

식품제조업 생산설비 공압유닛의 공학적 개선에 따른 작업구역 소음 수준 변화

김용민¹ · 이준원¹ · 황준영² · 어원석^{1*}

¹송실대학교 안전보건융합공학과, ²롯데웰푸드 비상안전부문

Changes in Workplace Noise Levels Following Engineering Improvement of a Pneumatic Unit in Food Manufacturing Equipment

Yong-Min Kim¹ · Joon-Won Lee¹ · June-Young Hwang² · Won Souk Eoh^{1*}

¹Department of Safety & Health Engineering, Soongsil University

²Department of Emergency Safety Division, Lotte Wellfood

ABSTRACT

Objectives: This study aimed to identify a priority process for noise control in a food manufacturing plant and evaluate changes in work-area noise levels before and after engineering improvement of a pneumatic unit.

Methods: Personal exposure noise data from semiannual workplace monitoring conducted from 2023 to 2025 were reviewed by process. Maximum measured noise level, A-weighted equivalent sound level, and the proportion of measurements ≥ 85 dB(A) were calculated. A questionnaire of 130 workers assessed noise perception, near-equipment work, hearing protection use, and work-related effects. Based on these findings, the ice cream bar-line process was selected as the priority target. Noise levels at 23 fixed locations and 1/3 octave-band spectra were compared before and after engineering improvement.

Results: Among 109 personal exposure measurements, the ice cream bar-line process showed the highest maximum measured noise level, A-weighted equivalent sound level, and proportion of measurements ≥ 85 dB(A). The high-noise process group also reported more frequent work near loud equipment and greater work-related burden. After engineering improvement, the A-weighted equivalent sound level across 23 fixed locations decreased from 86.52 to 80.84 dB(A), and locations with levels ≥ 85 dB(A) decreased from 14 to 0. Octave-band analysis showed reductions around 1 kHz and in high-frequency bands near the improved pneumatic unit.

Conclusions: Integrating exposure metrics with worker-reported experience was useful for identifying the priority target for noise control. Engineering improvement effectively reduced work-area noise levels in the food manufacturing plant.

Key words: Engineering improvement, food manufacturing, occupational noise, pneumatic unit, workplace noise


1. 서 론


식품은 소비자가 직접 섭취하는 제품이므로 위해요인이


발생하면 건강 피해가 즉시 나타날 수 있으며, 기업은 제품 회수, 생산 차질, 신뢰 하락 등 복합적인 손실을 부담하게 된다. 이러한 특성으로 인해 식품산업에서는


*Corresponding author: Won Souk Eoh, Tel: +82-2-828-7013, E-mail: ahardworker40@gmail.com
32, Beoman-ro, Sosa-gu, Bucheon-si, Gyeonggi-do, 14782

Received: April 1, 2026 Revised: April 27, 2026, Accepted: June 22, 2026

 Yong-Min Kim <https://orcid.org/0009-0009-7650-1796>

 Joon-Won Lee <https://orcid.org/0000-0002-6868-8580>

 June-Young Hwang <https://orcid.org/0009-0003-0687-5369>

 Won Souk Eoh <https://orcid.org/0000-0002-0811-2002>

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.

식품안전과 위생관리 수준을 높이기 위한 사회적 요구와 정부의 관리가 강화되고 있으며, 생산현장에서도 설비 운영과 유지관리 기준이 더욱 엄격해지고 있다(MFDS, 2025). 식품제조업 생산현장의 설비 개선은 작업환경 개선 효과뿐 아니라 위생, 세척 용이성 및 유지관리 가능성까지 함께 충족해야 한다.

엄격한 위생관리와 연속 생산 환경에서는 설비 개선이 산업보건측면의 소음 저감만으로는 충분하지 않다. 설비는 세척이 가능해야 하고 오염을 유발할 틈이 없어야 하며, 설비 주변 접근성과 배관 및 호스 관통부의 밀폐, 누설 관리가 확보되어야 한다. 또한 점검과 정비 가능한 구조여야 개선 효과가 유지될 수 있다. 위생설계 원칙에서도 설비와 시설의 구조가 청소하기 어려울수록 오염 위험이 증가하므로 설계, 구축 및 설치 단계에서 위생적 설계 기준을 적용해야 한다고 강조하고 있다(EHEDG, 2025).

식품 생산과정에서는 압축공기를 이용한 분사와 이송, 급기와 배기가 널리 사용되며, 이 과정에서 발생하는 공압 토출음은 작업자 근접 구역의 주요 소음원이 될 수 있다(Jeon et al., 2003). 다만 식품제조업 생산설비에서는 소음 저감 뿐 아니라 위생관리와 정비 접근성까지 함께 고려해야 하므로 공압유닛 개선 역시 이러한 요구를 반영하여 설계되어야 하며, 그 효과 또한 작업구역 소음환경의 변화를 통해 정량적으로 평가될 필요가 있다.

작업장 소음은 장기간 노출 시 소음성 난청을 포함한 직업성 건강문제를 유발할 수 있고, 의사소통 방해와 경고음 인지 저하를 통해 안전사고 위험을 증가시킬 수 있다(Sheppard et al., 2020; Toppila et al., 2009). 이러한 문제는 건강진단 결과에서도 확인된다. 고용노동부가 공표한 근로자 건강진단 실시 결과에 따르면, 직업병 유소견자 32,077명 중 소음성 난청이 31,709명으로 98.8%를 차지하였다(MoEL, 2025). 이는 소음 문제가 업무상 질병 관리에서 매우 중요한 이슈임을 보여준다.

국내 보상 현황에서도 소음성 난청의 부담은 확대되고 있다. 소음성 난청 승인 건수는 2018년 1,399건에서 2024년 6,473건으로 증가하였고, 장해급여 지급액도 같은 기간 약 490억원에서 2,482억원으로 확대되었다. 특히 2024년 승인건수 중 70대 이상 비중이 49.0%로 보고되어, 사업장 차원의 예방적 소음관리와 공학적 저감의 중요성이 더욱 커지고 있다(KEF, 2025).

소음 노출 수준은 작업공정, 설비의 운전 조건 및 배

치 형태에 따라 크게 달라지며, 특정 공정이나 설비 주변에서 국소적으로 높은 소음이 반복될 수 있다(Arezes et al., 2012). 따라서 고소음 공정 관리는 공정 평균 수준만으로 판단하기보다 국소 고소음과 근접작업 특성을 함께 반영하는 방식으로 이루어질 필요가 있다. 또한 소음 관리는 객관적 노출 수준과 더불어 근로자의 소음 인식, 청력 상태 및 보호행동을 함께 고려해야 한다(Eoh et al., 2011). 현장에서는 개인보호구 착용 중심의 관리만으로 소음원의 구조적 특성을 근본적으로 바꾸기 어려운 경우가 많기 때문에, 소음원과 전파경로를 동시에 저감하는 공학적 개선이 중요하다(Neitzel & Seixas, 2005; Verbeek et al., 2014). 그러나 식품제조업 생산설비는 위생관리, 세척 용이성, 점검 및 정비 접근성 확보가 동시에 요구되므로, 일반 제조업의 소음 저감 방식이 그대로 적용되기 어려운 경우가 있다.

따라서 식품제조업 생산현장에서 근로자의 소음 인식 수준을 조사하고, 이를 공정별 작업환경측정 소음 결과와 함께 검토하여 소음 개선 우선순위 공정을 선정한 후, 해당 공정에서 공압유닛의 공학적 개선 전과 후 작업구역 소음환경 변화를 정량적으로 평가하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구설계

단일 식품제조업 사업장에서 수행한 현장 기반 전과 후 비교 연구이며, 연구 흐름은 Figure 1과 같다. 2023년부터 2025년까지 최근 3년간의 작업환경측정 소음 결과를 바탕으로 고소음 공정군과 저소음 공정군을 구분하였다. 다음으로 전 공정 근로자를 대상으로 소음 인식 수준과 청력보호구 착용 실태를 포함한 설문조사를 실시하여 공정군 간 차이를 분석하였다. 이어서 작업환경측정 결과를 이용하여 공정별 최대 측정값, A-가중치 등가소음수준(A-weighted equivalent sound level), 85 dB(A) 이상 측정 비율을 비교하였다. 그 후 설문조사 결과와 소음 분석 지표를 함께 검토하여 개선 우선순위 공정을 선정하고, 해당 공정의 주요 소음원인 공압유닛에 공학적 개선을 적용하였다. 마지막으로 동일 작업구역에서 수행한 공학적 개선 전과 후 소음 측정과 1/3 옥타브 대역 분석을 통해 개선 효과를 평가하였다.

2. 조사 및 분석방법

1) 소음인식도 설문조사

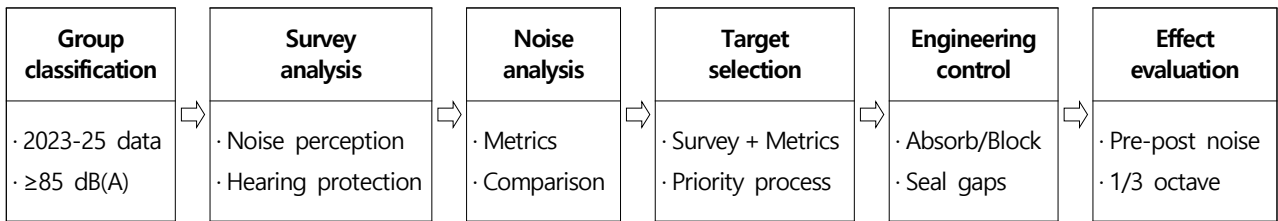


Figure 1. Study workflow for group classification, process selection, and effect evaluation

전 공정 근로자를 대상으로 소음인식도 설문조사를 실시하였다. 설문 문항은 연구목적과 사업장의 작업 특성을 반영하되, 소음 인식 및 청력보존 관련 선행연구를 참고하여 Table 1과 같이 총 10개 문항으로 구성하였다(Koo et al., 1998; Eoh et al., 2011).

문항 구성은 일반적 특성, 소음 노출 인식, 청력보호구 착용, 작업영향, 개선 우선순위를 포함하도록 하였다. Q1~Q3은 연령, 현재 공정 또는 직무 근무경력, 소속 공정 또는 부서와 같은 일반적 특성 문항으로 구성하였다. Q4~Q9는 고소음 설비 주변 작업 빈도, 1 m 이내 근접 작업 빈도, 의사소통 어려움, 청력보호구 착용, 재확인 또는 반복 의사소통 증가, 집중 유지 어려움 또는 피로 증가와 같은 소음 관련 노출 경험과 작업영향을 묻는 문항으로 구성하였으며, 응답 범주의 값이 증가할수록 해당 특성이 큰 방향이 되도록 정리하였다. Q10은 소음 저감을 위해 가장 우선되어야 할 항목을 선택하는 단일 응답 문항으로 구성하였다. 설문은 TBM (tool box meeting) 시점에 배포 및 회수하였고, 총 130명을 대상으로 실시하였다. 설문은 무기명으로 실시하였으며, 연구 목적과 활용 범위를 설명한 후 응답하도록 하였다. 응답자는 작업환경측정 결과를 바탕으로 고소음 공정군

(High Noise Level Group, HNLG)과 저소음 공정군 (Low Noise Level Group, LNLG)으로 구분하였다 (Eoh et al., 2011). Q4~Q9 문항에 대해서는 내부일 관성을 검토하였고, Cronbach's α 는 0.69였다. 문항별 응답 분포는 빈도와 백분율로 제시하였고, 공정군 간 차이는 카이제곱 검정 또는 Fisher의 정확검정으로 비교하였다.

2) 소음노출 수준

최근 3년간의 작업환경측정 결과보고서를 검토하여 공정별 소음 측정결과를 수집하였다. 작업환경측정 자료는 2023년 상반기부터 2025년 하반기까지의 반기별 결과를 포함하였으며, 각 회차의 개인노출 소음 측정은 점심시간 1시간을 제외하고 6시간 이상 수행되었다. 총 12개 공정을 대상으로 확보된 109건의 개인노출 기반 소음 측정자료를 분석에 활용하였다.

소음 평가는 측정기관에서 누적 소음 노출량계(3M Noise dosimeter, Edge4, 미국)를 사용하였고, 측정기는 근로자 귀 높이를 기준으로 약 30 cm 아래 위치에 고정하여 정상 작업시간 동안 측정하였다. 공정 간 비교를 위해 고소음 공정군은 개인노출 측정결과 중 85

Table 1. Questionnaire domains and items

Category	Question
General characteristics	Q1. Age group
	Q2. Work experience in the current process / job
	Q3. Department / process
Noise exposure perception	Q4. Frequency of exposure to loud equipment noise
	Q5. Frequency of working within 1 m of loud equipment
	Q6. Difficulty communicating at a 1 m distance during work
Hearing protection use	Q7. Frequency of hearing protection use during work
Work-related effects of noise	Q8. Increased need for re-checking or repeated communication due to noise
	Q9. Difficulty maintaining concentration or increased fatigue due to noise
Improvement priority	Q10. Highest priority for reducing workplace noise

* Cronbach's α for items Q4-Q9 was 0.69.

dB(A) 이상이 1건 이상 확인된 공정으로 정의하였다. 85 dB(A)는 작업환경측정의 노출기준 자체를 의미하는 값으로 사용한 것이 아니라, 산업안전보건 기준에 관한 규칙에서 1일 8시간 기준 소음작업을 정의하는 수준이자 청력보존 관리 및 특수건강진단과 연계되는 실무적 기준이라는 점을 고려하여 보수적 1차 스크리닝 기준으로 적용하였다. 반면 90 dB(A)는 강렬한 소음작업 기준에 해당하므로, 본 연구에서는 공정별 고위험 소음 노출을 보다 민감하게 선별하기 위한 기준으로 85 dB(A)를 활용하였다. 최종 개선 우선순위는 해당 기준만으로 결정하지 않고 공정별 최대 측정값, A-가중치 등가소음 수준, 85 dB(A) 이상 측정 비율 및 설문 결과를 종합하여 판단하였다. 최대 측정값은 해당 공정의 개인노출 측정 자료 중 가장 높은 값으로 정의하였고, A-가중치 등가소음수준은 각 측정값을 선형 척도로 환산한 후 평균하여 다시 dB(A)로 변환해 계산하였다(ISO 9612, 2025). 이러한 세 지표는 각각 국소적 고소음 가능성, 공정 전반의 평균 노출 수준, 그리고 고소음 노출의 반복 정도를 함께 반영하도록 구성하였다. 이들 지표에서 가장 일관되게 높은 값을 보이고, 설문 결과에서도 근접작업 빈도와 작업영향이 상대적으로 크게 나타난 공정을 우선 개선 대상으로 선정하였다.

3) 공학적 개선

공학적 개선의 우선 적용 대상으로 선정된 빙과 bar-line 공정은 Figure 2에 제시하였다. 이 공정은 최근 3년간의 작업환경측정 결과에서 최대 측정값, A-가중치 등가소음수준, 85 dB(A) 이상 측정 비율이 가장 높게 나타났고, 설문조사에서도 소음 설비 주변 작업 빈도, 1 m 이내 근접작업 빈도, 의사소통 어려움, 반복 의사소통 증가, 집중 저하 및 피로 증가 등 작업영향 지표에서 더 불리한 응답 분포를 보였다.

빙과 bar-line 공정은 냉각, 충전, 성형, 포장으로 이어지는 생산라인으로 구성되며, 해당 사업장에서는 총 4개 라인이 운영되고 있다. 이 중 성형 및 포장 단계에서는 압축공기를 사용하는 공압유닛이 다수 활용되어 작업자 근접 구역의 주요 소음원으로 확인되었다. 이에 해당 공압유닛을 공학적 개선의 핵심 대상으로 설정하고 차음 및 흡음 구조와 개폐 구조를 적용하였다. 또한 위생 및 유지관리를 고려하여 틈새와 관통부의 누설 소음도 함께 저감할 수 있도록 설계하였다.



Figure 2. Major process stages of the ice cream bar-line process

4) 공학적 개선 전과 후 소음수준 평가

공학적 개선 전과 후 소음수준은 빙과 bar-line 공정의 동일 작업구역에서 측정하였으며, 측정 지점은 사전에 설정한 23개 고정지점으로 하였다. 측정 지점과 조건은 Figure 3에 제시하였다. 본 측정은 개별 근로자의 1일 누적 노출량 평가를 위한 작업환경측정과는 구분되며, 공학적 통제에 따른 작업구역 내 고정지점 소음 수준의 변화를 비교하기 위한 전과 후 반복측정으로 수행하였다.

소음 측정은 소음계(TSI Sound level meter, NG4P-NB, 미국)를 사용하여 A-가중치, slow 조건에서 지점별 60초간 실시하였고, 측정 위치는 소음원으로부터 거리 0.3 m, 높이 1.3 m로 하였다. 거리와 높이는 근접 작업 구역에서 서서 작업하는 근로자를 기준으로 공학적 개선 전과 후를 동일한 조건에서 비교할 수 있도록 설정하였다. 높이 1.3 m는 서서 작업하는 근로자의 귀 높이를 근사한 대표 높이이며, 지역시료채취 시 소음측정기를 작업근로자 귀 높이에 설치하도록 한 고시의 취지를 반영하였다(MoEL, 2020). 거리 0.3 m는 공압유닛 인접부 유지보수용 통로의 폭을 반영하여 평상시 근로자가 서서 작업하는 위치를 고려한 측정거리이다. 개선 전과 후 비교를 위해 동일 지점 좌표와 동일 측정 설정을 유지하였고, 생산라인의 정상 운전 상태에서 측정하였으며, 측정 시간대를 가급적 일치시켜 설비 운전 상태 차이에 따른 영향을 최소화하고자 하였다.

소음 변화는 동일 작업구역 내 사전에 지정한 23개 고정지점에서 관찰된 공학적 개선 전과 후의 차이를 중심으로 평가하였다. A-가중치 등가소음수준은 23개 고정지점의 측정값을 선형 척도로 환산한 뒤 평균하여 산출하였고, 공학적 개선 전과 후의 차이는 두 시점의

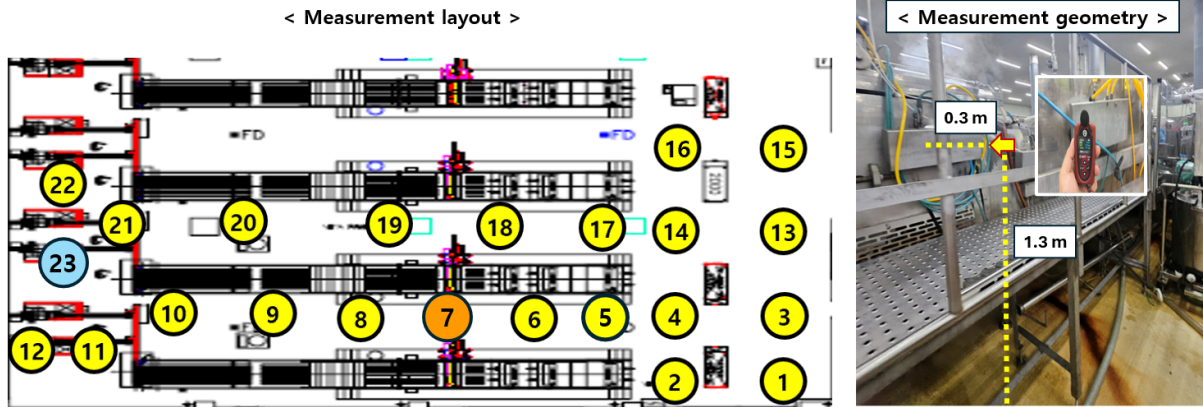


Figure 3. Measurement layout and standardized measurement geometry in the ice cream bar-line process

A-가중치 등가소음수준 차이로 계산하였다. 95% 신뢰구간과 p-value는 23개 고정지점의 측정값을 단위로 복원추출하는 부트스트랩 방법으로 산출하였으며, 반복횟수는 100,000회로 설정하였다. 다만 이들 고정지점은 동일 작업구역 내에 위치하므로 측정값 간 공간적 상관관이 존재할 가능성이 있다. 따라서 독립 표본을 전제로 한 일반화 목적의 추론분석이 아니라 동일 작업구역 내 고정지점에서 수행한 전과 후 반복평가로 해석하였으며, 95% 신뢰구간과 p-value는 관찰된 소음 저감 효과의 방향과 규모를 보조적으로 제시하는 정보로 한정하였다.

또한 60초 A-가중치 등가소음수준이 85 dB(A) 이상인 고정 측정지점 수를 함께 제시하여 작업구역 내 상대적 고소음 지점 분포의 변화를 비교하였다. 작업장 소음의 측정 및 평가는 기술지침을 참고하였고(KOSHA, 2016), 주파수 특성은 1/3 옥타브 대역 분석으로 평가하였다. 주파수분석기(CESVA Frequency/Spectrum Analyzer, SC202, Spain)를 사용하여 A-가중치, slow 조건에서 FR202 모듈로 각 측정마다 60초간 실시하였다. 작업구역의 주파수 특성을 대표적으로 확인하기 위한 1/3 옥타브 스펙트럼은 Figure 3의 고정 측정지점 23번에서 측정하였다. 해당 지점은 작업자가 주로 근무하는 위치로서 작업구역의 대표 측정지점으로 선정하였다. 공학적 개선 적용 지점 전면의 스펙트럼은 Figure 3의 고정 측정지점 7번으로 측정하여, 작업구역 대표 위치와 개선 설비 근접부의 주파수 특성을 함께 비교하였다. 스펙트럼 비교는 개선 전과 후 동일 측정조건에서 수행하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적 특성은 Table 2와 같다. 전체 응답자 130명 중 고소음 공정군은 62명, 저소음 공정군은 68명이었다. 연령 분포는 전체적으로 50대가 45명(34.6%)으로 가장 높은 비율을 차지하였고, 현재 공정/직무 근무 경력은 20년 이상이 49명(37.7%)으로 가장 높게 나타났다. 저소음 공정군에서는 20년 이상 근무한 인원이 36명(52.9%)으로 고소음 공정군의 13명(21.0%)보다 많아 장기 근무 경력자의 비중이 상대적으로 높았다. 소속 공정/부서를 보면, 고소음 공정군은 모두 빙과생산 공정 근로자로 구성되었고, 저소음 공정군은 스낵/유지식품생산, 생산지원 및 유틸리티, 품질 및 R&D, 식품반, 포장실, 기타 공정 근로자로 구성되었다. 따라서 이후의 설문 결과와 공정 간 비교는 소음 수준 차이뿐 아니라 공정 특성과 작업 형태 차이가 일부 반영된 결과로 해석할 필요가 있다.

2. 소음인식도 설문 결과

설문 응답 비교 결과는 Table 3과 같다. 고소음 공정군은 저소음 공정군에 비해 소음이 큰 설비 주변에서 작업한 빈도(Q4)가 유의하게 높았고($p < 0.001$), 고소음 설비에 1 m 이내로 근접 작업한 빈도(Q5) 역시 유의하게 높았다($p < 0.001$). Q4 문항에서 '거의 매일' 응답은 고소음 공정군 50명(80.6%), 저소음 공정군 33명(48.5%)이었고 '주 1회 이상' 응답 비율은 각각 61명(98.4%), 43명(63.2%)이었다. 반대로 '월 1~3일' 또는 '전혀 없음' 응답은 고소음 공정군 1명(1.6%), 저소음

Table 2. General characteristics of survey respondents by process group

Variable	Category	Total n (%)	HNLG* n (%)	LNLG* n (%)
Q1. Age group	20s	8 (6.2)	7 (11.3)	1 (1.5)
	30s	37 (28.5)	19 (30.6)	18 (26.5)
	40s	37 (28.5)	20 (32.3)	17 (25.0)
	50s	45 (34.6)	16 (25.8)	29 (42.6)
	≥60 years	3 (2.3)	0 (0.0)	3 (4.4)
Q2. Work experience in the current process / job	<6 months	2 (1.5)	2 (3.2)	0 (0.0)
	6 months ~ 2 years	15 (11.5)	8 (12.9)	7 (10.3)
	2~5 years	18 (13.8)	11 (17.7)	7 (10.3)
	5~10 years	19 (14.6)	10 (16.1)	9 (13.2)
	10~15 years	20 (15.4)	12 (19.4)	8 (11.8)
	15~20 years	7 (5.4)	6 (9.7)	1 (1.5)
	≥20 years	49 (37.7)	13 (21.0)	36 (52.9)
Q3. Department / process	Ice cream production	62 (47.7)	62 (100.0)	0 (0.0)
	Snack / oily foods production	28 (21.5)	0 (0.0)	28 (41.2)
	Maintenance and utilities	16 (12.3)	0 (0.0)	16 (23.5)
	QC and R&D	7 (5.4)	0 (0.0)	7 (10.3)
	Food team	7 (5.4)	0 (0.0)	7 (10.3)
	Packaging	7 (5.4)	0 (0.0)	7 (10.3)
	Others	3 (2.3)	0 (0.0)	3 (4.4)

* HNLG: High noise level group, * LNLG: Low noise level group

공정군 25명(36.8%)으로 나타났다. Q5 문항에서도 ‘거의 매일’ 응답은 고소음 공정군 44명(71.0%), 저소음 공정군 2명(2.9%)이었고, ‘주 1회 이상’ 근접작업 비율은 각각 59명(95.2%), 24명(35.3%)이었다. 이러한 결과는 고소음 공정군에서 소음 설비 주변 작업과 1 m 이내 근접작업이 더 빈번하게 이루어지고 있음을 나타낸다.

1 m 거리에서의 의사소통 어려움(Q6)도 두 군 간 차이가 유의하게 나타났다($p=0.008$). 고소음 공정군에서 ‘극도로 어렵다’ 또는 ‘매우 어렵다’ 응답은 24명(38.7%)으로 저소음 공정군의 11명(16.2%)보다 높았고, ‘보통’을 포함한 중등 이상 응답도 각각 37명(59.7%), 22명(32.4%)으로 차이를 보였다. 청력보호구 착용 빈도(Q7) 역시 공정군 간 차이가 유의하였다($p<0.001$). 고소음 공정군에서는 ‘항상 착용’ 응답 비율이 33명(53.2%)으로 저소음 공정군의 4명(5.9%)보다 높았고, 반대로 ‘전혀 안 함’ 응답은 저소음 공정군에서 26명(38.2%)으로 고소음 공정군의 5명(8.1%)보다 높았다. 또한 소음으로 인해 재확인 또는 반복 의사소통이 증가하였다(Q8)는 응답에서 ‘그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’는 고소음 공정군 33명

(53.3%), 저소음 공정군 13명(19.1%)이었으며($p<0.001$), 집중 유지가 어렵거나 피로가 증가하였다(Q9)는 문항에서도 고소음 공정군의 ‘그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’ 응답이 24명(38.7%)으로 저소음 공정군의 9명(13.2%)보다 높아 유의한 차이가 확인되었다($p=0.001$). 반면 소음 저감을 위해 가장 우선되어야 하는 항목(Q10)에서는 두 군 모두 ‘설비 개선’을 가장 많이 선택하였고, 공정군 간 응답 분포 차이는 유의하지 않았다($p=0.405$).

고소음 공정군은 저소음 공정군에 비해 소음 설비 주변 작업과 1 m 이내 근접작업 빈도가 더 높았고, 의사소통 어려움, 반복 의사소통 증가, 집중 저하 및 피로 증가와 같은 작업 관련 부담도 더 높게 관찰되었다. 이러한 결과는 작업자의 소음 인식 수준을 청력 관련 특성과 함께 해석할 필요가 있음을 보여준다(Eoh et al., 2011). 또한 고소음 공정군에서 청력보호구 착용 빈도가 더 높게 나타난 양상은 소음 관련 지식과 태도가 청력보호구 착용, 소음 회피, 개선 요구와 같은 청력보존 행위와 관련이 있음을 나타낸다(Koo et al., 1998). 아울러 이러한 결과는 개인 수준의 인식과 행동에 그치지 않고 사업장 차원의 청력보존 활동과 연결하여 이해할

Table 3. Key questionnaire responses by process group

Variable	Category	Total n (%)	HNLG* n (%)	LNLG* n (%)	p-value [†]
Q4. Frequency of exposure to loud equipment noise	Almost daily	83 (63.8)	50 (80.6)	33 (48.5)	< 0.001
	3-4 days/week	15 (11.5)	7 (11.3)	8 (11.8)	
	1-2 days/week	6 (4.6)	4 (6.5)	2 (2.9)	
	1-3 days/month	15 (11.5)	0 (0.0)	15 (22.1)	
	Never	11 (8.5)	1 (1.6)	10 (14.7)	
Q5. Frequency of working within 1 m of loud equipment	Almost daily	46 (35.4)	44 (71.0)	2 (2.9)	< 0.001
	2-3 times/week	17 (13.1)	8 (12.9)	9 (13.2)	
	Once/week	20 (15.4)	7 (11.3)	13 (19.1)	
	1-3 times/month	29 (22.3)	1 (1.6)	28 (41.2)	
	Never	18 (13.8)	2 (3.2)	16 (23.5)	
Q6. Difficulty communicating at a 1 m distance during work	Extremely difficult	6 (4.6)	6 (9.7)	0 (0.0)	0.008
	Very difficult	29 (22.3)	18 (29.0)	11 (16.2)	
	Moderate	24 (18.5)	13 (21.0)	11 (16.2)	
	Slightly difficult	39 (30.0)	14 (22.6)	25 (36.8)	
	Not difficult	32 (24.6)	11 (17.7)	21 (30.9)	
Q7. Frequency of hearing protection use during work	Always	37 (28.5)	33 (53.2)	4 (5.9)	< 0.001
	Often	22 (16.9)	15 (24.2)	7 (10.3)	
	Sometimes	14 (10.8)	6 (9.7)	8 (11.8)	
	Rarely	26 (20.0)	3 (4.8)	23 (33.8)	
	Never	31 (23.8)	5 (8.1)	26 (38.2)	
Q8. Increased need for re-checking or repeated communication due to noise	Strongly agree	16 (12.3)	13 (21.0)	3 (4.4)	< 0.001
	Agree	30 (23.1)	20 (32.3)	10 (14.7)	
	Neutral	30 (23.1)	15 (24.2)	15 (22.1)	
	Disagree	22 (16.9)	10 (16.1)	12 (17.6)	
	Strongly disagree	32 (24.6)	4 (6.5)	28 (41.2)	
Q9. Difficulty maintaining concentration or increased fatigue due to noise	Strongly agree	12 (9.2)	9 (14.5)	3 (4.4)	0.001
	Agree	21 (16.2)	15 (24.2)	6 (8.8)	
	Neutral	38 (29.2)	19 (30.6)	19 (27.9)	
	Disagree	29 (22.3)	14 (22.6)	15 (22.1)	
	Strongly disagree	30 (23.1)	5 (8.1)	25 (36.8)	
Q10. Highest priority for reducing workplace noise	Engineering controls	75 (57.7)	38 (61.3)	37 (54.4)	0.405
	Strengthening hearing protection use	24 (18.5)	8 (12.9)	16 (23.5)	
	Education / signage / campaigns	8 (6.2)	5 (8.1)	3 (4.4)	
	Work-method improvements	10 (7.7)	6 (9.7)	4 (5.9)	
	Enhanced health surveillance / follow-up	13 (10.0)	5 (8.1)	8 (11.8)	

* HNLG: High noise level group, * LNLG: Low noise level group, † p < 0.05

필요가 있음을 보여준다(Park et al., 2019). 이는 개인 보호구 착용만으로는 작업 중 체감되는 소음 부담을 충분히 감소시키기 어렵고, 작업자 인식과 보호행동을 반영한 설비 중심의 공학적 개선이 함께 이루어져야 함을

뒷받침한다. 또한 두 군 모두에서 소음저감의 우선순위로 '설비개선'을 가장 많이 선택한 결과는 현장 근로자 역시 소음 관리의 핵심을 개인의 적응이나 보호구 착용만이 아니라 공학적 저감에서 찾고 있음을 알 수 있다.

Table 4. Process-level summary of workplace noise measurements (2023~2025)

Process	No. of measurements, n	Maximum measured noise level, dB(A)	A-weighted equivalent sound level, dB(A)	Proportion ≥85 dB(A), (%)
Ice cream production (Bar-line process)	23	93.5	87.16	69.6
Ice cream production (Filling/Packaging)	18	92.9	86.04	55.6
Ice cream production (Utility)	8	89.1	83.89	25.0
Ice cream production (Ingredients/Mixing)	10	88.4	83.93	20.0
Ice cream production (Washing)	6	87.2	82.77	16.7
Production support / Maintenance	5	84.7	81.27	0.0
Packaging	11	84.7	80.88	0.0
Logistics	6	83.2	79.72	0.0
Oily foods production	8	83.1	80.52	0.0
Snack	6	82.8	79.70	0.0
QC / R&D	4	82.2	79.54	0.0
Office / Administration	4	73.9	72.75	0.0

3. 작업환경측정 기반 공정별 소음 수준

작업환경측정 소음 결과를 공정 단위로 정리한 결과는 Table 4와 같다. 최근 3년간의 작업환경측정 결과 보고서를 바탕으로 총 12개 공정에서 확보된 109건의 개인노출 기반 측정 결과를 공정별로 분류하고 각 공정의 최대 측정값, 공정별 A-가중치 등가소음수준 및 85 dB(A) 이상 측정 비율을 산출하였다. 그 결과, 빙과생산공정은 다른 공정에 비해 세 지표 모두에서 높은 값을 보였다. 특히 빙과 bar-line 공정은 개인노출 측정 결과가 23건으로 가장 많았으며, 최대 측정값 93.5 dB(A), A-가중치 등가소음수준 87.16 dB(A), 85 dB(A) 이상 측정 비율 69.6%로 전체 공정 중 가장 높았다. 이는 해당 공정에서 높은 소음 노출이 일시적 현상에 그치지 않고 반복적으로 발생했을 가능성을 보여준다. 빙과 생산공정 내에서는 충전/포장 공정이 최대 측정값 92.9 dB(A), A-가중치 등가소음수준 86.04 dB(A), 85 dB(A) 이상 측정 비율 55.6%로 다음 순위를 보였다. 반면 빙과 외 공정에서는 모든 공정의 최대 측정값이 85 dB(A) 미만이었으며, 가장 낮은 수준은 사무 및 관리 공정으로 최대 측정값 73.9 dB(A), A-가중치 등가소음수준 72.75 dB(A)였다.

작업환경측정 결과를 공정 단위로 비교한 결과, 빙과 bar-line 공정은 최대 측정값, A-가중치 등가소음수준, 85 dB(A) 이상 측정 비율이 모두 가장 높아 우선 개선

대상으로 확인되었다. 이러한 결과는 소음 노출수준과 노출기준 초과 여부를 함께 고려하여 관리대상을 판단할 필요가 있음을 뒷받침한다(Kim et al., 2020). 또한 작업 특성에 따라 노출수준을 구분하고 위험수준을 해석할 필요가 있다는 점과도 맞닿아 있다(Kang, 2023). 아울러 노출수준의 차이가 작업자 인식과 청력 관련 특성과도 함께 해석될 수 있다는 점은 고·저소음군 구분에 따라 소음 인식도와 청력역치를 비교한 결과와도 부합한다(Eoh et al., 2011). 이는 공정별 소음 수준을 단순 평균값만으로 판단하기보다 최대 측정값, A-가중치 등가소음수준, 85 dB(A) 이상 측정 비율을 함께 활용하여 해석할 필요가 있음을 보여준다. 특히 85 dB(A)는 소음작업 정의와 청력보존 관리에 연결되는 기준이므로, 이를 기준으로 한 측정 비율은 법정 노출기준 초과 여부만이 아니라 예방관리 필요성을 반영하는 지표로 활용할 수 있다. 빙과 bar-line 공정은 세 지표 모두에서 가장 불리한 값을 보였고, 설문에서도 근접작업 빈도와 작업영향이 더 크게 나타났으므로, 우선 개선 대상으로 선정한 판단은 실무적으로 타당한 것으로 볼 수 있다.

4. 공학적 개선 전과 후 소음 수준 변화

빙과 bar-line 공정의 공압유닛에 적용한 공학적 개선 내용은 Figure 4와 같다. 개선 전에도 공압유닛에는

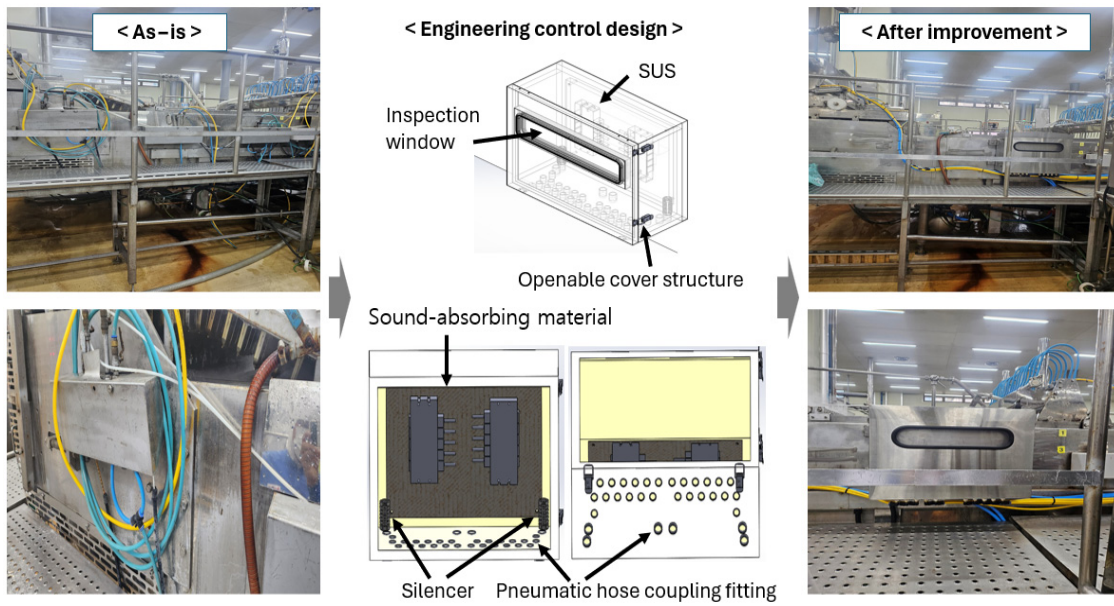


Figure 4. Engineering improvement applied to the pneumatic unit in the ice cream bar-line process

커버가 적용되어 있었으나 누설 소음 저감과 정비 편의 측면에서 한계가 있었다. 이에 흡음 및 차음 구조를 갖춘 방음커버를 적용하고, 관통부와 틈새의 누설 소음을 줄일 수 있도록 설계하였다. 또한 점검창과 개폐 가능한 구조를 적용하여 정비와 위생 관리가 가능하도록 하였다. 방음커버의 재질은 위생성과 내구성을 고려하여 SUS로 구성하였다.

공학적 개선 전과 후 소음평가는 동일 작업구역 내 사전에 지정한 23개 고정지점에서 수행하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 동일 지점에서 관찰된 전과 후 비교 결과, 작업구역의 A-가중치 등가소음수준은 개선 전 86.52 dB(A)에서 개선 후 80.84 dB(A)로 감소하였고, 감소량은 5.68 dB였다. 또한 60초 A-가중치 등가소음수준이 85 dB(A) 이상이었던 고정 측정지점은 개선 전 14개소(60.9%)에서 개선 후 0개소(0.0%)로 감소하였다. 이러한 변화는 공학적 개선 이후 작업구역 전반의 고정지점 소음수준이 낮아지고 상대적 고소음 지점의 분포도 함께 축소되었음을 나타낸다. 부트스트랩 기반 95% 신뢰구간은 4.94~6.42 dB로 산출되었으나,

동일 작업구역 내 고정지점들 사이에 공간적 상관이 존재할 가능성이 있으므로 해당 신뢰구간은 관찰된 소음 저감 효과의 방향과 규모를 보조적으로 제시하는 정보로 해석할 필요가 있다.

개선 전과 후 소음의 주파수 특성 변화는 Figure 5에 제시하였다. Figure 5(a)는 작업구역 대표 측정지점에서 측정된 1/3 옥타브 대역 스펙트럼을, Figure 5(b)는 공학적 개선 적용 지점 전면에서 측정된 스펙트럼을 나타낸다. 각 그래프의 가로축은 1/3 옥타브 대역 중심주파수(Hz), 세로축은 A-가중치 음압수준(dB(A))을 나타낸다. 작업구역 대표 측정지점의 1/3 옥타브 대역 스펙트럼에서는 개선 전 가장 높은 대역 수준이 3.15 kHz에서 82.2 dB(A)였고, 개선 후에는 2.5 kHz에서 77.6 dB(A)로 나타나 전반적인 수준 저하가 확인되었다. 또한 개선 전 중·고주파 대역에서 상대적으로 높게 분포하던 소음수준은 개선 후 전반적으로 낮아졌으며, 1 kHz 부근에서도 감소가 확인되었다. 공학적 개선 적용 지점 전면의 스펙트럼에서는 변화가 더 뚜렷하게 나타났다. 개선 전 가장 높은 대역 수준은 5 kHz에서

Table 5. Paired A-weighted equivalent sound levels at 23 fixed locations before and after engineering control in the ice cream bar-line process

Measure	Pre-intervention	Post-intervention	Reduction	95% CI, dB	p-value
A-weighted equivalent sound level, dB(A)	86.52	80.84	5.68	4.94 ~ 6.42	< 0.001

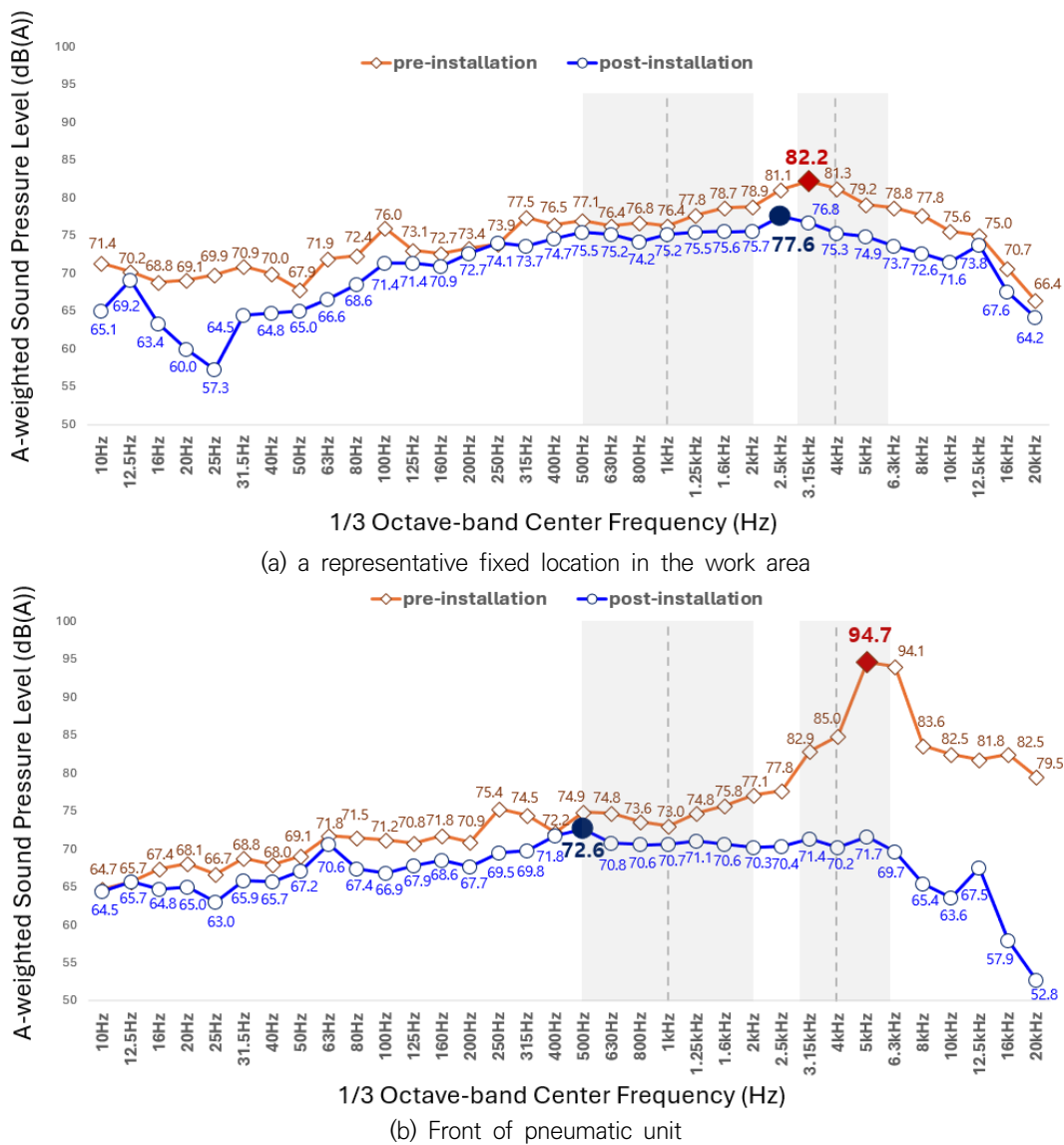


Figure 5. Pre- and post-intervention 1/3 octave-band spectra measured at (a) a representative fixed location in the work area and (b) the front of the improved pneumatic unit

94.7 dB(A)였으나, 개선 후에는 전반적인 수준이 낮아졌고, 특히 4 kHz 이상 고주파 대역에서 저감이 두드러졌다. 이는 공압유닛 개선이 소음원 근접부에서의 고주파 성분 저감과 관련된 변화를 만들었음을 보여준다.

공압유닛 개선 후 작업구역의 A-가중치 등가소음수준은 감소하였고, 85 dB(A) 이상 고정지점도 사라졌으며, 1/3 옥타브 분석에서는 1 kHz 부근과 중·고주파 대역의 저감이 확인되었다. 특히 공압유닛 전면에서는 4 kHz 이상 대역의 감소가 뚜렷하게 나타났다. 이러한 결과는 소음수준과 주파수 특성을 함께 평가하여 작업 조건과

장비 운전 방식에 따라 소음 노출 양상이 달라질 수 있음을 보여준다(Kim et al., 2025). 또한 구조물 설치 전과 후를 비교하여 공학적 개입의 소음 저감 효과를 평가한 선행연구와도 일치한다(Lee et al., 2024). 공압 기반 설비는 구조적 개선을 통해 실질적인 소음 저감 효과를 기대할 수 있는 주요 소음원이며, 이러한 점은 에어노즐 계통 설비를 대상으로 한 선행연구에서도 확인된 바 있다(Jeon et al., 2003). 이는 공압유닛 개선이 단순한 외함 설치에 그친 것이 아니라 공압 토출음과 누설경로를 함께 관리함으로써 작업구역 전반의

소음수준과 고주파 성분을 동시에 감소시키는 데 기여하였음을 의미한다. 또한 식품제조업에서는 소음 저감과 함께 위생성, 세척 용이성, 점검 및 정비 접근성이 동시에 확보되어야 하므로, 이러한 개선 방식은 식품 생산설비에 적용 가능한 공학적 소음저감 사례로 볼 수 있다.

한편 이러한 결과는 식품제조업의 소음관리가 단순한 측정값 저감에 머무르지 않고, 청력보존 활동과 연계된 관리체제로 확대될 필요가 있음을 보여준다. 박미진 등(2019)은 청력손실 예방활동이 측정과 검진 중심 단계에서 교육, 인식개선, 실제 소음저감 단계로 확장될 수 있음을 제시하였다. 김규상 등(2023)은 소음 노출 근로자의 청력손실을 해석할 때 다른 건강요인도 함께 고려할 필요가 있음을 제시하였다. 또한 구정완 등(1998)은 청력보존 프로그램 수행 시 소음 관련 지식과 태도와 같은 행동 요인을 함께 반영할 필요가 있다고 하였다. 이러한 점을 종합하면, 식품제조업 사업장에서는 작업환경측정과 특수건강진단을 통한 지속적 평가, 작업자 인식과 보호행동을 반영한 교육 및 관리, 그리고 실제 설비 개선을 함께 포함하는 청력보존 관리체계가 필요하다. 공압유닛 개선을 통해 확인된 작업구역 소음수준 저감 효과도 이러한 통합적 관리체계 안에서 평가되고 활용될 필요가 있다. 아울러 소음성 난청 승인건수와 장애급여 지급액이 최근 빠르게 증가하고 있으며, 2024년 승인건수 중 70대 이상 비중도 49.0%로 보고되었다(KEF, 2025). 이러한 현실은 고위험 공정에 대한 선제적 소음관리와 공학적 개선이 건강보호뿐 아니라 사회적 부담 완화 측면에서도 중요함을 보여준다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 단일 사업장의 특정 공정을 대상으로 수행한 현장기반 전과 후 비교연구이므로 결과의 일반화에는 한계가 있다. 둘째, 공학적 개선 효과 평가는 동일 작업구역 내 23개 고정지점의 개선 전과 후 비교를 기반으로 하였으므로, 작업자 개인의 8시간 시간가중평균 노출 저감효과를 직접 입증한 것은 아니다. 셋째, 공학적 개선 전과 후 비교에 활용된 23개 고정지점은 동일 작업구역 내에 위치하므로 측정값 간 공간적 상관성이 존재할 가능성이 있다. 따라서 연구의 결과는 동일 작업구역 내 고정지점에서 관찰된 전과 후 변화에 대한 평가로 해석해야 하며, 95% 신뢰구간과 p-value는 독립 표본을 전제로 한 엄밀한 모집단 추론 결과라기보다 소음 저감 효과의 방향과 규모를 보조적으로 설명하는 정보로 이해할 필요가 있다.

넷째, 설문 비교에서도 고소음 공정군과 저소음 공정군은 공정 구성, 직무 특성, 연령 및 근무경력 분포가 상이하였으므로 응답 차이에는 소음수준 외의 요인이 일부 반영되었을 가능성이 있다. 또한 연구에 사용한 설문도구는 선행연구를 참고하여 사업장 특성에 맞게 구성한 조사도구이며, 타당도와 신뢰도에 대한 검증이 완료된 표준화 척도는 아니라는 한계가 있다. 향후 반복 측정 시점 확대와 작업자 개인노출 재평가를 포함한 후속연구가 이루어진다면 해석력과 일반화 가능성을 더욱 높일 수 있을 것이다.

IV. 결 론

식품제조업 생산현장을 대상으로 근로자의 소음 인식 수준을 조사하고, 최근 3년간의 공정별 작업환경측정 소음 결과와 함께 검토하여 소음 개선 우선순위 공정을 선정한 뒤, 선정된 공정에서 공압유닛에 대한 공학적 개선 전과 후 작업구역 소음환경 변화를 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 소음 인식 수준 조사 결과, 고소음 공정군은 저소음 공정군에 비해 소음 설비 주변 작업 및 1 m 이내 근접작업 빈도가 높았고, 의사소통 어려움과 작업영향 관련 부담도 더 크게 나타났다. 또한 두 군 모두에서 소음저감의 우선순위로 '설비개선'을 가장 많이 선택하였다. 이는 공정별 소음관리 우선순위를 정할 때 작업자의 근접작업 특성과 주관적 소음 경험을 함께 고려할 필요가 있음을 보여준다.

둘째, 공정별 작업환경측정 결과를 비교한 결과, 빙과 bar-line 공정은 최대 측정값, A-가중치 등가소음수준, 85 dB(A) 이상 측정 비율이 모두 가장 높아 소음개선 우선순위 공정으로 확인되었다. 이는 공정별 소음 수준을 단순 평균 노출 수준만으로 판단하기보다 최대 측정값과 고소음 노출의 반복 정도를 함께 고려하는 접근이 필요함을 보여준다.

셋째, 빙과 bar-line 공정의 공압유닛에 흡음 및 차음 구조, 관통부 및 틈새 누설 저감, 점검창과 개폐 구조를 포함한 공학적 개선을 적용한 결과, 동일 작업구역 23개 고정지점의 A-가중치 등가소음수준은 개선 전 86.52 dB(A)에서 개선 후 80.84 dB(A)로 5.68 dB 감소하였고, 85 dB(A) 이상이 관찰된 고정 측정지점도 14개소에서 0개소로 감소하였다. 이러한 결과는 공압유닛에 대한 구조적 개선이 작업구역 전반의 소음 수준

저감과 상대적 고소음 지점 분포 축소에 실질적으로 기여할 수 있음을 의미한다.

넷째, 1/3 옥타브 대역 분석에서는 작업구역 대표 지점과 공압유닛 전면 모두에서 1 kHz 부근 및 중·고주파 대역의 저감이 확인되었으며, 특히 공압유닛 전면에서는 4 kHz 이상 고주파 대역의 감소가 뚜렷하게 나타났다. 이는 공학적 개선이 단순한 외함 설치를 넘어 공압 토출음과 누설 경로를 함께 관리함으로써 소음원 근접부의 고주파 성분 감소에 효과적으로 작용하였음을 보여준다.

이상의 결과는 식품제조업 생산현장의 소음관리가 작업자 인식 수준과 공정별 소음지표를 함께 활용하여 우선순위 공정을 선정하고, 근접작업 빈도가 높은 공압 설비를 중심으로 공학적 개선을 적용하는 방향으로 추진될 필요가 있음을 확인하였다. 또한 식품제조업에서는 소음저감 대책이 단순한 차음구조 설치에 그쳐서는 안 되며, 위생성, 세척 용이성, 점검 및 정비 접근성, 배관 및 호스 관통부의 누설 관리까지 함께 확보하는 방식으로 설계되어야 한다. 따라서 식품제조업 생산현장의 소음관리는 우선순위 공정 선정, 공압 설비 중심의 공학적 개선, 위생 및 정비 접근성을 반영한 현장 적용형 설계, 그리고 개선 후 작업구역 소음수준과 주파수 특성 변화를 함께 확인하는 통합적 청력보존 관리체제로 운영될 필요가 있다.

References

- Arezes PM, Bernardo CA, Mateus OA. Measurement strategies for occupational noise exposure assessment: A comparison study in different industrial environments. *Int J Ind Ergon* 2012;42(1):172-177 (<http://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.10.005>)
- Eoh WS, Ham WS, Kim HW. A study on recognition of noise and hearing threshold among workers in a cosmetics manufacturing factory. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2011;21(3):162-167 Available from: www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artid=ART001593950
- European Hygienic Engineering & Design Group (EHEDG). Hygienic design principles (Guideline GL 8) [Internet]. Brussels: EHEDG; 2025 [cited 2026 Mar 06]. Available from: <https://www.ehedg.org/guidelines-working-groups/guidelines/guidelines/detail/hygienic-design-principles>
- International Organization for Standardization. ISO 9612:2025 Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method [Internet]. Geneva: ISO; 2025 [cited 2026 Mar 06]. Available from: <https://www.iso.org/standard/81317.html>
- Jeon ST, Kim JH, Lee KO. An experimental study on decrease of noise for air nozzle. *J Korean Soc Saf* 2003;18(4):51-56 Available from: <https://koreascience.kr/article/JAKO200315875836323.pdf>
- Kang TS. Assessment of apartment building construction workers' noise exposure. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2023;33(3):308-316 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.3.308>)
- Kim KS, Sung JM, Kim EA. Noise exposure levels of workplaces exposed to noise and rate of exceedance of exposure limits. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2020;30(2):185-195 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2020.30.2.185>)
- Kim KS, Sung JM, Kim EA. Cardiovascular-metabolic diseases affecting hearing loss in workers exposed to noise. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2023;33(3):332-345 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.3.332>)
- Kim SH, Park HD, Park HH, Kwon JW, Jung KH. Analysis of noise levels and frequency characteristics based on fire vehicle window states and rescue equipment operation modes. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2025;35(1):71-80 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2025.35.1.71>)
- Koo JW, Park CY, Chung CK, Lee KS, Yim HW, Phee YG, Oh SY, Ham WS. The effects of knowledge and attitude about noise on hearing conservation behavior and hearing loss. *J Korean Occup Environ Med* 1998;10(4):476-483 (<http://doi.org/10.35371/kjoem.1998.10.4.476>)
- Korea Enterprises Federation (KEF). Current status and implications of workers' compensation recognition for noise-induced hearing loss [Internet]. Seoul: Korea Enterprises Federation; 2025 [cited 2026 Mar 21]. Available from: https://www.kefplaza.com/web/file/gc38139a/218/download.do?atchFileId=FILE_0000000000007266&fileSn=1
- Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). Methods for measuring and evaluating workplace noise (KOSHA Guide W-23-2016) [Internet]. Ulsan: KOSHA; 2016 [cited 2026 Mar 06]. Available from: <https://oshri.kosha.or.kr/extappKosha/kosha/guidance/fileDownload.do?fileOrdrNo=3&sfhlnTchnlgyManualNo=W-23-2016>
- Lee MH, Park JM, Kang SY, Park JY, Kwon TH, Yoon CS. Comparative analysis of particulate matter, black

- carbon, and noise levels before and after installation of a safety wall in a pedestrian walkway within an urban tunnel. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2024;34(3):214-221 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2024.34.3.214>)
- Ministry of Employment and Labor (MoEL). Notification on workplace monitoring and quality control (MoEL Public Notice No. 2020-44) [Internet]. Sejong: Ministry of Employment and Labor; 2020 [cited 2026 Apr 23]. Available from: <https://www.law.go.kr/LSW//admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000186111&chrClsCd=010201>
- Ministry of Employment and Labor (MoEL). 2024 Workers' health examination results [Internet]. Sejong: Ministry of Employment and Labor; 2025 [cited 2026 Mar 06]. Available from: https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20251201682
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2025 major policy plan [Internet]. Cheongju: MFDS; 2025 [cited 2026 Mar 06]. Available from: https://www.mfds.go.kr/files/upload/etc/2025_mfds_1.pdf
- Neitzel R, Seixas N. The effectiveness of hearing protection among construction workers. *J Occup Environ Hyg* 2005;2(4):227-238 (<http://doi.org/10.1080/15459620590932154>)
- Park MJ, Yoon CS, Paek DM. Safety and health culture change stages: A reflection on 40 years of hearing conservation history at a multinational company. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2019;29(3):298-309 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2019.29.3.298>)
- Sheppard A, Ralli M, Gilardi A, Salvi R. Occupational Noise: Auditory and Non-Auditory Consequences. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17(23):8963
- Toppila E, Pyykkö I, Pääkkönen R. Evaluation of the increased accident risk from workplace noise. *Int J Occup Saf Ergon* 2009;15(2):155-162 (<http://doi.org/10.1080/10803548.2009.11076796>)
- Verbeek JH, Kateman E, Morata TC, Dreschler WA, Mischke C. Interventions to prevent occupational noise-induced hearing loss: a Cochrane systematic review. *Int J Audiol* 2014;53(Suppl 2):S84-S96 (<http://doi.org/10.3109/14992027.2013.857436>)

<저자정보>

김용민(박사과정), 이준원(교수), 황준영(연구원), 어원석(교수)