
HbA1c (%)	5.58±0.01	5.64±0.01	5.52±0.01	<0.001*
Fasting blood glucose (mg/dL)	100.19±0.22	103.49±0.33	96.97±0.26	<0.001*
Total cholesterol (mg/dL)	189.33±0.42	187.72±0.61	190.90±0.57	<0.001*
Triglycerides (mg/dL)	127.36±1.04	151.47±1.82	103.84±0.91	<0.001*
HDL cholesterol (mg/dL)	57.56±0.17	51.88±0.20	63.10±0.23	<0.001*
LDL cholesterol (mg/dL)	116.24±0.39	116.71±0.56	115.78±0.53	0.231
AST (U/L)	23.00±0.17	24.85±0.22	21.20±0.26	<0.001*
ALT (U/L)	22.95±0.23	27.69±0.32	18.32±0.32	<0.001*
Hemoglobin (g/dL)	13.97±0.02	14.97±0.02	13.00±0.02	<0.001*
Hematocrit (%)	42.21±0.04	44.80±0.05	39.69±0.04	<0.001*
White blood cell (Thous/uL)	6.11±0.02	6.46±0.03	5.77±0.02	<0.001*

**Table 1.** General characteristics of subjects (n=8,829) Continued

Classification	Total (%)	Male (%)	Female (%)	p-value
Red blood cell (Mil/uL)	4.62±0.01	4.90±0.01	4.34±0.01	<0.001*
Platelet (Thous/uL)	261.86±0.65	255.06±0.90	268.50±0.94	<0.001*
Blood urea nitrogen (mg/dL)	14.14±0.04	14.75±0.06	13.54±0.06	<0.001*
Creatinine (mg/dL)	0.81±0.00	0.93±0.00	0.69±0.00	<0.001*

Values are presented as mean ±S.E. or n (%). p-values were obtained using Rao-Scott  $\chi^2$  tests for categorical variables and complex samples general linear models for continuous variables; \*p<0.05;

Work hours were categorized as <40, 40-52, and >52 h/week. Participants with non-applicable or unknown occupational classification or weekly working hours were excluded from the analysis.

더 크게 나타났다.

2) 체질량지수 및 혈압 매개 경로

체질량지수는 수축기혈압( $\beta=0.273$ ,  $p<0.001$ ), 당화혈색소( $\beta=0.164$ ,  $p<0.001$ )와 공복혈당( $\beta=0.137$ ,  $p<0.001$ )

에 모두 유의한 직접효과를 보였다. 반면 수축기혈압은 공복혈당에는 유의한 직접효과를 보였으나( $\beta=0.084$ ,  $p<0.001$ ), 당화혈색소에 대한 직접효과는 유의하지 않았다( $\beta=0.016$ ,  $p=0.155$ ). 이는 비만도가 장기·단기 혈당 지표 모두에 직접 작용하는 핵심 매개 변수임을 보

**Table 2.** Standardized direct effects in the structural path model

Predictor	Outcome	$\beta$	p-value
Sex	Body mass index	-0.145	<0.001*
	Systolic BP	-0.146	<0.001*
	HbA1c	-0.004	0.765
	Fasting glucose	-0.052	<0.001*
Age	Body mass index	0.023	0.024*
	Systolic BP	0.366	<0.001*
	HbA1c	0.316	<0.001*
	Fasting glucose	0.234	<0.001*
Body mass index	Systolic BP	0.273	<0.001*
	HbA1c	0.164	<0.001*
	Fasting glucose	0.137	<0.001*
Systolic BP	HbA1c	0.016	0.155
	Fasting glucose	0.084	<0.001*
Education level	HbA1c	-0.028	0.027*
	Fasting glucose	0.002	0.854
Household income	HbA1c	0.01	0.363
	Fasting glucose	0.017	0.125
Smoking status	Systolic BP	-0.019	0.131
	HbA1c	0.043	<0.001*
	Fasting glucose	0.026	0.032*
Drinking status	Systolic BP	0.031	0.002*
	HbA1c	-0.047	<0.001*
	Fasting glucose	0.025	0.017*
Weekly work hours	Body mass index	0.043	<0.001*
	Systolic BP	-0.028	0.004*
	HbA1c	0.022	0.033*
	Fasting glucose	0.01	0.346
Triglycerides	Body mass index	0.227	<0.001*
	HbA1c	0.096	<0.001*
	Fasting glucose	0.141	<0.001*

Values are presented as standardized regression weights ( $\beta$ ) estimated from the structural equation model. BP, blood pressure; HbA1c, glycated hemoglobin.\*p<0.05.

여주며, 혈압 관련 경로는 공복혈당과는 직접적으로 연결되지만 당화혈색소와의 직접적 연관은 뚜렷하지 않음을 설명한다.

3) 생활습관 요인의 직접효과

흡연 상태는 수축기혈압에 직접효과를 보이지 않았으나, 당화혈색소와 공복혈당에는 모두 유의한 효과를 나타냈다. 특히 당화혈색소에 대한 효과 크기가 더 크게 나타나, 흡연이 장기적인 혈당 조절 악화와 더 밀접하게 연관됨을 보여준다. 음주 상태는 수축기혈압과 공복혈당에 양의 직접효과를 보인 반면, 당화혈색소에는 음의 직접효과를 보였다. 이는 음주가 단기 혈당 변동에는 부정적인 영향을 미치지만, 당화혈색소에는 그렇지 않았다.

4) 대사지표 및 직업 관련 요인 경로

중성지방은 체질량지수( $\beta=0.227, p<0.001$ ), 당화혈색소( $\beta=0.096, p<0.001$ )와 공복혈당( $\beta=0.141, p<0.001$ )에 모두 유의한 직접효과를 보였다. 주당 근무시간은 체질량지수, 당화혈색소에 직접효과를 보였으나, 공복혈당에 대한 직접 경로는 유의하지 않아, 직업 관련 요인의 영향은 비만도를 통한 간접 경로에 국한된다는 것

을 알 수 있다. 당화혈색소는 연령, 흡연, 체질량지수, 중성지방의 영향을 강하게 반영하는 장기 대사지표이며 공복혈당은 성별, 혈압, 음주, 중성지방 등 단기 생리·행태 요인에 더 민감한 지표이다.

3. 구조방정식 모형 경로 분석 결과

Figure 2는 변수 선택을 위한 DAG를 제시한 것이며, Figure 3은 최종 경로모형에 포함된 전체 변수 중 사회경제적 요인(교육수준, 소득), 생활습관 요인(흡연, 음주), 직업 요인(주당 근무시간) 관련 주요 경로를 요약하여 제시한 것이다. 실선은 통계적으로 유의한 경로를, 점선은 유의하지 않은 경로를 나타낸다.

1) 주요 교란변수 경로

주당 근무시간은 체질량지수와 수축기혈압 모두에 유의한 직접효과를 보였다. 이는 직업 관련 요인이 비만도뿐 아니라 혈압 경로를 통해서도 대사 지표에 영향을 줄 수 있는것으로 확인되었다. 음주는 수축기혈압의 직접 경로에서 유의한 효과를 보였으나, 흡연의 직접 경로는 유의하지 않았다. 교육수준과 가구소득은 체질량지수 및 수축기혈압으로의 직접 경로에서 대부분 유의하지 않았다.

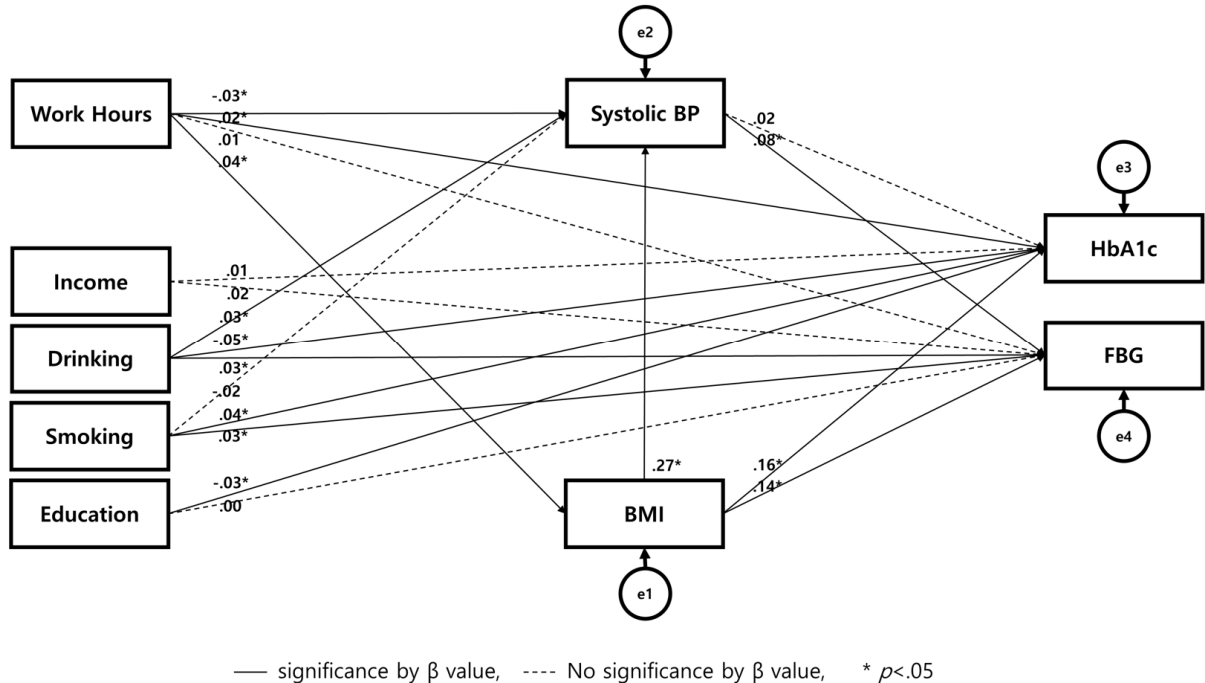


Figure 3. Structural path model of HbA1c and fasting blood glucose accounting for confounding and mediating variables

## 2) 핵심 매개변수 경로

체질량지수는 당화혈색소와 공복혈당 모두에 대해 유의한 직접효과를 보였으며, 수축기혈압에도 유의한 직접효과를 나타냈다. 이는 비만도가 장기·단기 혈당 지표 공통적으로 작용하는 핵심 매개 변수로 분석되었다. 반면 수축기 혈압은 공복혈당으로 유의한 효과를 보였지만( $\beta=0.08$ ,  $p<0.05$ ). 당화혈색소로의 경로는 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 결과는 체질량지수가 근무시간과 당화혈색소 간의 관계에서 핵심적인 매개 변수로 작용한 결과로 보인다. 본 구조방정식 모형은 근무시간이 공복혈당에 미치는 영향이 직접경로보다는 체질량지수를 중심으로 한 대사적 경로를 통해 간접적으로 전달되었다고 판단되며, 체질량지수가 공복혈당 변화의 주요 설명 변수임이 확인되었다. 이와 같은 경로 차이는 혈압 상승이 단기 혈당 변동에는 민감하게 반영되지만, 장기 혈당에는 직접적인 영향을 미치지 않는 구조적 특성을 보여준다.

## 3) 당화혈색소 및 공복혈당 경로

당화혈색소는 체질량지수를 중심으로 더 강하게 연결되어 있다( $\beta=0.16$ ,  $p<0.05$ ). 체질량지수에서 당화혈색소로의 경로는 유의하지만 혈압에서 당화혈색소로의 경로는 유의하지 않았다. 흡연은 당화혈색소와 공복혈당

모두에 유의한 직접효과를 보였으며, 그 효과 크기는 당화혈색소에서 더 크게 나타났다. 따라서 당화혈색소가 혈압 및 생활습관 요인의 직접경로에 더 민감하다고 일반화하기보다는, 두 지표가 서로 다른 생리적·행태적 경로를 반영하는 것으로 해석하는 것이 타당하다.

## 4. 주당 근무시간에 따른 당뇨병 발생 위험비

근무시간 기준(<40시간, 40-52시간, >52시간)을 세 집단으로 구분한 당화혈색소, 공복혈당 및 체질량지수 차이 비교는 다음과 같다(Table 3). 당화혈색소는 근무시간 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았으며( $p=0.288$ ), 공복혈당도 집단 간 유의한 차이가 없었다( $p=0.500$ ). 반면, 체질량지수는 근무시간이 증가함에 따라 유의하게 증가하는 경향을 보였다( $p<0.001$ ). 이는 근무시간이 당대사 지표에 즉각적인 직접 효과를 미치지보다, 체질량지수 증가를 통해 간접적인 영향을 보였다.

당뇨병 위험에 대한 근무시간과의 연관성을 평가하기 위해 단계적으로 보정한 복합표본 로지스틱 회귀 분석을 수행한 결과이다(Table 4). 비보정인 Model 1에서 40-52시간 근무군은 기준군 대비 당뇨병 위험이 유의하게 낮았다(OR=0.81, 95% CI: 0.70-0.94). 반면, 52시간 초과 근무군에서는 위험 증가가 관찰되었다(OR=1.08, 95% CI: 0.86-1.35). 전체 모형의 근무시

**Table 3.** Comparison of outcome variables by categories of work hours

Variables	< 40 h/w (Mean ± SE)	40-52 h/w (Mean ± SE)	> 52 h/w (Mean ± SE)	<i>p</i> -value*
HbA1c (%)	5.65 ± 0.02	5.54 ± 0.02	5.58 ± 0.02	0.288
Fasting glucose (mg/dL)	99.08 ± 0.45	98.70 ± 0.46	98.22 ± 0.67	0.500
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.29 ± 0.10	24.56 ± 0.10	24.85 ± 0.16	< 0.001*

Values are presented as adjusted estimated marginal means ± standard errors from the complex samples general linear model. Models were adjusted for age, sex, household income, education level, smoking status, drinking status, and triglycerides; BMI was excluded from adjustment in the BMI model. *p*-values represent the overall group differences across weekly working hour categories in the complex samples general linear model.

**Table 4.** Odds ratios (95% CI) for diabetes by weekly working hours

Variables	< 40 h/w	40-52 h/w [OR (95% CI)]	> 52 h/w [OR (95% CI)]	<i>p</i> -value*
Model 1	Reference	0.81 (0.70-0.94)	1.08 (0.86-1.35)	0.004*
Model 2	Reference	1.03 (0.87-1.22)	1.03 (0.80-1.31)	0.955
Model 3	Reference	1.01 (0.84-1.20)	0.93 (0.72-1.21)	0.823

Values are presented as odds ratios (ORs) and 95% confidence intervals (CIs) estimated using complex samples logistic regression. Model 1 was unadjusted. Model 2 was adjusted for age, sex, household income, and education level. Model 3 was additionally adjusted for smoking status, drinking status, triglycerides, and BMI. *p*-values were obtained from the overall effect of weekly working hours in the complex samples logistic regression model.

**Table 5.** Goodness-of-fit indices for the structural path model

Index	Default model value
$\chi^2(df)$	269.23 (df=7), $p<0.001$
$\chi^2/df$	38.462
Normed fit index (NFI)	0.990
Tucker-Lewis index (TLI)	0.908
Comparative fit index (CFI)	0.990
Root mean square error of approximation (RMSEA)	0.065
Expected cross-validation index (ECVI)	0.047
Hoelter critical N ( $\alpha=0.05$ )	462

The model demonstrates an acceptable level of fit (CFI, NFI  $\geq 0.90$ ; RMSEA=0.07) for the theoretical model, although it is not an excellent fit.

간 효과는 비보정 모델에서 유의하였다( $p=0.004$ ). 그러나 연령, 성별 및 사회경제적 요인을 보정한 Model 2에서는 근무시간과 당뇨병 위험 간 연관성이 소실되었다. 40-52시간 근무군(OR=1.03, 95% CI: 0.87-1.22)과 52시간 초과 근무군(OR=1.03, 95% CI: 0.80-1.31) 모두 기준군 대비 유의한 차이를 보이지 않았다. 생활습관 요인 및 대사 관련 변수를 추가로 보정한 Model 3에서도 근무시간과 당뇨병 위험 간 연관성은 관찰되지 않았으며 통계적으로 유의하지 않았다( $p=0.823$ ).

모든 보정 모형에서 근무시간과 당뇨병 위험 간의 독립적인 연관성이 보이지 않았다. 비보정 Model 1에서만 40-52시간 근무군의 당뇨병 위험이 기준군보다 낮게 나타났고, Model 2와 Model 3에서 연관성이 소실된 것은 근무시간 효과가 사회경제적 요인, 생활습관, 비만 및 대사 지표와 구조적으로 얽혀 있음을 보여준다. 경로모형에서 주당 근무시간은 체질량지수, 수축기혈압, 당화혈색소에 작은 직접효과를 보였으나 공복혈당에 대한 직접효과는 유의하지 않았다. 따라서 근무시간의 영향은 혈당 지표에 직접적으로만 작용하기보다, 비만과 혈압을 포함한 구조적 경로와 함께 해석될 필요가 있다.

#### 5. 구조방정식 모형에 대한 적합도 평가

구조방정식 모형의 적합도 평가 결과는 다음과 같다 (Table 5). 카이제곱 검정에서 모형은 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.001$ ). 그러나 카이제곱 통계량은 표본 크기에 민감한 특성을 가지므로, 적합도 지표를 함께 고려하여 모형의 적합성을 평가하였다. 상대적 적합도 지표인 normed Fit index(NFI)와 comparative fit index(CFI)는 각각 0.99로 나타나, 일반적으로 권

장되는 기준치(0.90 이상 또는 0.95 이상)를 충족하였다. Tucker-Lewis index(TLI)는 0.908로 나타나 전반적으로 수용 가능한 수준의 적합도였다. 절대 적합도 지표인 root mean square error of approximation(RMSEA)은 0.065로 나타나, 수용 가능한 적합도 범위(0.05-0.08)였다. 또한, expected cross-validation index (ECVI)는 0.047로 비교적 낮았지만 본 모형의 일반화 가능성은 양호하였다. Hoelter의 임계 표본수는 유의수준 0.05에서 462로 산출되어, 본 연구의 표본 크기가 모형 추정에 충분하다고 평가되었다. 따라서 본 구조방정식 모형은 주요 상대적 및 절대적 적합도 평가에서 수용 가능한 수준의 모형 적합도를 보였다.

## IV. 고 찰

본 연구는 KNHANES 자료를 활용하여 유효한 직업 분류 및 주당 근무시간 정보가 있는 취업 성인을 대상으로 직업 관련 요인, 생활습관 요인, 대사 지표가 체질량지수와 수축기혈압을 매개로 당화혈색소와 공복혈당에 이르는 구조적 경로를 통합적으로 분석하였다. 특히 당화혈색소와 공복혈당을 중심 지표로 설정하여, 직업 관련 요인이 혈당 관련 지표에 미치는 가능한 구조적 경로를 제시하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 지닌다.

연령은 체질량지수, 수축기혈압, 당화혈색소, 공복혈당 모두에 유의한 직접효과를 보였다. 이는 연령 증가가 인슐린 감수성 저하, 췌장  $\beta$ 세포 기능 감소, 만성 염증 상태와 같은 누적 생리적 변화를 통해 장기 평균 혈당 지표인 당화혈색소에 더 민감하게 반영되는 것을 뒷받침한다. 반면 공복혈당은 단기적인 생리 상태나 일시적 생활습관의 영향을 더 크게 받는 지표로, 연령 효과

가 상대적으로 덜 받는 것으로 해석될 수 있다. 이러한 결과는 당화혈색소가 연령 관련 대사 이상을 보다 안정적으로 반영한다는 선행연구 결과와 일치한다(International Expert Committee, 2009; Selvin et al., 2010). 성별은 체질량지수, 수축기혈압, 공복혈당에 유의한 직접효과를 보였으나, 당화혈색소에 대한 직접효과는 유의하지 않았다. 이는 성별에 따른 체지방 분포, 호르몬 환경, 혈압 조절 기전의 차이가 단기 혈당 지표에 보다 직접적으로 반영될 수 있으므로, 성별을 고려한 혈당 관리 전략의 필요성을 뒷받침한다. 체질량지수는 당화혈색소와 공복혈당 모두 유의한 직접효과를 보였으며, 동시에 수축기혈압을 유의하게 증가시키는 경로를 통해 혈당 대사에 간접적인 영향을 미쳤다. 이는 비만이 인슐린 저항성, 염증 반응, 혈관 기능 이상을 매개로 혈당 조절 전반에 영향을 미치는 핵심 요인임을 구조적으로 확인한 결과이다. 특히 체질량지수가 혈압과 혈당을 동시에 연결하는 중심 매개 변수로 작용했다는 점은, 비만 관리가 당뇨병과 심혈관계 위험을 동시에 예방할 수 있는 핵심 전략으로 볼 수 있다(World Health Organization, 2025).

반면 수축기혈압은 공복혈당에는 유의한 직접효과를 보였으나, 당화혈색소에는 유의하지 않았다. 이는 혈압 상승이 스트레스 반응이나 교감신경 활성화 증가와 같은 단기 생리 변화와 연관되어 공복혈당 변동에는 영향을 미칠 수 있으나, 장기 혈당 수준에는 독립적인 직접 경로를 형성하지 못했다고 사료된다. 이러한 결과는 고혈압과 당뇨병의 병태생리적 연관성이 존재하되, 그 영향 양상이 혈당 지표의 시간적 특성에 따라 다르게 나타날 수 있음을 보여준다(Einarson et al., 2018). 흡연은 당화혈색소와 공복혈당 모두에 유의한 직접효과를 보였으나 수축기혈압에 대한 직접효과는 유의하지 않았다. 특히 당화혈색소에서 더 큰 효과 크기가 관찰된 점은 흡연이 장기적인 혈당 조절 악화와 보다 밀접하게 연관될 가능성을 보여준다. 이러한 결과는 흡연이 당뇨병 발생 위험을 증가시키며, 당화혈색소 상승과 밀접하게 연관된다는 선행연구 결과와 일치한다(Pan et al., 2010; Pan et al., 2011). 음주는 수축기혈압과 공복혈당에 유의한 직접효과를 보인 반면, 당화혈색소에 대해서는 상이한 방향의 효과를 나타내므로 음주의 양과 빈도, 음주 패턴에 따라 단기 혈당 반응과 장기 혈당 조절 효과가 다르게 나타날 수 있는 결과이다(Knott et al., 2015).

중성지방은 체질량지수를 매개로 한 간접효과뿐만 아니라, 당화혈색소와 공복혈당에 모두 유의한 직접효과를 보였다. 특히 공복혈당에서 더 큰 효과 크기가 관찰된 점은, 중성지방이 간 인슐린 저항성과 밀접하게 연관되어 단기 혈당 조절에 더 즉각적인 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 이는 이상지질혈증이 당뇨병 발생의 선행 신호로 작용할 수 있음을 보여주는 결과이다(Howard et al., 2000).

주당 근무시간은 체질량지수뿐만 아니라 수축기혈압과 당화혈색소에도 유의한 직접효과를 보였으나, 공복혈당에 대한 직접 경로는 유의하지 않았다. 이것은 장시간 노동이 신체활동 감소, 불규칙한 식습관, 수면 부족 등을 통해 체중 증가로 이어지고, 그 결과 혈당 대사 이상을 유발하는 구조적 메커니즘을 지니고 있으므로 직업 요인이 당뇨병에 미치는 영향에 대한 선행연구들과 일치하는 결과이다(Gan et al., 2015; Kivimäki et al., 2015). 또한, 로지스틱 회귀분석에서 주당 근무시간의 효과가 Model 1에서는 관찰되었으나 Model 2와 Model 3에서 소실된 결과는, 근무시간이 당대사 이상에 독립적으로 직접 작용하기보다는 연령, 성별, 사회경제적 요인 및 생활습관·대사지표와 얽힌 상위 노출로 작용함을 시사한다. 이는 본 연구의 DAG 및 구조방정식 모형에서 제시된 바와 같이, 근무시간의 영향이 체질량지수와 같은 매개 경로 및 공변량 구조를 통해 분산되면서 조정 후 총 연관성이 약화된 것으로 해석할 수 있다.

본 연구에서 당화혈색소는 연령, 흡연, 체질량지수, 중성지방의 영향을 강하게 반영하는 반면, 공복혈당은 성별, 혈압, 음주, 중성지방 등 단기 생리 및 행태 요인에 더 민감한 지표로 나타났다. 이는 당화혈색소가 직업 관련 장기 노출의 영향을 평가하는데 보다 안정적으로 반영할 가능성을 보인다. 따라서 직업 특성을 고려한 당뇨병 예방 전략 및 위험 예측 모델에서 공복혈당보다, 당화혈색소를 핵심 바이오마커로 활용하는 것이 타당하다고 사료된다. 결과적으로 당뇨병 예방 및 관리 전략이 개인의 생활습관 개선에 국한되어서는 안 되며, 직업 환경과 노동 구조를 고려한 산업보건 차원의 접근이 필수적이라고 사료된다. 특히 주당 근무시간이 체질량지수를 통해 간접적으로 혈당 대사에 영향을 미친다는 점은, 비만을 포함한 구조적 경로와 함께 해석될 필요가 있다. 그러므로 근로시간 관리, 휴식 보장, 교대근무 설계 개선과 같은 노동 환경 개입이 당뇨병 예방 정

책의 중요한 수단이 될 수 있다. 또한, 체질량지수가 당화혈색소에 대해 유의한 직접효과를 보인 반면, 수축기 혈압은 공복혈당에만 유의한 영향을 미친 결과는 혈당 지표의 시간적 특성 차이를 반영하는 것이다. 이는 당화혈색소가 장기간의 대사 상태와 누적 노출을 반영하는 안정적 지표인 반면, 공복혈당은 생활습관이나 생리적 변화에 따른 단기 변동성을 더 민감하게 반영한다는 기존 연구 결과와 일치한다(International Expert Committee, 2009; Selvin et al., 2010). 이러한 맥락에서 본 연구는 근무시간과 같은 직업적 요인이 혈당 지표에 미치는 영향을 평가함에 있어, 공복혈당 중심 분석보다는 체질량지수와 당화혈색소를 포함한 구조적 접근이 필요하다.

이와같이 당화혈색소가 직업과 관련된 지속적인 노출 특성을 민감하게 반영하는 지표로 확인됨에 따라, 산업보건 영역에서의 건강검진 항목 구성의 변화가 필요하다. 현재 근로자 건강검진은 주로 공복혈당 중심으로 이루어지고 있으나, 본 연구 결과는 직업 환경의 누적적 영향을 평가하기 위해서는 당화혈색소를 핵심 대사 지표로 포함하는 것이 타당하다고 제안한다. 특히 장시간 근무자, 교대근무자, 감정노동 종사자 등 고위험 직군을 대상으로 한 맞춤형 건강관리 프로그램에서 당화혈색소 기반 모니터링은 조기 위험 선별과 예방 개입에 효과적으로 활용될 수 있을 것이며, 직업 특성을 반영한 당뇨병 예방 정책 수립과 고위험군 선별 전략 개발에 중요한 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다.

구조방정식 모형을 통해 직업 관련 요인이 생활습관과 비만 지표를 매개로 혈당 대사에 이르는 다단계 경로(Gan et al., 2015; Kivimäki et al., 2015)를 실증적으로 규명한 본 연구 결과는, 당화혈색소 중심의 예측모형을 직업 환경과 대사 질환 간의 구조적 연관성을 설명하는 데 유용하게 사용할 수 있다. 이 구조방정식 모형은 표본 크기에 민감한 카이제곱 검정의 유의성에도 불구하고, CFI와 NFI가 높은 수준을 보이고 RMSEA가 수용 가능한 범위에 포함되어 전반적으로 수용 가능한 수준의 모형 적합도를 나타냈다. TLI 값이 상대적으로 낮게 나타난 것은 모형의 복잡성과 대규모 표본 특성에 기인한 결과이며, 이러한 적합도 지표들을 종합할 때, 본 모형은 직업 관련 요인과 대사 지표 및 혈당 지표 간의 복합적 경로를 분석하는 데 적절한 설명력과 일반화 가능성을 갖추었다(Browne & Cudeck, 1993; Hu & Bentler, 1999; Kline, 2023). 따라서 직업 관련

요인이 비만과 생활습관을 매개로 하여 당대사 이상으로 이어지는 구조적 경로를 통해, 직무 스트레스 관리, 근무시간 유연화, 직장 내 신체활동 촉진 프로그램 등 통해 당뇨병 예방 산업보건 전략을 수립하여야 한다.

본 연구는 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, KNHANES는 횡단면 자료이므로, 구조방정식 모형을 통해 인과 경로를 가정하였으나 시간적 선후관계를 완전히 입증하는 데에는 제한이 있다. 따라서 향후 연구에서는 종단 자료를 활용하여 직업 관련 노출의 누적 효과와 혈당 대사 변화 간의 인과성을 보다 명확히 검증할 필요가 있다. 둘째, 직업 관련 변수는 자가 보고 방식에 기반하고 있어 직무 강도, 직업 스트레스, 교대근무의 세부 유형 등 노동 환경의 질적 특성을 충분히 반영하지 못했다. 향후 연구에서는 직무 요구도, 통제 수준, 감정노동 지표, 교대근무 기간과 강도 등 보다 정밀한 직업 노출 지표를 포함한 분석이 필요하다. 셋째, 본 연구는 당화혈색소와 공복혈당을 중심으로 분석을 수행하였으나, 인슐린 저항성 지표(HOMA-IR), 염증 지표(C-reactive protein), 수면 관련 변수 등 대사 경로를 설명할 수 있는 추가 생물학적 지표를 포함하지 못한 한계가 있다. 향후 연구에서는 이러한 지표들을 통합한 확장된 구조방정식 모형을 적용함으로써, 직업 환경과 대사 질환 간의 생물학적 기전을 보다 정교하게 규명할 수 있을 것이다. 마지막으로, 본 연구는 전체 근로자 집단을 대상으로 분석을 수행하였으나, 성별, 연령대, 직종 유형에 따른 이질성을 충분히 반영하지 못하였다. 향후 연구에서는 다집단 구조방정식 모형(multi-group SEM)을 활용하여 직업군별·성별 경로 차이를 비교 분석하는 것이 필요하다.

종합해보면 당화혈색소는 공복혈당에 비해 직업 관련 장기 노출의 영향을 보다 안정적으로 반영할 가능성을 보였다. 공복혈당은 단기적인 식사 상태, 스트레스, 수면, 측정 시점의 생리적 변동에 민감하여 일시적 변화를 반영하는 반면, 당화혈색소는 적혈구 수명을 반영하는 특성상 최근 수개월간의 평균 혈당 수준을 통합적으로 나타낸다. 이는 직업적 요인과 같이 장기간 반복적으로 노출되는 위험 요인을 평가하는 데 있어 당화혈색소가 공복혈당보다 개념적·방법론적으로 보다 안정적으로 반영할 가능성을 보인다고 판단된다.

더 나아가, 당화혈색소는 당뇨병 진단뿐만 아니라 미진단 당뇨병, 전당뇨 상태, 장기 합병증 위험 예측에 있어서도 임상적 유용성이 확립된 지표이다. 따라서 본

연구에서 당화혈색소를 중심으로 한 예측모형을 구축한 것이 단순한 지표 선택의 문제가 아니라, 직업 환경과 대사 질환 간의 구조적 연관성을 보다 정확하게 포착하기 위한 전략적 선택으로 의미를 둘 수 있다. 이는 향후 KNHANES 자료를 활용한 직업-대사 질환 연구에서 당화혈색소 단독 지표 기반 분석의 활용 가능성 근거를 마련한 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 KNHANES 자료를 활용하여, 유효한 직업 분류 및 주당 근무시간 정보가 있는 취업 성인을 대상으로 직업 관련 요인과 생활습관 요인, 대사 지표가 체질량지수와 수축기혈압을 거쳐 당화혈색소와 공복혈당에 연결되는 가능한 구조적 경로를 제시하였다. 특히 당화혈색소를 중심 지표로 설정하여 직업 환경과 같은 만성적 노출 요인이 혈당 대사에 미치는 구조적 영향을 분석하였다는 점에서 기존의 단편적 회귀 분석 중심 연구와 차별성을 지닌다.

당화혈색소는 연령, 흡연, 체질량지수, 중성지방 등 장기간 누적되는 대사 및 행태 요인의 영향을 강하게 반영하는 반면, 공복혈당은 성별, 수축기혈압, 음주 등 생활습관 요인에 더 민감하게 반응하는 지표로 나타났다. 이는 당화혈색소가 직업 환경과 같이 지속적으로 노출되는 위험 요인을 평가하는 데 있어 공복혈당보다 방법론적으로 보다 안정적인 지표임을 구조적으로 확인한 결과이다. 특히 주당 근무시간은 혈당 지표에 대한 직접효과는 유의하지 않았으나, 체질량지수를 매개로 한 간접 경로를 통해 혈당 대사 이상에 영향을 미치는 것으로 확인되어, 장시간 노동이 비만을 매개로 대사 질환 위험을 누적시키는 구조적 요인이라고 사료된다.

이러한 결과는 당뇨병 예방 및 관리 전략이 개인의 생활습관 개선에만 국한되어서는 안 되며, 근로시간 관리, 휴식 보장, 직무 설계 개선 등 노동 환경을 포함한 산업보건 차원의 개입이 병행되어야 한다. 특히 현재 근로자 건강검진이 공복혈당 중심으로 구성되어 있는 점을 고려할 때, 직업적 노출의 누적 효과를 보다 정확하게 평가하기 위해 당화혈색소를 핵심 대사 지표로 포함하는 방향으로의 제도적 개선이 필요하다. 당화혈색소 중심의 구조적 예측모형이 직업 환경과 대사 질환 간의 복합적 연관성을 설명하는 데 유용하다고 사료되므로 향후 직업-대사 질환 연구에서 당화혈색소 단독

지표 기반 분석의 활용 가능성을 제고하는 근거를 제공하였다. 이 결과는 고위험 직군을 대상으로 한 맞춤형 당뇨병 예방 정책 및 산업보건 전략 수립에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 2025학년도 신한대학교 교내 학술연구비 지원과제로 선정되어 수행하였습니다. 연구에 협조해 준 장호영 박사와 안하림 연구원에게 특별히 감사합니다.

## References

- American Diabetes Association. Standards of medical care in diabetes—2024. *Diabetes Care* 2024;47 (Suppl 1):S20–S42 <http://doi.org/10.2337/dc24-S002>
- Baek Y, Kim M, Kim G, Park E. Cross-sectional study of the association between long working hours and pre-diabetes: 2010–2017 Korea national health and nutrition examination survey. *BMJ Open* 2019;9:e033579 <http://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033579>
- Beziaud F, Halimi J, Lecomte P, Vol S, Tichet J. Cigarette smoking and diabetes mellitus. *Diabetes Care* 2004;30(2):161–166 [http://doi.org/10.1016/s1262-3636\(07\)70102-7](http://doi.org/10.1016/s1262-3636(07)70102-7)
- Browne MW, Cudeck R. Alternative ways of assessing model fit. In: Bollen KA, Long JS, editors, *Testing structural equation models*. Newbury Park (CA): Sage; 1993. p. 136–162
- Cao W, Hecht S, Murphy S, Chu H, Benowitz N et al. Analysis of Multiple Biomarkers Using Structural Equation Modeling. *Tob Regul Sci* 2020;6(4):266–278 <http://doi.org/10.18001/trs.6.4.4>
- Einarson TR, Acs A, Ludwig C, Panton UH. Prevalence of cardiovascular disease in type 2 diabetes: A systematic literature review. *Cardiovasc Diabetol* 2018;17:83 <http://doi.org/10.1186/s12933-018-0728-6>
- Gan Y, Yang C, Tong X, Sun H, Cong Y et al. Shift work and diabetes mellitus: a meta-analysis of observational studies. *Occup Environ Med*. 2015;72(1):72–78 <http://doi.org/10.1136/oemed-2014-102150>
- Howard BV, Robbins DC, Sievers ML, Lee ET, Rhoades D et al. LDL cholesterol as a strong predictor of coronary heart disease in diabetic individuals with insulin resistance and low LDL: The Strong Heart Study.

- Arterioscler Thromb Vasc Biol 2000;20(3):830-835  
<http://doi.org/10.1161/01.atv.20.3.830>
- Hu L, Bentler PM. Cutoff Criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Struct Equ Modeling* 1999;6(1):1-55  
<http://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Hu F. Globalization of diabetes: the role of diet, lifestyle, and genes. *Diabetes Care* 2011;34(6):1249-1257  
<http://doi.org/10.2337/dc11-0442>
- International Expert Committee. Report on the role of the A1C assay in the diagnosis of diabetes. *Diabetes Care* 2009;32(7):1327-1334  
<http://doi.org/10.2337/dc09-9033>
- Kim JH, Lee SG, Cho SI. Occupational class and risk of diabetes in Korea. *J Prev Med Public Health* 2019;52(2):123-131  
<http://doi.org/10.3961/jpmph.18.257>
- Kivimäki, M, Jokela M, Nyberg ST, Singh-Manoux A, Fransson EI et al. Long working hours and risk of coronary heart disease and stroke: a systematic review and meta-analysis of published and unpublished data for 603,838 individuals. *Lancet* 2015;386(10005):1739-1746  
[http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60295-1](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60295-1)
- Kivimäki M, Virtanen M, Kawachi I, Nyberg ST, Alfredsson L et al. Long working hours, socioeconomic status, and the risk of incident type 2 diabetes: a meta-analysis of published and unpublished data from 222 120 individuals. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2015;3(1):27-34  
[http://doi.org/10.1016/S2213-8587\(14\)70178-0](http://doi.org/10.1016/S2213-8587(14)70178-0)
- Kline RB. Principles and practice of structural equation modeling. 5th ed. New York: Guilford Press; 2023
- Knott C, Bell S, Britton A. Alcohol consumption and the risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2015;38(9):1804-1812  
<http://doi.org/10.2337/dc15-0710>
- Korea Disease Control and Prevention Agency(KDCA). Korea National Health and Nutrition Examination Survey Results Released. Cheongju: KDCA; 2023
- Pan A, Lucas M, Sun Q, van Dam R, Franco OH et al. Bidirectional association between depression and type 2 diabetes mellitus in women. *Arch Intern Med* 2010;170(21):1884-1891  
<http://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.356>
- Pan A, Schernhammer ES, Sun Q, Hu FB. Rotating night shift work and risk of type 2 diabetes. *PLoS Medicine* 2011;8(12):e1001141  
<http://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001141>
- Selvin E, Steffes M, Zhu H, Matsushita K, Wagenknecht L et al. Glycated hemoglobin, diabetes, and cardiovascular risk in nondiabetic adults. *N Engl J Med* 2010;362(9):800-811  
<http://doi.org/10.1056/NEJMoa0908359>
- Steptoe A, Kivimäki M. Stress and cardiovascular disease. *Nat Rev Cardiol*. 2012;9(6):360-370  
<http://doi.org/10.1038/nrcardio.2012.45>
- Stringhini S, Carmeli C, Jokela M, Avendaño M, Muennig P et al. Socioeconomic status and the 25 × 25 risk factors as determinants of premature mortality: a multicohort study and meta-analysis of 1·7 million men and women. *Lancet* 2017;389:1229-1237.  
[http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32380-7](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32380-7)
- Tripathy JP, Thakur JS, Jeet G, Jain S. Structural equation modeling to identify the risk factors of diabetes in the adult population of North India. *Trop Med Health* 2018;46:23  
<http://doi.org/10.1186/s41182-018-0104-y>
- Urrestarazu AR, Ali F, Reka H, Renwick MJ, Roman GD et al. Structural equation model for estimating risk factors in type 2 diabetes mellitus in a Middle Eastern setting: evidence from the STEPS Qatar. *BMJ Open Diabetes Res Care* 2016;4:e000231  
<http://doi.org/10.1136/bmjdr-2016-000231>
- World Health Organization. Diabetes. Geneva: World Health Organization; 2024. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- World Health Organization. Obesity and overweight. Geneva: World Health Organization; 2025. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

### <저자정보>

서혜경(교수)