

# 연발 충격원 시작품에 적용하기 위한 어린이의 뛰어들 충격 특성

## Characteristics of Children's Running Impact for the Application of Continuous Impact Trial Product

송민정<sup>†</sup> · 김수홍<sup>\*</sup> · 류종관<sup>\*\*</sup> · 한명호<sup>\*\*</sup> · 박현구<sup>\*\*\*</sup>  
Minjeong Song<sup>†</sup>, Suhong Kim<sup>\*</sup>, Jongkwan Ryu<sup>\*\*</sup>,  
Myungho Han<sup>\*\*</sup> and Hyeonku Park<sup>\*\*\*</sup>

(Received June 19, 2023 ; Revised June 29, 2023 ; Accepted June 30, 2023)

**Key Words :** Characteristics of Children's Running Impact(어린이의 뛰어들 충격 특성), Hits/3turns(3회전당 가진횟수), Application to the Trial Product(시작품에의 적용), Specification of the Trial Product(시작품 사양)

### ABSTRACT

This study was conducted to understand the characteristics of children's running on the premise that the actual shock causes the child to rotate in a circle with a radius of 0.75 m. The main goal of this study was to understand the characteristics that can be used to create a prototype that simulates the running of a real child. To this end, the jumps of 10 children with different heights and weights were measured and analyzed. First, even with the deviation caused by the location of the child's running on the floor of the laboratory where the measurement was conducted, it was found that the child's running was not very consistent with each shock. This situation implies that spring elasticity and specifications of excitation feet must be different for each excitation foot. The average level of floor impact sound for children is 32.6 dB(A) for one person, 37.5 dB(A) for two, 38.4 dB(A) for three, and 40.8 dB(A) for four, and it is reasonable to allow the trial product to generate this level of floor impact sound. However, this presentation level is only applicable to the floor structure performance laboratory of C University's reverberation laboratory. The time required for a child to run was evaluated to be approximately 8 s, and when converted into revolutions per minute (r/min), it can be said that a motor specification of approximately 22.5 times is required. In addition, the number of applicable prosthetic legs according to the radius of the rotating body was proposed, as shown in Table 5, based on the number of times a child has per three turns.

### 1. 서 론

현행 바닥충격음 차단성능 측정에 사용되는 태핑머

신, 뱅머신 그리고 고무공 충격원의 충격 형태와 특성이 실제 국내 공동주택에서 발생하고 있는 어린이 뛰과 충격음의 연속성 특성 관점에서 차이가 있었다<sup>(1,2)</sup>. 연속적 가진 측면에서 표준충격원의 보완을 위해 송민

<sup>†</sup> Corresponding Author ; Member, Chonnam National University, Senior Researcher

E-mail : minjeongsong@hanmail.net

<sup>\*</sup> Member, Graduate School of Chonnam National University, Student

<sup>\*\*</sup> Member, School of Architecture Chonnam National University, Professor

<sup>\*\*\*</sup> Member, Dept. of Architecture Songwon University, Professor

<sup>‡</sup> Recommended by Editor Yong Hee Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

정 등은 어린이가 방안을 이리저리 뛰어다니는 상황을 재현할 수 있는 장치에 관한 특허(바닥 충격 실험 장치)를 출원 및 등록하였다<sup>(3)</sup>. 이후, 전문가 설문조사를 통해 새로운 충격원 개발의 필요성 측면에서는 전문가들 대부분 개발의 필요성에 공감하고 있음을 밝혔다<sup>(4,5)</sup>. 연속성 충격원 제작을 위해 어린이의 뛰어다님 속도와 보폭 그리고 초당 바닥 가진 횟수 등의 데이터를 확보하고 분석하여 특성을 파악하고<sup>(6)</sup>, 실제 어린이 땀을 반영한 연속성 충격원 시작품을 Fig. 1<sup>(3)</sup>의 특허를 기반으로 Fig. 2와 같은 형태로 제작하였다. 연속성 충격원 시작품은 어린이 한 명이 직선 및 원형상으로 자유

롭게 뛰어다니는 상황을 기반으로 제작되었다. 연속성 충격원 시작품이 제작 후 실제 어린이가 연속적으로 달릴 때의 충격음과 충격원의 충격음을 비교·분석을 통해 연속성 충격원 시작품이 어린이의 연속적 땀을 효과적으로 모사함이 나타났다<sup>(5)</sup>.

하지만 실제 어린이의 땀 형태와 어린이의 수, 어린이의 성장 정도에 따라 다양한 특성과 충격력을 갖는 무작위적 특성을 갖는데<sup>(7)</sup>, 현재 개발된 연속성 충격원은 1명의 어린이가 반경 0.75 m 원형의 진로를 따라 일정한 속도로 땀 때를 모사하고 있다. 따라서 연속성 충격원 시작품(이하 ‘시작품’)의 무작위적인 어린이 땀 모사를 위해 시작품의 회전반경 0.75 m를 따라 다양한 구성의 어린이가 원형상으로 뛰어다닐 때의 충격 특성 파악이 필요하다.

김주년의 연구<sup>(8)</sup>에서 속도는 충격력과 비례하는 관계가 있었는데 이를 고려해 어린이 수, 키, 몸무게와 속도의 관계 분석을 통해 어린이 땀에 미치는 영향 요인을 파악하고 이를 시작품 특성에 반영하여 다양한 어린이 땀 패턴을 재현하는 충격원 개발이 가능하리라 판단된다.

이 연구에서는 시작품 회전 반경을 따라 어린이를 뛰어다니게 하여 이에 따른 바닥 충격 특성을 조사하였다. 어린이의 땀 특성 및 충격력의 영향인자로 볼 수 있는 연령, 달리는 속도와 어린이 숫자(1~4인)를 영향인자로 하여 실험을 진행하였고 각 영향인자에 따라 어떠한 특성을 보이는지 분석하였다. 측정결과를 바탕으로 시작품 충격원에 적용해야 하는 특성을 파악하였다. 또한 분석 내용을 토대로 시작품에의 적용 사양도 제시하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험 참여 어린이 기본 정보

어린이의 신체적 지표인 키나 몸무게는 충격력이나 속도에 영향을 미칠 수 있는 요소이다. 따라서 이 실험에서는 실제 어린이의 나이, 키, 몸무게가 충격 특성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보려고 이를 조사하였다. 어린이 10명의 정보는 2022년 9월을 기준으로 작성되었으며, 그 결과는 Table 1과 같이 나타났다. 기본적인 정보를 분석한 결과 나이는 키와 비례하는 경향을 보였기 때문에 이 실험의 결과 분석에서는 키와 몸무게만을 영향인자로 고려하였다.

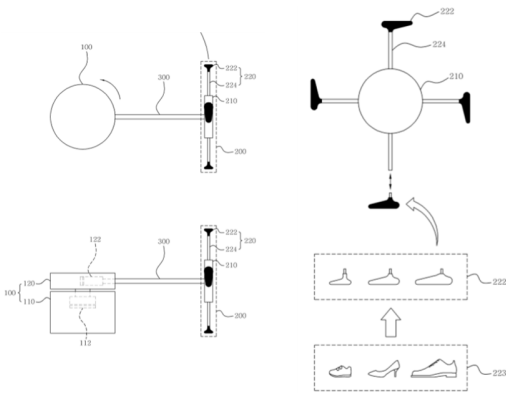


Fig. 1 Patent concept figure of new impact source



Fig. 2 Manufactured continuity impact source prototype

**Table 1** Child birth & body information (2022.09.)

| Division | Birth      | Height [cm] | Weight [kg] |
|----------|------------|-------------|-------------|
| Child 1  | 2016.02.07 | 131         | 38          |
| Child 2  | 2016.06.21 | 123         | 22          |
| Child 3  | 2016.09.28 | 119.4       | 24          |
| Child 4  | 2016.10.14 | 118         | 17          |
| Child 5  | 2018.06.07 | 113         | 16          |
| Child 6  | 2018.01.02 | 112         | 20          |
| Child 7  | 2017.12.15 | 108.3       | 14          |
| Child 8  | 2017.10.07 | 106.1       | 18          |
| Child 9  | 2017.07.10 | 104.8       | 15          |
| Child 10 | 2018.06.27 | 103         | 17          |

**Table 2** Experiment scenario

| No.            | Details                   | Person | Requested speed |
|----------------|---------------------------|--------|-----------------|
| C1*,21**,41*** | Child 1 running           | 1      | Free            |
| C2,22,42       | Child 2 running           |        |                 |
| C3,23,43       | Child 3 running           |        |                 |
| C4,24,44       | Child 4 running           |        |                 |
| C5,25,45       | Child 5 running           |        |                 |
| C6,26,46       | Child 6 running           |        |                 |
| C7,27,47       | Child 7 running           |        |                 |
| C8,28,48       | Child 8 running           |        |                 |
| C9,29,49       | Child 9 running           |        |                 |
| C10,30,50      | Child 10 running          |        |                 |
| C11,31,51      | Child 1, 10 running       | 2      | Free            |
| C12,32,52      | Child 2, 9 running        |        |                 |
| C13,33,53      | Child 3, 8 running        |        |                 |
| C14,34,54      | Child 4, 7 running        |        |                 |
| C15,35,55      | Child 5, 6 running        |        |                 |
| C16,36,56      | Child 1, 5, 10 running    | 3      | Free            |
| C17,37,57      | Child 2, 6, 9 running     |        |                 |
| C18,38,58      | Child 3, 4, 8 running     | 4      | Free            |
| C19,39,59      | Child 1, 3, 7, 10 running |        |                 |
| C20,40,60      | Child 2, 4, 6, 8 running  |        |                 |

C1\*: Child 1's 1st running, 21\*\*: 2nd running, 41\*\*\*: 3rd running



**Fig. 3** 1 child and 2 children running

**2.2 측정방법**

실험은 제반 조건의 제어가 용이한 C 대학교 잔향실형 실내의 바닥충격음 측정 음원실과 수음실을 활용하였다.

원형상 경로를 따른 가진의 평균 에너지 취득 관점에서 중앙점을 선택하여 수음실에 소음계(NL-52)를 1.2 m 높이로 설치하여 수행하였다. 수음실의 배경소음레벨은 20.1 dB(A)로 나타났다. 제작된 시작품과 어린이의 상대성을 파악하고자 간단한 실험을 통해 데이터를 얻고자 하였기 때문에 중앙점을 선택하여 실험을 실시하였다.

음원실에서, 어린이는 반경 0.75 m의 경로를 따라 어린이가 뛰게하였다. 반경 0.75 m는 직경 1.5 m로서 연발 충격원을 현장에 거치시 무리없이 적용될 수 있는 크기이며, 실제 공동주택의 거실 부분에서 확보할 수 있는 직경으로 판단되어 이와 같이 정하였다.

실험 시나리오 구성은 Table 2과 같고, 각 시나리오 별로 20초 동안 측정하였다. 실험 시나리오는 Fig. 3과 같이 어린이 10명을 대상으로 먼저 한 명씩 시작품의 가진 반경인 0.75 m의 안내선을 따라 20초간 맨발로 뛰게 한 후에, 2~4명(서로 180°, 120°, 90° 위치에서 시작)을 동시에 달리게 하되 서로 부딪히지 않는 선에서 자유롭게 맨발로 20초간 달리게 하고 이를 3회 반복했다. 여러 어린이가 달릴 때는 참가 어린이들의 나이를 고려하여 균등하게 짝을 지어 실험을 진행하였다. 4명까지 뛰게한 이유는 뛰는 인원의 증가에 따른 충격음 레벨 변화를 파악해보기 위함이다.

다만 실제 어린이가 뛰어다님에 대한 기존 측정방법은 따로 없기 때문에 연속성 충격음원에 대한 평가 방법으로 널리 활용되고 있는  $L_{Aeq}$ 를 단일평가 지수로 활용하였음을 부가하여 밝혀둔다.

**2.3 실험실 바닥판 가진 위치별 충격음 편차**

이 실험의 원형 경로로 달리는 경우, 기존의 한 지점에서의 실험과는 달리 슬래브의 여러 부위를 가진 하게 되어 각 지점별 충격음 레벨의 편차가 있는 경우 실험에 영향을 미치게 된다.

이와같은 영향을 조사하기 위해 표준 중량 충격원인 고무공을 40 cm 높이에서 어린이 회전 반경에 따라 Fig. 4와 같이 반경 0.75 m의 원둘레를 24등분하고, 각 등분한 포인트 별로 3회씩 가진하였다. 고무공 40 cm 높이는 Fig. 5에서 보듯이 약 40 dB(A)~50 dB(A)의 충격음을 발생하기 때문에 어린이의 뛰어다님에 비해 다소 높은 레벨이긴 하지만 위치별 편차를 파악하는

데 적당한 높이라 판단되었기 때문에 설정하였다.

측정은 2회 실시하였으며, 1회차 실험 측정 데이터의 결과는 Fig. 5와 같다. 2회차를 평균한 결과, 각 24군데 가진 위치별로 레벨은 43.8 dB(A)~48.0 dB(A) 분포를 보였고, 평균은 46.3 dB(A)이었으며, 표준편차는 1.2, 최대값-최소값은 4.2로 평가되어 바닥의 각 가진 위치별로 이와같은 편차가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 어린이의 뛰어다님 가진편차 발생

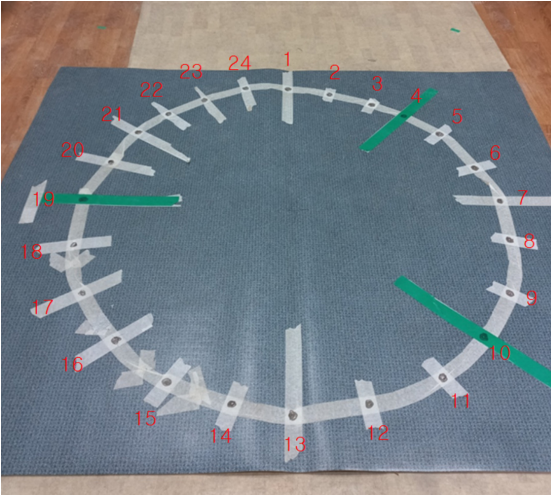


Fig. 4 Excitation path and 24 circular impact points

시 감안하여 그 편차를 파악하는데 보정자료 등으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 어린이 매 뛰어다님 가진 편차

Fig. 6은 C1 어린이 한 명이 20초 동안 실험실 바닥을 가진하며 뛰어다니는 충격음 레벨을 시간 경과에 따라 표현한 것이다. Fig. 6에서 충격음 레벨 추세를 보면, 우하향하고 있다. 이는 시간경과에 따라 충격음 레벨이 낮아지고 있는 것인데 20초 동안 뛰어다니느라 힘이 떨어진 것이 아닌가 판단한다. 다른 어린이의 경우도 대체로 이러한 양태를 보이고 있었다. 이러한 결과는 기존 실험 결과에서도 일관적으로 나타나고 있었다.

그림에서 붉은 원형으로 표시된 부분은 어린이가 바닥판을 가진한 시간(X축)과 그에 해당하는 충격음 레벨(Y축)이다. Fig. 6에서 이렇게 튀어나온 부분의 개수를 세어 보면 50개이다. 이는 C1 어린이는 20초 동안 1회차 측정에서 50번의 바닥을 가진하였음을 보여준다. 이것이 C1 어린이의 측정데이터라고 할 수 있다.

이와같은 과정을 통해 C1 어린이부터 C10 어린이까지 10명이 3회 측정한 결과를 일일이 파악하였으며 그 결과를 정리한 것이 Table 3이다. 표에는 측정시간인 20초 동안의 바닥 타격 횟수, 타격간격(ms), 3회전

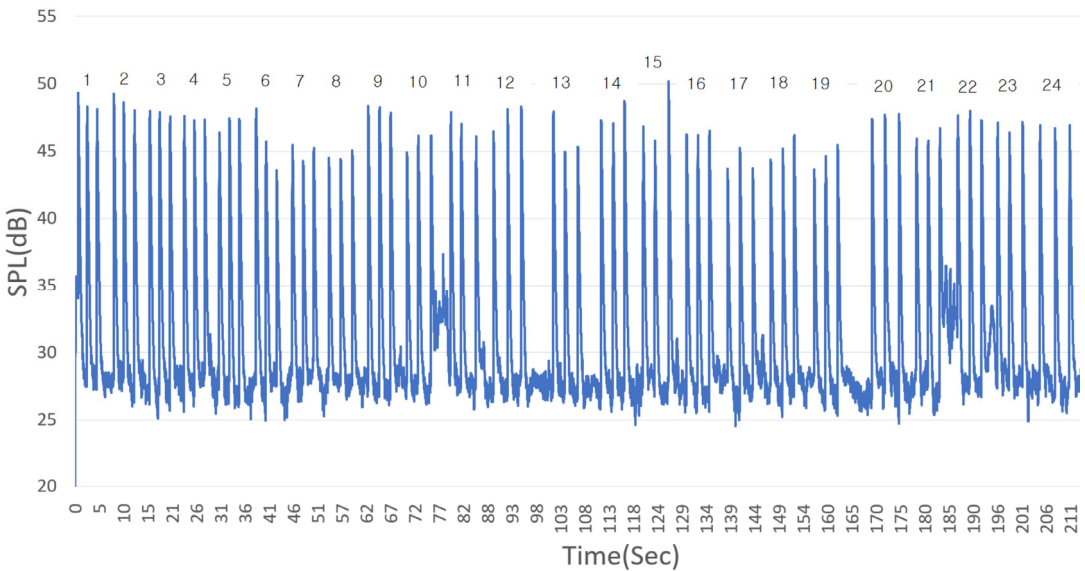
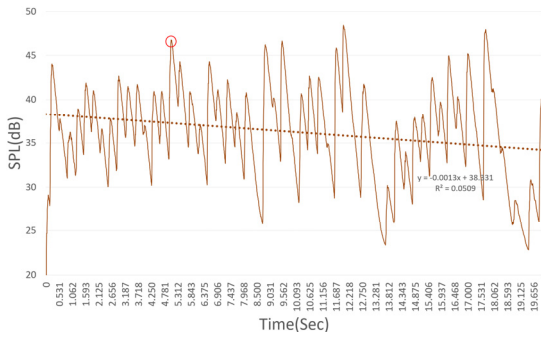


Fig. 5 Measurement results for each impact point (1st time)



**Fig. 6** Child C1's running time history measurement results (1st round)

하는 동안의 바닥 타격 횟수, 뛰어다니는 발자국 간격(cm), 타격레벨 평균(dB(A)), 타격레벨 표준편차, 타격레벨 최대값, 최소값, 최대값과 최소값의 차이,  $L_{Aeq}$ 를 정리하였다.

Table 3의 결과와 고무공을 일정한 높이에서 떨어뜨려 측정된 결과인 Fig. 5의 결과와 비교하면, 실험실 바닥 가진 위치별 편차가 있음을 감안하더라도 어린이의 뛰어다니는 매 충격마다의 일관성이 매우 떨어진다고 할 수 있다. 그 예로서 어린이 10명의 타격레벨 ‘최대값-최소값’의 차이를 보면, 작은 경우는 15 dB(A) 정도이고 큰 경우는 20 dB(A) 정도이다. 매우

**Table 3** Results of children's experiments 1

| Child              | C1 (131 cm, 38 kg) |      |      |      | C2 (123 cm, 22 kg)   |      |      |      | C3 (119.4 cm, 24 kg) |      |      |      | C4 (118 cm, 17 kg)   |      |      |      | C5 (113 cm, 16 kg)  |      |      |      |
|--------------------|--------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|
| No.                | 1st                | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                  | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                  | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                  | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                 | 2nd  | 3rd  | Avg. |
| Hits/20 s          | 50.0               | 58.0 | 57.0 | 55.0 | 48.0                 | 59.0 | 63.0 | 56.7 | 58.0                 | 53.0 | 59.0 | 56.7 | 64.0                 | 68.0 | 67.0 | 66.3 | 69.0                | -    | -    | 69.0 |
| Hits interval [ms] | 24.0               | 20.7 | 21.1 | 21.9 | 25.0                 | 20.3 | 19.0 | 21.5 | 20.7                 | 22.6 | 20.3 | 21.2 | 18.8                 | 17.6 | 17.9 | 18.1 | 17.4                | -    | -    | 17.4 |
| Hits/3turns        | 24.0               | 23.0 | 29.0 | 25.3 | 29.0                 | 29.0 | 30.0 | 29.3 | 29.0                 | 32.0 | 39.0 | 33.3 | 30.0                 | 30.0 | 37.0 | 32.3 | 40.0                | -    | -    | 40.0 |
| Interval [cm]      | 19.6               | 20.5 | 16.2 | 18.8 | 16.2                 | 16.2 | 15.7 | 16.1 | 16.2                 | 14.7 | 12.1 | 14.4 | 15.7                 | 15.7 | 12.7 | 14.7 | 11.8                | -    | -    | 11.8 |
| Avg. [dB]          | 40.2               | 40.1 | 39.1 | 39.8 | 37.2                 | 36.0 | 33.5 | 35.6 | 32.3                 | 30.8 | 28.6 | 30.5 | 31.8                 | 31.4 | 32.8 | 32.0 | 30.3                | -    | -    | 30.3 |
| Std. [dB]          | 4.4                | 3.8  | 5.5  | 4.6  | 5.3                  | 4.7  | 4.4  | 4.8  | 3.8                  | 5.4  | 3.8  | 4.3  | 4.4                  | 3.2  | 3.2  | 3.6  | 3.0                 | -    | -    | 3.0  |
| Max. [dB]          | 48.3               | 50.6 | 50.6 | 49.8 | 46.7                 | 50.1 | 44.4 | 47.1 | 42.9                 | 43.7 | 39.7 | 42.1 | 44.5                 | 39.7 | 41.3 | 41.8 | 39.7                | -    | -    | 39.7 |
| Min. [dB]          | 28.3               | 33.2 | 28.5 | 30.0 | 25.9                 | 27.7 | 25.1 | 26.2 | 24.4                 | 23.3 | 22.9 | 23.6 | 24.3                 | 24.7 | 27.0 | 25.3 | 24.4                | -    | -    | 24.4 |
| Max.-Min. [dB]     | 20.1               | 17.3 | 22.1 | 19.8 | 20.8                 | 22.4 | 19.3 | 20.8 | 18.4                 | 20.4 | 16.8 | 18.6 | 20.3                 | 15.0 | 14.3 | 16.5 | 15.3                | -    | -    | 15.3 |
| $L_{Aeq}$          | 39.1               | 39.8 | 39.9 | 39.6 | 37.1                 | 36.9 | 33.7 | 35.9 | 32.0                 | 31.9 | 28.8 | 30.9 | 32.5                 | 30.6 | 32.4 | 31.8 | 29.7                | -    | -    | 29.7 |
| Child              | C6 (112 cm, 20 kg) |      |      |      | C7 (108.3 cm, 14 kg) |      |      |      | C8 (106.1 cm, 18 kg) |      |      |      | C9 (104.8 cm, 15 kg) |      |      |      | C10 (103 cm, 17 kg) |      |      |      |
| No.                | 1st                | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                  | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                  | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                  | 2nd  | 3rd  | Avg. | 1st                 | 2nd  | 3rd  | Avg. |
| Hits/20 s          | 65.0               | 64.0 | 62.0 | 63.7 | 75.0                 | 69.0 | 62.0 | 68.7 | 75.0                 | 60.0 | 67.0 | 67.3 | 73.0                 | 67.0 | 56.0 | 65.3 | 71.0                | 64.0 | 69.0 | 68.0 |
| Hits interval [ms] | 18.5               | 18.8 | 19.4 | 18.9 | 16.0                 | 17.4 | 19.4 | 17.6 | 16.0                 | 20.0 | 17.9 | 18.0 | 16.4                 | 17.9 | 21.4 | 18.6 | 16.9                | 18.8 | 17.4 | 17.7 |
| Hits/3turns        | 30.0               | 27.0 | 34.0 | 30.3 | 30.0                 | 37.0 | 40.0 | 35.7 | 30.0                 | 34.0 | 39.0 | 34.3 | 30.0                 | 41.0 | 34.0 | 35.0 | 37.0                | 37.0 | 40.0 | 38.0 |
| Interval [cm]      | 15.7               | 17.5 | 13.9 | 15.7 | 15.7                 | 12.7 | 11.8 | 13.4 | 15.7                 | 13.9 | 12.1 | 13.9 | 15.7                 | 11.5 | 13.9 | 13.7 | 12.7                | 12.7 | 11.8 | 12.4 |
| Avg. [dB]          | 28.8               | 27.7 | 27.1 | 27.8 | 31.7                 | 29.9 | 29.7 | 30.4 | 37.5                 | 35.7 | 37.6 | 36.9 | 30.1                 | 31.9 | 35.5 | 32.5 | 28.0                | 28.9 | 31.1 | 29.3 |
| Std. [dB]          | 4.0                | 2.9  | 3.1  | 3.3  | 3.8                  | 4.3  | 4.1  | 4.1  | 5.5                  | 3.4  | 4.0  | 4.3  | 3.6                  | 2.6  | 4.3  | 3.5  | 3.7                 | 2.8  | 3.4  | 3.3  |
| Max. [dB]          | 43.7               | 37.0 | 34.2 | 38.3 | 43.2                 | 41.8 | 43.6 | 42.9 | 50.2                 | 44.2 | 51.5 | 48.6 | 40.9                 | 37.2 | 45.0 | 41.0 | 40.8                | 36.0 | 42.0 | 39.6 |
| Min. [dB]          | 23.1               | 23.5 | 14.2 | 20.3 | 26.7                 | 23.7 | 23.3 | 24.6 | 24.8                 | 29.7 | 30.2 | 28.2 | 22.8                 | 25.8 | 25.8 | 24.8 | 23.2                | 23.8 | 24.3 | 23.8 |
| Max.-Min. [dB]     | 20.6               | 13.4 | 20.1 | 18.0 | 16.5                 | 18.1 | 20.3 | 18.3 | 25.4                 | 14.4 | 21.3 | 20.4 | 18.1                 | 11.4 | 19.2 | 16.2 | 17.6                | 12.2 | 17.6 | 15.8 |
| $L_{Aeq}$          | 30.3               | 27.4 | 26.6 | 28.1 | 32.7                 | 30.8 | 30.4 | 31.3 | 39.2                 | 35.0 | 38.1 | 37.4 | 30.4                 | 31.0 | 35.3 | 32.2 | 28.8                | 28.2 | 31.0 | 29.3 |

**Table 4** Results of children's experiments 2

| Details      | $L_{Aeq}$<br>[Avg.] | Time/3turns<br>[s] | RPM  | Impact Num./<br>3turns |
|--------------|---------------------|--------------------|------|------------------------|
| C1           | 39.6                | 7.6                | 23.7 | 25.3                   |
| C2           | 35.9                | 7.0                | 25.7 | 29.3                   |
| C3           | 30.9                | 8.2                | 22.0 | 33.3                   |
| C4           | 31.8                | 8.2                | 22.0 | 32.3                   |
| C5           | 29.7                | 10.0               | 18.0 | 40.0                   |
| C6           | 28.1                | 7.6                | 23.7 | 30.3                   |
| C7           | 31.3                | 8.8                | 20.5 | 35.7                   |
| C8           | 37.4                | 7.1                | 25.4 | 34.3                   |
| C9           | 32.2                | 8.2                | 22.0 | 35.0                   |
| C10          | 29.3                | 9.7                | 18.6 | 38.0                   |
| Avg.         | 32.6                | 8.2                | 21.8 | 33.4                   |
| C1, 10       | 40.2                | 8.8                | 20.5 | 64.7                   |
| C2, 9        | 38.0                | 7.7                | 23.4 | 62.7                   |
| C3, 8        | 38.7                | 6.9                | 26.1 | 58.7                   |
| C4, 7        | 35.0                | 7.9                | 22.8 | 66.3                   |
| C5, 6        | 35.4                | 9.4                | 19.1 | 71.0                   |
| Avg.         | 37.5                | 8.1                | 22.1 | 64.7                   |
| C1, 5, 10    | 39.3                | 9.2                | 19.6 | 99.0                   |
| C2, 6, 9     | 37.2                | 7.8                | 23.1 | 89.3                   |
| C3, 4, 8     | 38.8                | 7.7                | 23.4 | 84.3                   |
| Avg.         | 38.4                | 8.2                | 21.9 | 90.9                   |
| C1, 3, 7, 10 | 42.1                | 8.6                | 20.9 | 118.0                  |
| C2, 4, 6, 8  | 39.5                | 7.4                | 24.3 | 113.7                  |
| Avg.         | 40.8                | 8.0                | 22.5 | 115.9                  |

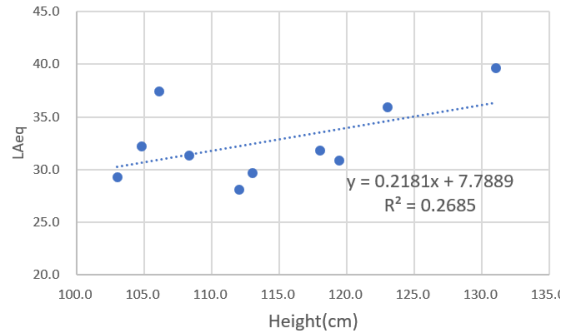
큰 편차를 보이고 있음을 알 수 있다.

따라서 어린이의 뛰어다남을 모사하기 위하여 제작되는 시작품은 어린이의 이러한 충격 특성을 반영하는 방안의 마련이 필요할 것으로 보인다.

이는 각 가진발별로 스프링 탄성력을 다르게 하는 방법과 각 가진발의 사양 변경 등을 통해 시도될 수 있을 것으로 판단한다.

**3.2 어린이 뒹 결과 및 분석**

어린이의 뒹에서 속도와 충격력에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 신체적 성장의 지표로 가정할 수 있는 키와 몸무게를 선정하였고 이를 토대로 분석하였다. 분석한 충격력 결과는 Table 3 및 Table 4와 같이 나타났다. Table 4는 어린이가 회전반경을 따라 3회전 하였을 때를 기준으로 3회전에 걸린 시간 및 3회전당 바닥 가진 횟수를 정리한 것이다.



**Fig. 7**  $L_{Aeq}$  changes according to heights

(1) 바닥충격음 레벨 수준 분석

연속성 가진의 평가지표로 적절하다 판단되는  $L_{Aeq}$  를 살펴보면 어린이 한 명이 달렸을 때는 29.3 dB(A) ~ 39.6 dB(A)의 분포를 보였다.

어린이의 수에 따른 영향을 보기 위해 1명, 2명, 3명, 4명이 뛰었을 때의 경향을 분석하였다. 먼저 1명이 달렸을 때와 2명이 달렸을 때를 비교하면 2명이 달렸을 때가 레벨이 높게 나타났는데, 2명 개개인이 혼자 달렸을 때 레벨의 평균치보다 높게 나타났다. 2명이 달렸을 때는 1명이 달릴 때보다 레벨이 높아지며, 개 개인의 레벨보다 높아지는데 이는 당연하게도 에너지 측면에서 2명이 달릴 때가 높기 때문인 것이다. 3명, 4명의 데이터도 분석한 결과, 어린이의 수가 증가할 수록 레벨이 높아지며, 그 레벨은 개개인이 달렸을 때의 레벨 평균보다 높은 경향을 보였다. 어린이 수가 증가할수록 가진 횟수가 증가하여 충격음 에너지 증가로 이어져 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 그 증가폭은 Table 4를 참조하면 된다. 다만, 이 결과는 C 대학교 잔향실험실에서 실시한 어린이들을 대상으로한 것임을 밝혀둔다.

이러한 결과에서, 시작품은 어린이 1명이 뛰어다닐 때는 평균값 32.6 dB(A)을 참고로 하여 이정도 수준의 바닥충격음 레벨을 발생시킬 수 있도록 하는 것이 타당하다고 할 수 있다. 2명이 뛰어다니는 경우를 가정하면 37.5 dB(A), 3명은 38.4 dB(A), 4명은 40.8 dB(A) 정도의 바닥충격음 레벨은 발생시킬 수 있도록 하는 것이 타당하리라 판단된다. 다만, 이러한 제시 레벨은 C 대학교 잔향실험실의 바닥구조 성능 실험실에만 해당하는 것임을 밝혀둔다.

참고로 키의 변화에 따른  $L_{Aeq}$ 와의 관계를 파악한 그림은 Fig. 7과 같다. 결정계수 값이 높지 않으나 키

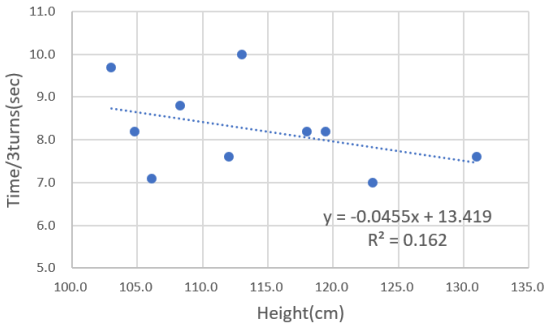


Fig. 8 Rotation time changes according to heights

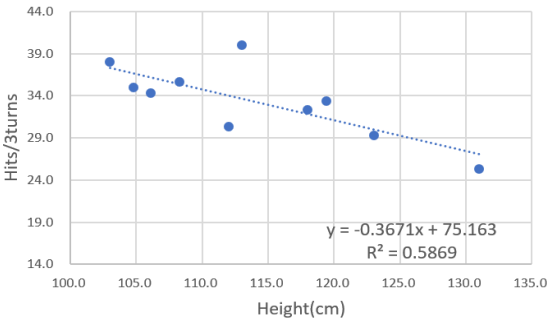


Fig. 9 Hits number changes according to heights

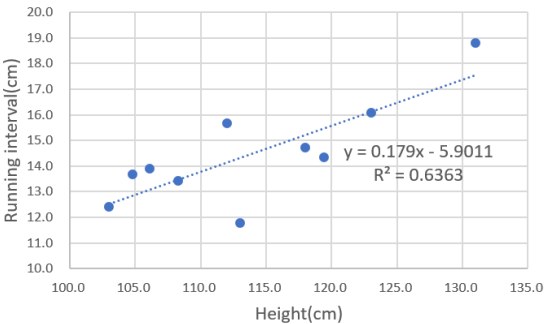


Fig. 10 Running interval changes according to heights

에 비례하여 충격음 레벨이 높아지는 경향성을 파악 하는데 의미가 있다고 할 수 있다. 몸무게와  $L_{Aeq}$ 와의 관계도 키의 경우와 대동소이하였다.

(2) 3회전당 회전속도 분석

3회전당 회전속도 분석은 어린이의 3회전당 걸린 시간을 보면, 8초 내외임을 알 수 있다. 빠른 경우는 7.1초 늦은 경우는 10초로 나타나고 있다. 어린이 여

러명이 뛰어다닐때도 8초 정도를 보이고 있음을 알 수 있다. 키와 3회전당 시간의 상관관계를 보여주는 Fig. 8을 보면 그 상관성이 크지 않음을 알 수 있다.

이와 같은 어린이의 뛰어다님 속도를 분당 회전 속도로 환산하면, Table 4의 RPM 향과 같다. 이러한 결과는 시작품 제작에 적용하여 회전 모터의 사양선택에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 어린이의 뛰어다님을 모사하려면 분당 22여 회의 회전속도가 요구된다고 할 수 있다.

(3) 3회전당 바닥 가진 횟수 및 뛰어다님 간격 분석

Fig. 6에서 보듯이, 시간 경과에 따라 어린이의 회전 속도는 느려지고 및 타격 레벨은 감소하고 있음을 알 수 있다. 따라서 일관성이 확보될 수 있는 조건이 초기의 데이터를 살펴보는 것이 중요하다. 따라서 초기 3회전당 바닥 가진 횟수 등의 분석이 의미가 있을 것으로 판단하여 3회전당 분석을 실시하였다.

어린이 1명, 2명, 3명 및 4명이 뛰어다닐 때 바닥 가진 횟수의 증가는 각각 31.33회(64.68회-33.35회), 26.19회(90.87회-64.68회) 및 24.98회(115.85회-90.87회)이다. 여러명이 뛰수록 타격횟수는 증가하나 정비례로 증가하지는 않고 조금씩 줄어드는 경향을 보이고 있다. 이는 여러명이 뛰게 되면 서로 부딪히지 않으려고 조심하게 되어 혼자 뛰는 경우나 2명이 뛰는 경우에 비해 타격 횟수가 줄어들음을 알 수 있다. 다만 이러한 사항은 시작품 제작에 반영하기는 힘들 것으로 판단된다. 왜냐하면, 기기는 부딪히는 상황을 전혀 고려할 필요가 없기 때문에 가진 축이 여러개로 늘어나면 정비례로 그 가진횟수가 늘어날 것이기 때문이다. 따라서 여기에서는 어린이 1인이 뛰어다닐 경우, 이에 대한 바닥 가진 횟수 및 뛰어다님 간격에 대하여 분석하고자 한다.

제일 키가 큰 아이인 C1의 3회전당 바닥 가진 횟수는 25.3회이고, 제일 작은 아이인 C10의 경우는 38.0회로 측정되었다. 키에 따른 3회전당 가진횟수의 상관관계는 Fig. 9와 같다.

다른 경우에 비하여 결정계수가 0.59 정도로 높게 나타나고 있는데, 다리 길이에 따라 원형상 회전시 바닥 가진 횟수는 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이는 키와 뛰어다님 간격의 상관관계를 보여주는 Fig. 10에서도 상대적으로 높은 결정계수를 0.64 정도를 보여주고 있다.

가진 횟수와 바닥 가진 간격을 키와의 상관성이 있는 것으로 판단할 수 있기 때문에 이를 근거로 시제품의 사양 구성에 참조하여야 할 것으로 판단된다.

**3.3 시작품 설계 적용 사양 검토**

여기에서는 앞서 측정 및 분석의 결과를 토대로, Fig. 11과 같이 시제품 회전체의 사양을 검토해보았다. 시작품 회전체의 사양은 지름과 여기에 부착되는 의족의 수에 관한 것이다.

0.75 m의 회전 반경에 대하여 회전체 및 가진부의 의족 수에 따라 변하는 바닥 가진 횟수를 계산하고 실제 어린이 데이터와 비교하여 설계안을 작성했다. 회전체 반경과 회전체 축수에 따라 가진 횟수를 구한 결과는 Table 5와 같았다.

그 근거는 다음과 같다. 먼저, 시작품이 0.75 m로 회전하는 회전반경을 계산하였다(4.71 m). 그리고 의족이 달린 회전체의 반경(0.2 m, 0.25 m, .. 0.5 m)에 따라 각 회전체의 원주거리를 계산하였다(1.125 m, 1.570 m, .. 3.140 m). 여기에서 의족에 부착되는 의족의 수는 4~6개로 하였다.

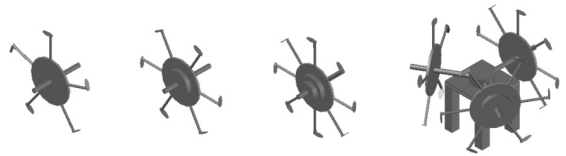
위에서 밝혔듯이, 가진부의 1회전당 원주는 1.125 m ~ 3.140 m로 계산되었고, 가진 경로는 0.75 m를 기준으로 하여 경로 한 바퀴 회전 시 경로의 길이는 4.71 m이다. 가진부 원주와 가진 경로 길이 및 의족 수를 고려하여 가진 횟수를 계산하였다. 가진 횟수를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$N = (D/P) * F * R \tag{1}$$

(N: 가진 횟수, D: 경로 길이, P: 회전체 원주 길이, F: 의족 수, R: 가진 경로 회전 수(3회))

가진 경로 회전 수는 3바퀴 회전을 가정하여 3으로 고정했고, 각 수치들을 대입하여 계산하였다. 계산 결과는 18.0회~75.4회 분포를 보였고, 의족 수에 따라 증가할수록, 가진 부의 반지름이 작을수록 가진 횟수가 증가하는 결과를 보였다.

시작품에 반영할 어린이는 이 연구에 참여한 어린이 중 키와 몸무게가 질병관리청의 소아청소년 성장도표 자료<sup>9)</sup>에 의거하여 나이와 몸무게가 우리나라 평균에 가까운 child 2(22 kg)와 child 9(15 kg)의 데이터를 가지고 보폭과 경로를 이용하여 보폭 수를 구하였다. 보폭 수는 각각 27회, 37회로 계산되었다. 이



**Fig. 11** Rotation part design example (5, 6, 8 false legs) and the model for 3 children running

**Table 5** Calculated result of the number of impacting times

| Rotation part design                              |                             |                             |                             |                          |                        |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
| Radius of rotation part [m]                       | The number of false leg     |                             |                             | Rotation radius [m]      |                        |
|   | 6                           | 5                           | 4                           |                          |                        |
| Circumference of rotation part [m]                |                             |                             |                             |                          | 2 × 3.14 × 0.75 = 4.71 |
| 0.20  | 2 × 3.14 × 0.20 = 1.125     |                             |                             |                          |                        |
| 0.25  | 2 × 3.14 × 0.25 = 1.570     |                             |                             |                          |                        |
| 0.30  | 2 × 3.14 × 0.30 = 1.884     |                             |                             |                          |                        |
| 0.40  | 2 × 3.14 × 0.40 = 2.512     |                             |                             |                          |                        |
| 0.50  | 2 × 3.14 × 0.50 = 3.140     |                             |                             |                          |                        |
| The number of impacting times by radius (3 turns) |                             |                             |                             |                          |                        |
| Radius of rotation part [m]                       | The number of false leg     |                             |                             | Children impacting times |                        |
|   | 6                           | 5                           | 4                           | Weight [kg]              |                        |
|   |                             |                             |                             | 15                       | 22                     |
| 0.20  | (4.71/1.125) × 6 × 3 = 75.4 | (4.71/1.125) × 5 × 3 = 62.8 | (4.71/1.125) × 4 × 3 = 50.2 | 37                       | 27                     |
| 0.25  | (4.71/1.57) × 6 × 3 = 54.0  | (4.71/1.57) × 5 × 3 = 45.0  | (4.71/1.57) × 4 × 3 = 36.0  |                          |                        |
| 0.30  | (4.71/1.884) × 6 × 3 = 45.0 | (4.71/1.884) × 5 × 3 = 37.5 | (4.71/1.884) × 4 × 3 = 30.0 |                          |                        |
| 0.40  | (4.71/2.512) × 6 × 3 = 33.8 | (4.71/2.512) × 5 × 3 = 28.1 | (4.71/2.512) × 4 × 3 = 22.5 |                          |                        |
| 0.45  | (4.71/2.826) × 6 × 3 = 30.0 | (4.71/2.826) × 5 × 3 = 25.0 | (4.71/2.826) × 4 × 3 = 20.0 |                          |                        |
| 0.50  | (4.71/3.14) × 6 × 3 = 27.0  | (4.71/3.14) × 5 × 3 = 22.5  | (4.71/3.14) × 4 × 3 = 18.0  |                          |                        |

러한 결과는 Table 3 및 Fig. 9의 내용에 부합한다고 할 수 있다.

이 데이터를 근거로 하여 Table 5에서 27회~37회 사이의 수치를 보이는 데이터를 찾았다. 찾은 데이터는 Table 5에서 볼드체로 표시된 수치로 추후 보완될 연속성 충격원은 해당 수치를 반영하여 설계되어야 할 것으로 판단된다. 즉, 의족이 부착된 회전체의 반



경이 0.25 m인 경우는 의족의 개수가 4개인 것이 실제 충격상황에 부합하며 0.30 m인 경우에는 의족수가 4개 혹은 5개 부족되는 것이 실제 상황에 부합한다는 것을 보여준다.

#### 4. 결 론

실제 충격원인 어린이가 0.75 m 반경의 원형을 회전하는 상황을 전제로 하여, 어린이의 뛰어나담 특성을 파악하는 연구를 실시하였다. 이 연구가 실시된 주요한 이유로는 실제 어린이의 뛰어나담을 모사하는 시작품의 제작에 적용시킬 수 있는 특성을 파악하기 위해서였다. 이를 위해 다양한 키와 몸무게를 보이는 10명의 어린이의 뒹을 측정하여 분석하였다.

먼저, 측정이 실시된 실험실 바닥 가진 위치별 편차가 있음을 감안하더라도 어린이의 뛰어나담은 매 충격마다의 일관성이 크지 않음을 알 수 있었다. 이러한 상황은 각 가진발별로 스프링 탄성 및 가진발의 사양을 달리해야 한다는 것을 의미한다고 하겠다.

어린이의 바닥충격음 레벨 발생 수준은 1명은 평균적으로 32.6 dB(A), 2명은 37.5 dB(A), 3명은 38.4 dB(A), 4명은 40.8 dB(A) 정도로서 시작품은 이 정도의 바닥 충격음 레벨은 발생시킬 수 있도록 하는 것이 타당하리라 판단된다. 다만, 이러한 제시 레벨은 C 대학교 잔향실험실의 바닥구조 성능 실험실에만 해당한다.

어린이의 뛰어나담 3회전당 소요 시간을 보면, 8초 정도로 평가되어 이를 분당 회전수(RPM)으로 환산하면 22.5회 정도의 모터 사양이 요구된다고 할 수 있다.

그리고 가진 회전체의 반경에 따른 적용가능 의족의 수는 어린이의 3회전당 가진횟수를 근거로 하여 Table 5와 같은 사양을 제안할 수 있었다.

차후에는 연속성 충격원의 사양을 다양하게 제작하여 충격음을 측정한 후 실제 어린이의 뒹 데이터와 비교·분석을 통해 충분한 모사가 가능한지 규명하는 실험과 청감실험을 통해 실제 어린이의 뒹과 연속성 충격원의 유사 정도를 평가하는 실험이 진행하여 어린이의 뒹 재현성을 갖추면서 이 연구에서 제안한 성능을 만족시키는 충격원 개발 연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### 후 기

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의

지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2002-00144050).

이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2022R111A1A01064067).

#### References

- (1) Song, M., Kim, S. and Ryu, J., 2022, Characteristics of Trial Continuous Impact Source Product Reproducing a Child's Running Around, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 32, No. 3, pp. 303~311.
- (2) Nakamori, S. and Yoshimura, J., 2015, Development of Footstep Impact Noise Simulator for Evaluation of Human Trotting Impact Noise, Journal of Environmental Engineering, Vol. 80, No. 717, pp. 1021~1028.
- (3) Song, M. J., Kook C., Jang, G. S., Shin, H. and Park. H. G., 2011, Simulator for Test of Floor Impact, 10-1097451. doi: 10.8080/1020090036591.
- (4) Kim, S., Song, M. and Ryu, J., 2020, A Survey of Experts on the Need to Improve Existing Standard Heavy-Weight Impact Source and the Development Direction of New Continuous Heavy-weight Impact Source, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 340~347.
- (5) Song, M. J., 2018, A Think of a New Standard Shock Source for Floor Impact Sound Measurement, Journal of KSNVE, Vol. 28, No. 2, pp. 36~38.
- (6) Kim, S., Song, M. and Ryu, J., 2021, The Development of New Heavy-weighted Impact Source by Analysis of Children's Running in Dwelling, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 31, No. 5, pp. 486~494.
- (7) Kim, K.-W., Choi, G.-S., Jeong, Y.-S. and Yang, K.-S., 2005, Impact Power Characteristics as Behavior of Real Impact Source (Child), Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 5, pp. 542~549.
- (8) Kim, J.-N., 2020, Correlation Analysis between Joint Stiffness and Biomechanical Load during Running, The Korean Journal of Sport, Vol. 18, No. 3, pp. 1369~1377.

(9) Moon, J. S., 2009, Application of 2007 Korean National Growth Charts: Growth Curves and Tables, Korean Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, Vol. 12, No. Suppl 1, pp. S1~S5.



**Minjeong Song** received his Ph.D. in Architectural Engineering from Chonnam National University. Currently, he is working as a Research Professor at Chonnam National University's Bio-Housing Research Center and has been conducting various researches on noise and floor impact sound.



**Suhong Kim** graduated from Chonnam National University, Gwangju, Korea in 2020. He is currently a Ph.D candidate in the school of architecture at Chonnam National University. His research interests are in the area of architectural acoustics, acoustics analysis.



**Jongkwan Ryu** received his Ph.D. in Dept. of Architectural Engineering from Hanyang University, Seoul. He is currently as a associate professor in the school of architecture at Chonnam National University. His research interests are in the area of architectural acoustics, psycho-acoustics, and acoustic barrier-free.



**Myungho Han** received his Ph.D. in Architectural Engineering from Chonnam National University. Currently, he is working as a Research Professor at Chonnam National University's Bio-Housing Research Center. and has been conducting various researches on Soundscape.



**Hyeonku Park** received Ph.D. in Dept. of architectural engineering from Chonnam National University, Gwangju, Korea in 2004. He is currently a Professor at Songwon University. His research interests are the area of subjective evaluation of

building acoustic.