한국소음진동공학회지 제 9 권 제 4 호, pp. 681~686, 1999.

〈논 문〉

교회 건축물의 실내음향 특성에 관한 연구

A Study on the Room Acoustics in Churches

주 진 수*
Jin-Soo Joo

(1998년 12월 1일 접수 : 1999년 7월 12일 심사완료)

Key Words : Church(교회), Room Acoustics(실내음향), Reverberation Time(잔향시간), Subjective Hearing Test(주관적 청감실험)

ABSTRACT

In a church, speech intelligibility is very important together with the reverberance for musical activities. In order to obtain the primary data of acoustical design for churches records were refereed and churches were measured in Europe and Japan. And in the base of measurements, those were judged by subjective hearing test. As some results, it has been found that the room acoustics of churches were different in a country and the reverberation time was preferred two seconds for speech intelligibility. However, although personal deviations were admitted, more long echoes were preferred for the music.

1. 서 론

유럽에서는 오래 전부터 대규모 석조건물의 교회가 세워져 왔으며 이들 교회의 돌 또는 석회 마감의 벽체는 소리를 잘 반사하여 울림을 좋게 하고, 높은 천장으로 된 실내공간은 긴 잔향을 갖도록 한다. 교회음악은 이와 같은 잔향이 긴 실내 음향특성에 맞도록 작곡되어 듣는 사람에게 신비적 인상을 느끼게 하며 예배음악과 교회의 풍부한 울림은 서로 끊을 수 없는 관계가 되었다.

최근 교회에서는 예배음악에 대한 풍부한 울림뿐만이 아니라 동시에 설교의 명료성이 매우 중요시되어 실내음향조건의 조정법이 큰 문제로 되고 있다. 그러나 지금까지 교회가 하나의 음장으로서 다루어진 예가 매우 드물어 교회에 적합한 실내음향특성의 연구는 거의 없는 형편이다.

* 정회원, 한일장신대학

따라서 본 연구에서는 음향설계라고 하는 입장에서 새로운 교회설계의 기초자료를 획득하기 위하여 유럽과 일본을 중심으로 기존 교회 건축물에서의 실용적과 잔향시간의 관계 및 실내 마감재료와 잔향시간의 관계에 대하여 문헌을 통하여 검토하였다. 또한 예배음악의 적절한 잔향과 설교의 명료성·요해성(了解性) 등이 동시에 충족되어야 할 교회의 음향특성 검토를 위하여 일본의 4개 교회에 대하여 음향측정을 실시하여 잔향시간과 청감물리평가량과의 상관관계를 검토하였다. 그리고 측정결과를 바탕으로 청감물리평가량과 설교 청취의 명료성과의 관계 및 잔향시간과 예배음악 잔향의 선호성과의 상관관계에 대하여 청감실험에 의한 주관평가실험을 하였다.

2. 문헌조사

2.1 조사개요

현재 국내에서 교회음향에 관한 연구는 거의 없으며, 해외에서도 연구 예가 매우 적으나 독일의 음향

학자 Jurgen Mayer는 3개 교회의 음향특성에 대하여 논하고 있다[1]. 또한 일본의 村井는 교회음향 설계자료를 획득하기 위하여 프랑스를 중심으로 한 유럽의 약 90개 교회를 조사하였으며[2], 永田는 몇 개의 교회에 대한 조사 및 음향설계, 교회 내부의 개수·보수, 그리고 음향설계의 요점 등을 논하고 있다[3].

본 연구에서는 외국 교회의 음향현상을 파악하기 위하여 과거 20년간의 J. A. S. A., J. S. V., ACUSTICA와 일본의 음향 관련 문헌 등에서 9개국 101교회의 데이터를 수집하였다.

2.2 조사결과

문헌조사로 얻어진 결과에서 잔향시간(500 Hz, 공석시)에 대하여 실용적으로 정리한 결과를 이번 측정결과와 함께 Fig. 1에 나타낸다. 이 결과를 보면 Beranek 과 Knudsen 에 의한 최적 잔향시간의 권장값에 비하여 상당히 긴 교회가 많아 예배음악에는 매우 바람직하지만 설교를 알아듣기에는 장애가 되는 음향특성을 갖는 교회가 많은 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 잔향시간과 실용적과의 관계를 국가별로 정리한 결과로서 국가간에 서로 상당히 다른 경향을 볼 수 있다. 이 결과를 보면 이태리나 프랑스에서는 잔향시간이 약간 긴 듯한 경향이며, 독일, 네덜란드, 영국, 일본 등에서는 비교적 짧은 잔향시간을 나타냈다.

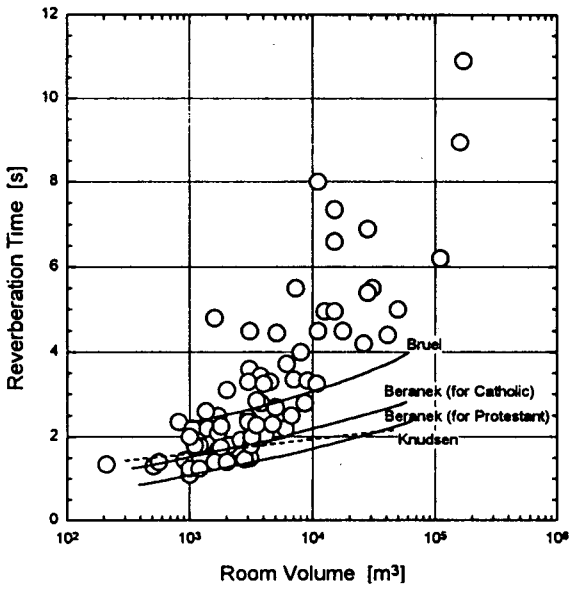

Fig. 1 Relations of room volume and reverberation time

국가별 잔향시간의 차이를 알아보기 위하여 이들 교회의 부위별 실내 마감재료에 대하여 조사한 결과

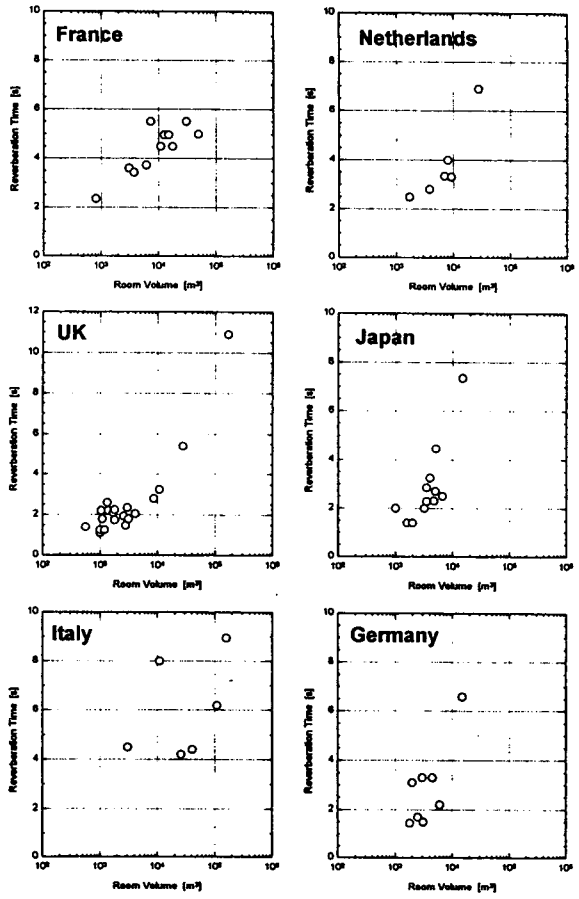

Fig. 2 Relation of room volume and reverberation time in some country

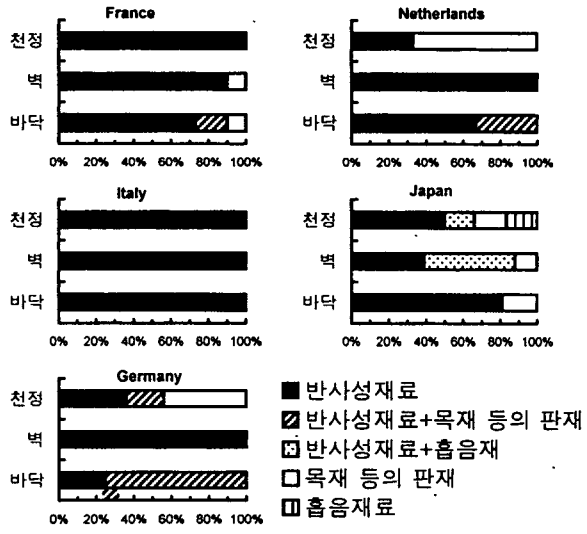

Fig. 3 Finishing material in a part of interior

를 국가별로 Fig. 3에 나타냈다. 이 결과를 보면 잔향시간이 길게 나타난 이태리와 프랑스의 교회에서는 반사성 재료가 많이 사용되고 있는 경향이 현저하며, 비교적 짧은 잔향시간을 나타내고 있는 독일이나 네덜란드 등의 교회에서는 목재가 풍부한 국가적 배경에 의하여 목재가 많이 사용되고 있음을 알 수 있다. 그리고 일본에서는 흡음재가 사용되고 있음을 알 수 있으며, 이로 인하여 잔향시간이 짧은 결과를 나타냈다. 국가마다 독특한 기후풍토, 건축양식에 의하여 실내 마감이 다르며 이에 따라서 실내 음향특성도 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

목재를 사용하면 건물 규모에 제한을 받아 그다지 큰 교회를 세울 수 없으며, 실내 흡음력이 커지고 잔향시간이 짧아지게 된다. 실제로 반사성 재료가 많이 사용된 프랑스에서 작곡된 오르간 음악보다 목재가 많이 사용된 독일에서 작곡된 음악이 J. S. Bach 음악과 같이 다성적(polyphonic) 음악이 많은 것은 교회의 잔향시간이 짧아서 다성음악이 듣기 편하기 때문인데, 이와 같은 사실에서 잔향시간의 차이가 작곡되는 음악에도 크게 관련되어 있을 것으로 여겨진다.

조사된 교회 가운데 음향설계된 교회는 매우 적어 일본의 7개 교회뿐이었다. 따라서 이들 교회의 잔향시간의 차이는 계획된 것이 아니라 건축구조와 실내 마감재료에 의한 것이라 할 수 있다.

3. 실내음향특성측정

이상에서 유럽과 일본의 교회 건축물의 잔향시간, 실용적 및 실내마감재료 등을 문헌조사하여 음향특성의 경향을 검토하였으며 여기에서는 음향측정을 실시하여 실내음향평가에 이용되는 각종 청감물리평가량을 산출하여 교회건축물의 음향특성을 검토하였다.

3.1 측정개요

음향측정은 일본 동경도에 위치하는 4개 교회, 성 Ignatio 교회, Sarezio학원 성당, 카톨릭 Takanawa 교회, 기독교 Sinakawa 교회를 대상으로 실시하였다. 실측교회의 평면과 음원점, 측정점을 Fig. 4에 나타낸다. 음원 스피커의 위치는 제단중앙으로 하고 측정점은 교회의 규모에 따라 5점에서 8점으로 하였다.

음원으로는 12면체 스피커를 이용하고, 통상법(소음법)으로 잔향시간과 음압분포, 스윕펄스법(Sweep

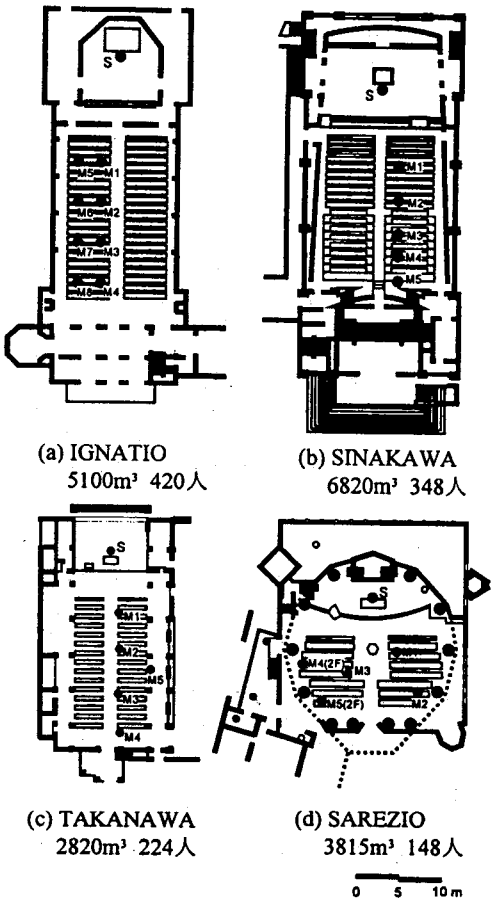

Fig. 4 Plans of measured churches(S: Sound source, M: Measring point)

Pulse)으로 임펄스응답 측정[4]을 하였다. 수음계로는 무지향성 마이크로폰과 더미헤드 마이크로폰을 이용하였다. 모노랄 임펄스응답의 측정결과로부터 잔향시간, EDT(Early Decay Time), D값(Deutlichkeit), Ts값(Center-Time), STI(Speech Transmission Index) 등을 산출하였다.

3.2 측정결과 및 분석

측정교회의 1/3 옥타브 밴드별 잔향시간에 대한 측정결과를 Fig. 5에 나타낸다. 이 결과를 보면 잔향시간은 실용적에 비례하지 않으며 교회별로 서로 다른 잔향특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. Saregio 학원 성당의 잔향시간이 약 3.7초로 길게 나타난 것은 실내가 노출콘크리트 마감이기 때문이며, Takanawa 교회의 잔향시간이 약 1.3초로 짧게 나타난 것은 천장이 구멍 뚫린 판으로 마감되어 있기 때문이다.

또한 건축음향에서 중요한 실내음향평가지표 EDT, D값, Ts값, STI 의 측정결과를 Fig. 6에 나타

Table 1 A scale and the measurement results in measured churches

교회명	측정점	음원에서 거리[m]	RT* [sec]	EDT*	D50*	Ts*	STI	단음절명료도 [%]
Sarezio	M2	12.0	3.66	3.73	16.7	251.1	0.53	95.6
	M5	12.0		3.76	15.0	250.4	0.52	95.8
Takanawa	M2	12.0	1.25	1.24	39.9	91.9	0.75	97.3
	M4	21.0		1.32	41.2	94.2	0.73	96.1
Sinakawa	M2	12.0	1.88	1.82	33.2	121.2	0.67	95.3
	M5	20.5		1.74	42.0	111.9	0.66	94.9
Ignatio	M1	12.0	2.56	2.63	24.7	178.8	0.58	96.3
	M4	27.5		2.62	14.5	213.3	0.57	93.4
RT와 청감물리량의 상관관계 (12 m)				0.99	0.99	0.99	0.97	

* 500Hz~1 kHz의 2옥타브밴드로 산출한 값

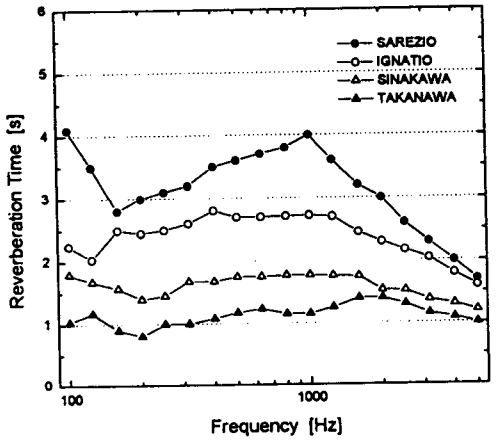

Fig. 5 Reverberation time in measured churches

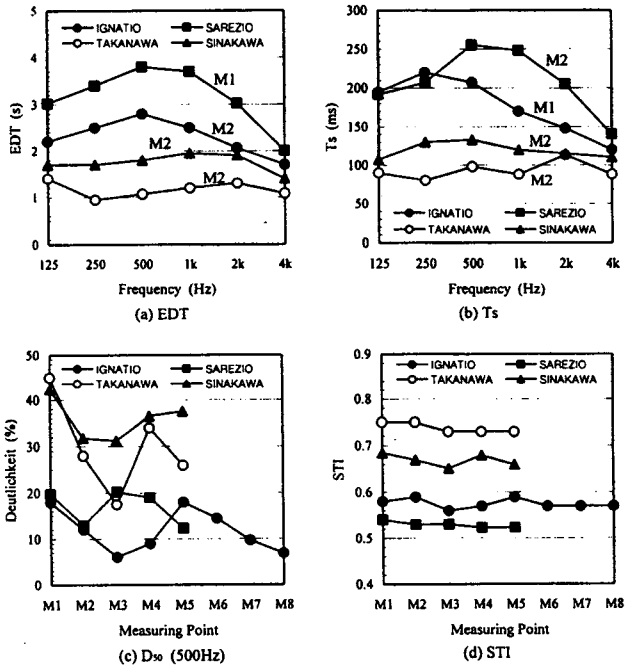

Fig. 6 The measurement results of room acoustics in churches

낸다. 첫째로 초기반사음 감쇠지표의 하나인 EDT의 측정결과에서는 대부분 교회에서 잔향시간과 비슷한 값을 나타내고 있으나, Takanawa 교회에서는 잔향시간이 짧기 때문에 잔향에 대하여 초기반사음이 강하게 나타나 잔향시간보다 낮은 값을 나타냈다. 둘째로 소리의 명료도와 관계가 많은 평가지표인 D값의 측정결과에서는 교회전체에서 좋은 값을 보인 Sinakawa 교회와 Takanawa 교회의 M1 점을 제외한 모든 교회에서 D값이 매우 낮게 나타나 설교청취에 어려움이 있을 것으로 판단된다. 특히 Ignatio 교회에서 매우 설교청취가 어려울 것으로 여겨진다. 셋째로 주관적으로 느끼는 울림의 양과 상관이 높으며 음절명료도와도 좋은 상관관계에 있는 Ts값의 측정결과에서는 Takanawa 교회에서 양호하고 Sinakawa 교회는 중정도의 명료도를 나타내며 나머지 교회에서는 음절명료도가 좋지 않은 결과를 나타냈다. 마지막으로 음성전달의 정확한 정도를 수량적으로 평가하는 STI의 측정결과에서 음절명료도가 좋은 Takanawa 교회와 Sinakawa 교회에서 "Good"으로 측정되었고 나머지 교회에서 "Fair"로 측정되었다.

한편 EDT, D값, Ts값, STI 의 측정결과 및 잔향시간과의 상관관계를 Table 1에 나타낸다. 이 결과를 보면 잔향시간(RT)은 청감 물리 평가량 (EDT, D값, Ts값, STI)과 매우 높은 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 청감실험에 의한 주관적 평가

4.1 청감실험방법

각 교회에서 측정한 binaural 임펄스응답과 무향음(dry source)을 합성하여 시험음으로 하였다. 각각의 교회에 대하여 2점의 측정점(그중 한 점은 12 m 점을 포함)을 골라 합계 8개의 시험음을 만들었다.

(1) 단음절 명료도 시험

일본 음향 컨설턴트협회 단음절 명료도 시험용 테이프(남성)의 음표번호 2와 3의 신호를 binaural 임펄스응답과 합성하여 헤드폰을 이용한 명료도 시험을 실시하였다. 각 음장에서 음원 스피커의 출력을 일정하게 하였을 때 측정점에서의 레벨관계를 상대적으로 유지할 수 있도록 시험음의 제시레벨을 설정하였다. 각 시험음의 FAST 피크레벨의 평균값(헤드폰을 착용한 더미헤드에 1/4인치 마이크로폰을 설치하여 측정)을 Table 2에 나타낸다. 피험자는 22~24세의 남녀 8 명으로 하였다.

(2) 「청취의 난이성」의 주관평가

무향실에서 녹음한 일본어가 능숙한 스페인 신부의 약 10초간의 기도문 「하늘에 계시는 우리 아버지여. 이름이 거룩이 여김을 받으시오며, 나라이 임하옵시며」를 음원으로 하여 상기와 같이 시험음을 작성하고 헤드폰을 이용한 「청취의 난이성」에 대한 7단계 평가실험(매우 알아듣기 쉽다:7~매우 알아듣기 어렵다:1)을 실시하였다. 시험음의 제시레벨(Leq)을 Table 2에 나타낸다. 피험자는 20~23 세의 남녀 10명으로 하였다.

(3) 「음악 울림」에 대한 주관평가

Table 2 S. P. L. of the Stimuli at subjects' ear position

교회명	음원과의 거리 [m]	단음절명료도 시험피크레벨 평균 fast [dB]	주관평가시 험제시레벨 Leq [dB]
Sarezio	12.0	80.1	66.4
	12.0	79.4	65.7
Takanawa	12.0	75.2	60.9
	21.0	73.1	58.6
Sinakawa	12.0	73.5	59.5
	20.5	72.4	59.0
Ignatio	12.0	72.3	58.2
	27.5	71.1	56.1

제시한 음악의 울림이 바람직한가 그렇지 아니한가에 대하여 헤드폰을 이용한 주관평가 시험을 하였다. 이용한 시험음은 약 8초간의 남성 코러스 음악이다. 피험자는 23~35세의 남녀 6명으로 하였다. 평가방법은 7단계 평가에 의하여 코러스 음악의 여운의 길이에 대한 인상(매우 길게 느낀다:7~매우 짧게 느낀다:1)과 그 만족도(매우 만족하게 느낀다:7~매우 불만족하게 느낀다:1)를 7단계로 평가하게 하였다. 이 평가는 한번에 실시하지 않고 별도로 나누어 실시하였다.

4.2 청감실험결과

단음절 명료도 시험의 결과는 Table 1에 나타낸 바와 같이 4개의 교회에서 모두 93.4~97.3 %를 나타냈으며, 음장의 차이를 발견할 수 없었다. 이것은 다른 연구에서도 지적되고 있는 것과 같은 경향[5]이다.

「청취의 난이성」에서는 피험자의 평가치를 산술

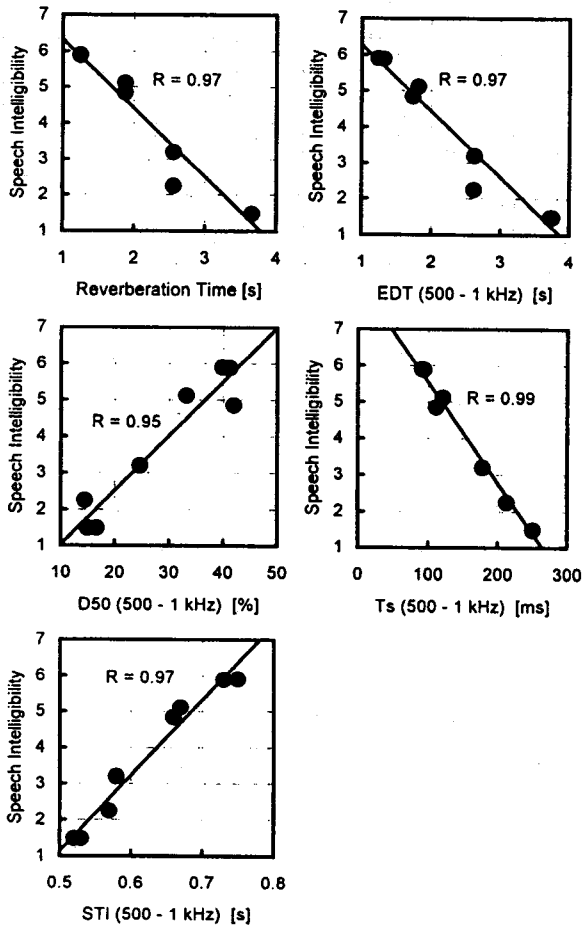

Fig. 7 Correlation of the speech intelligibility to constituents in hearing test

평균하였다. 결과를 각 청감물리량과 비교하여 Fig. 7에 나타낸다. 주관 평가치는 모든 청감물리량과 매우 높은 상관을 나타내는 결과가 얻어졌다. 이는 이번 시험대상으로 한 음장에서의 감쇠특성이 모두 자연스러운 지수감쇠에 가깝고, 물리량간의 상관이 높기 때문으로 생각할 수 있다.

「음악 울림」의 주관평가에서 코러스 음악의 만족도에 대해서는 Fig. 8 에 나타낸 것과 같이 잔향시간이 길어지는 만큼 만족도가 높아지는 Subject A형과 어느 일정 잔향시간에서 만족도가 최대로 되는 Subject B형으로 나누어지며, 피험자에 따라 선호하는 잔향시간에 큰 차이를 보이는 결과를 나타냈다. 한편 음악여운의 길이에 대한 인상은 Fig. 9와 같이 잔향시간과 매우 밀접한 상관관계를 나타냈다.

5. 결 론

교회의 음향특성 현상에 대하여 문헌과 실측에 의한 조사를 하였다. 또한 실측 조사한 교회에서 설교와 예배음악이 어떻게 들리고 있는지 검토하기 위하여 청감실험에 의한 주관적 평가를 실시하였다.

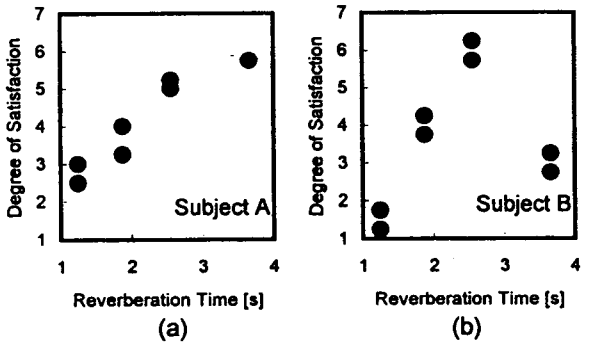

Fig. 8 Relation of the reverberation time and degree of satisfaction to the music reverberance

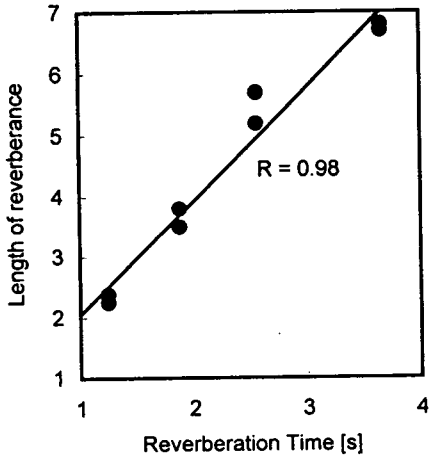

Fig. 9 Relation of the reverberation length and the reverberance of music

문헌조사에서 해외 교회건축물의 실내음향특성은 국가적 배경에 의하여 서로 다른 특성을 나타냈으며 잔향시간은 음향학자들의 권장값에 비하여 긴 잔향시간을 갖는 것으로 나타났다.

교회의 실내음향특성에 대한 실측결과에서 실내음향의 기본요소인 잔향시간은 각종 청감물리평가량과 매우 높은 상관관계를 나타냈으며, 또한 주관평가 실험결과에서는 이번 실험에서 대상으로 한 교회의 규모정도라면 잔향시간이 2초 이내에서 「청취의 난이성」에 거의 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나 「음악 울림」에 대한 실험에서 나타난 바와 같이 피험자간의 개인차이는 있으나 교회에서는 찬송가나 오르간 연주 등을 위해서 그 이상의 잔향시간이 바람직하며, 그와 같은 조건에서 설교의 명료성을 확보할 필요가 있는 결과를 나타냈다.

본 연구에서는 일본과 유럽의 교회건축물을 대상으로 하고 있기 때문에 문화와 역사가 다른 우리나라 교회건축물과 비교하기에는 아직 연구되어야 할 부분이 많다. 앞으로는 국내교회의 실내음향특성에 관한 자료축적과 교회 건축물내에서의 PA(public address) 시스템의 이용과 그 효과에 대한 연구를 계속할 계획이다.

후 기

본 논문의 작성에는 日本 東京大學 生産技術研究所 橘 秀樹 교수와 일본 ONO SOKKI의 向井ひかり 씨로부터 많은 도움이 있었음을 첨언한다.

참고문헌

(1) Jungen Mayer, 1978, Acoustics and Performance of Music.

(2) 村井信義, 1983, "パイプオルガンと演奏ホール," 日本音響學會誌, Vol. 39, 6, pp. 414~417.

(3) 永田 穗, 1991, "パイプオルガンと音響空間," 日本音響學會誌, Vol. 47, 11, pp. 860~867.

(4) 買手正浩, 日高新人, 矢野博夫 , 橘 秀樹, 1989, "スイープパルス法によるホールのインパルス應答の測定," 日本音響學會講演論文集. p. 609.

(5) 飯田茂隆, 1985, "建築分野の明瞭度試驗," 日本音響學會誌, Vol. 41, 10, pp. 704~708.