

정리하면, 원 선생님은 본 논문에서 세가지의 큰 논리로 기존 과거 해석을 비판하였습니다. 첫째는 글자가 처음 만들어질 때의 의미인 조자본의에 대한 이해가 부족하다, 둘째는 지나친 과거를 통해 글자를 해석한다, 셋째는 현재 자형에 얽매어서 모양이 똑같거나 비슷하면 일괄적으로 똑같이 해석한다는 점에 대한 비판이었습니다. 즉, 같은 계열의 글자가 아님에도 불구하고 한 부분의 상징 의미를 확대 적용한다든지, 글자의 자원을 고려하지 않고 무분별하게 과거하여 끼워 맞추기식으로 해석한다든지, 현재 자형이 비슷하니 무리하게 같은 의미로 해석하는 분석 방법에 대한 비판이었습니다. 그런데 그러면서도 “자형의 의미를 제대로 파악하고 그 의미가 상징하는 것이 어떤 대상과 일맥상통하여 그 대상으로 해석하는 것에 대해서는 수용의 여지가 있을 수 있다”고 하면서 여지를 남겨 두었습니다.

아쉬운 점은 기존 해석에 대한 수용성의 여지가 어디까지 가능한 지 그것에 대해서 좀 더 구체적으로 밝혀 주었더라면 하는 것입니다. 과거해석이 잘못된 해석이라는 점은 공감했지만 그렇다면 한자에 성경적인 논리가 전혀 반영되지 않았는가에 대한 근원적인 궁금점은 해결되지 않기 때문입니다. 그 점에 대해서는 후에라도 발표해 주시기를 부탁드립니다. 왜냐하면 한자에는 성경적인 내용과 관련되었을 성 싶은 호기심을 유발하는 한자가 너무 많기 때문입니다. 예를 들면, 일요일을 지칭하는 “禮拜天”, 하늘 경배 사상, 창조설화의 ‘여와’와 홍수설화, 붉은 색에 대한 관념 등 성경에서 유추된 것 같은 사상과 한자들이 많이 보입니다.

중국에서 십 여 년 한자를 접했던 필자로선 한자학을 전공한 사람도 아니고 한자문화권에 있는 사람도 아닌 분들이 무분별하게 이 분야에 대한 책을 내고 강의하는 것에 대해서 내심 불안해 왔고, 이 부분에 대한 바로고 정확한 해석이 나와야 되는데 라는 간절함마저 들었던 차에 원 선생님의 논문이 마치 청량음료와도 같이 시원함을 준 것에 대해서 감사하고, 앞으로 이 논문이 더 많이 알려지고 보급되어 많은 분들에게 읽혀지기를 바랍니다.

## 교회합창과 물리학

한두희 (청운대학교 건축공학과)

### 초록

본 논문은 교회합창에 관련된 이론과 실재를 물리학에 기초하여 새롭게 조명하여 예술과 과학의 연결을 꾀하고 서로 다른 분야를 이해할 수 있는 토대를 마련하는데 목적이 있다. 소리를 내기에 필요한 음정은 순정율과 평균율을 비교 설명하였고 평균율의 12단계에 대한 보다 정확한 계단을 계산하였으며, 맑은 소리내기를 파형과 파동의 중첩 및 맥놀이 현상으로 설명하였으며, 혼성합창의 파트별 균형에 관하여 소리의 세기수준을 설명하여 과학적인 이해를 도왔다. 고운 소리일수록 파형이 단순하다. 주기적인 복잡한 파형을 물리학적으로 푸리에급수로 표현할 수 있으며, 특히 많은 수의 합성단원들이 소리를 낼 경우 같은 파트는 같은 음색으로 노래하여야 하는데 그 이유는 중첩된 파동이 가능하면 단순한 모양이 되도록 하기 위해서이다. 비슷한 진동수의 음이 동시에 울릴 때 맥놀이 현상이 일어날 수 있는데, 정확한 음정을 소리내어 맥놀이 현상을 차단하고 공명 효과를 극대화할 수 있다.

### I. 서론

우리나라의 교회가 대형화되면서 파이프오르간과 오케스트라 반주를 사용하는 대형 성가대가 많이 등장하게 되었다. 또한 전문적인 교육을 받은 전문 지휘자와 전문 성악가, 전문 연주자들이 교회음악을 이끌어가게 되었다. 해마다 교회음악협회나 교회음악출판협회 등이나 출판사별로 지휘자, 반주자 및 성가대원들을 위한 음악세미나를 개최하여 새로운 성가곡과 연주 테크닉을 훈련시키고 있다[1,2]. 이러한 세미나는 폭발적으로 많이 만들어지는 성가 합창곡의 선택 및 보급과 연주기법 향상이라는 두 마리 토끼를 동시에 잡을 수 있는 좋은 행사이다. 한편 세미나의 구성은 주로 지휘자들의 영적 성장, 새로운 곡을 읽어가는 reading session, 지휘, 반주, 발성 테크닉을 배우는 master class, 전문 합창단의 리허설 및 시범 연주 등으로 이루어진다. 한편 목사님들이 주로 맡으시는 영적성장은 성경말씀과 신학적 접근이 대부분이며, 성악과 반주는 예술적인 직감과 경험이 주가 되어 강의를 맡은 분에 따라 내용이 많이 다르다. 최근 선천적인 재능이 많이 요구되는 성악분야에도 인체 생리 및 해부학을 근거로 과학적이고 체계적인 발성을 연구한 전문가들이 배출되고 있지만, 대부분 반복되는 훈련과 음악적 재능에 기반을 두고 훈련하고 있는 것이 대부분이다. 본 논문에서는 20여년간 교회 성가대 지휘를 하면서 얻은 경험과 20여회 이상 참가했던 성가합창세미나의 내용을 참고로 좋은 합창을 만들기 위한 물리학적인 해석을 제시한다.

## II. 찬양의 당위성

### 2.1 하나님의 뜻과 온전한 찬양

영감에 의하여 기술된 하나님의 말씀인 성경은 시종 음악의 중요성을 말하고 있는데, 천지를 창조하신 목적도 인간으로 하여금 찬양받으시기 위함이었다. “이 백성은 내가 나를 위하여 지었나니 나를 찬송하게 하려 함이니라(사43:21)”하신 말씀과 같다. 그러나 아담은 죄를 범하여 하나님의 뜻을 저버리고 자신과 그 후손들 까지 사탄의 노예가 되게 하였다. 그러나 하나님이 세상을 이처럼 사랑하사 독생자를 주셨으니 이는 그를 믿는 자마다 멸망하지 않고 영생을 얻게 하려 하심이라(요3:16)”하심과 같이 우리의 죄를 사하여 주셨고, 성령님을 보내주시어서 우리들이 사탄에게 빼앗겼던 하나님의 뜻과 우리의 의무를 회복하시기를 원하신다. 에덴에서 사탄에게 빼앗겼던 감사와 사랑과 기쁨을 회복하는 사람은 천국을 느끼며 살아가는 영의 사람일 것이다[3]. 온전한 찬양은 확실한 나의 고백이며 속죄의 감격과 구원의 확신이며 감사와 확신으로 드리는 찬양이다. 또한 헌신으로 드리며 신령과 진정으로 생활 속에서도 지속되며 하늘의 소망으로 기쁨이 충만한 찬양이다.

### 2.2 찬양의 중요성과 문제점

찬양을 드릴 때는 목적위식이 분명해야 한다. 즉, 찬양을 하는 목적은 대상이 창조주 하나님이고, 나의 본분이며 나를 구원해 주셨고 영적으로 많은 상급과 육적으로 많은 축복을 주시기 때문이다[4]. 또한 찬양대는 하나님께서 가장 기뻐하시는 찬양을 맡은 구별된(레위기24:1) 기관이며 찬양으로 말씀을 선포하는 메신저이기 때문에 중요하며, 자기의 직분에 골몰하고(역사 9:33) 전문성을 가지고 찬양해야 한다(대상 25:7). 또한 새 노래로 그를 노래하며 즐거운 소리로 아름답게 연주해야한다(시 33:3).

예배음악의 입장에서 보면 하나님 중심으로 경건하고 정성껏 드리며 준비된 순서대로 진행하고 예배의 전통을 존중하는 정성이 가득한 예배(high church)와 사람 중심의 기복적 형태로 즉흥적인 순서로 진행하며 현실적 성과에 치중하는 쉽고 편한 예배(low church)로 나눌 수 있다. 한국교회의 대세는 low church이다. 한국교회가 정성 드려 예배를 드리는 예전과 본격적인 예배음악에 관심을 돌려야 한다[5,17]. 미국에서 출발한 열린 예배가 우리나라에도 많이 도입되면서 성가대 없이 복음성이 위주의 찬양예배가 늘어나고 있는 것은 우려할 만하다.

## III. 교회음악과 성가합창

### 3.1 교회음악

교회음악은 교회에서 신자들이 모일 때마다 사용되는 모든 음악을 지칭한다. 교회음악은 그 음악을 받는 대상이 하나님과 인간을 포함하는 포괄적인 음악이라면 예배음악은 그 음악을 받는 대상이 삼위일체 하나님으로 국한된다. 교회의 존재 목적은 예배에 있으며, 성도들이 모일 때 마다 시와 찬미와 신령한 노래(엡 5:9)를 부르게 되는데 이것이 교회 음악이다[5]. 하나님은 인간의 찬양 중에 거하시는 분이시며(시 22:3), 따라서 기독교의

예배는 하나님을 중심으로 한다[6]. 하나님으로부터 말미암지 않고는 아무도 찬양할 수 없기 때문이다[7]. 예배는 하나님과 인간과의 만남이며 예배의 중개자는 예수그리스도 이시다. 예배는 성령 안에서 이루어져야 하며, 영으로 찬미하며 마음으로 찬미해야 한다(고전 14:15). 또한 예수를 그리스도라 고백하는 자들이 모인 모임인 교회가 궁극적인 목적은 무엇보다도 삼위일체되신 하나님의 은총을 경배하며 찬양하는데 있다[4]. 교회음악은 받는 대상에 따라 프로스퀘네스(예배)음악, 케리그마(복음 전도)음악, 코이노니아(성도의 교제)음악으로 구별된다. 예배음악은 회중찬송, 성가대찬양, 오르간음악, 예전음악 등으로 이루어지며 예배음악은 하나님을 향한 것이어야지 사람을 향한 것이 아니어야 한다.

### 3.2 성가합창

다윗은 공식 예배에 찬양대를 도입하고 그 수하인 아삽과 헤만 그리고 여두둔과 같은 전문적인 음악가들로 하여금 성악을 비롯하여 다시에 사용하였던 각종 악기를 동원하여 찬양하는 일에 힘쓰도록 하였으며(“사천 명은 그가 여호와께 찬송을 드리기 위하여 만든 악기로 찬송하는 자들이라”(대상23:5)) 하나님 찬양에 필요한 각종 찬양시를 비롯하여 친히 악기를 연주하기도 하였으며(삼상 17:12, 삼상 18:10; 대상 13:11)하나님 앞에서 노래하였으며(대상 13:11) 악기를 제작하기도 했다(대상 23:6).

후에 다윗은 재능이 뛰어난 288명(대상25:7)을 택하여 12명씩 24개조의 찬양대 지도자로 삼았다. 이와 같이 구약 시대 성전예배에서 성가대는 방대한 규모로 그들은 모두 전문교회음악가요 성직자였다. 신약시대 초대교회 성도들은 모일 때마다 하나님을 찬송(행 2:47)하였으며 바울은 에베소 성도들에게 “시와 찬송과 신령한 노래들로 서로 화답하며 너희의 마음으로 주께 노래하며 찬송하며(엡5:19)”라고 적극적으로 권면한 것으로 보아 하나님은 인간을 통한 찬양을 받으시기 위해 찬양대를 조직하게 하였으며 이에 필요한 전문적인 음악가를 양성하였다. 따라서 교회에서의 음악은 하나님의 창조목적에 부합되는 행위이며 구원받은 인간 역시 음악을 통해 하나님께 영광 돌리는 것도 당연한 의무이다(시 147:1). 하나님을 찬양한다는 의미의 찬양대는 신령한 노래를 부른다는 의미의 성가대로 불리며 요즘은 같이 쓰이고 있으나 성경적으로는 모두 의미가 있다. 찬양대는 지성소찬양대(Chancel Choir)라고 한다. 옛날 또는 지금의 카톨릭 교회에서는 성전 안 뒤쪽 다락이 찬양대 자리이다. 찬양대는 제단 앞의 사제와 노래를 주고받으며 회중을 주도하며 대표적인 역할을 담당했다. 찬양대가 그 자리를 지성소 안으로 옮긴 것은 중세 수도원 예배에서 모든 수사들이 제단 좌우에 자리하였던 관례를 이어받은 것이며, 찬양대가 회중을 대표하여 더 적극적으로 주 앞에 나아가 찬양을 드리는 것이다. 찬양대는 신령한 노래(대상 25:1)를 불러야 한다. 그러나 요즘 찬양대는 삼위일체 하나님을 찬양하는 음악도 하지만 사람을 향하는 음악을 하기도 한다. 찬양대는 하나님께서 구별된 특별한 자들에게 맡겨 준 특권을 가지고 있으므로 찬양을 하는데 있어 일반 회중보다 음악적인 수준이 높아야 한다. 따라서 찬양대원은 예수그리스도를 그리스도로 영접하고 그를 믿는 신앙인이어야 하고 이는 ‘우리가 예수로 말미암아 항상 찬미의 제사를 하나님께

드리자 이는 그 이름을 증거하는 입술의 열매니라(히 13:15)라는 성경 말씀을 실천하는 것이다[9].

#### IV. 합창음악의 물리학적 해석

##### 4.1 청각과 발성기관의 구조와 음악

합창에 필요한 기관은 호흡기관, 눈, 귀, 발성기관 및 근육 등 많이 있지만, 그 중 귀와 발성 및 호흡기관이 가장 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.

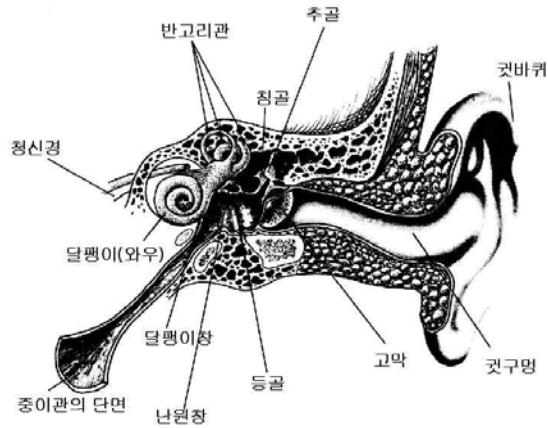


그림 1. 귀의 개략도

귀 안의 신경이 음파의 압력 변화에 반응하여 소리를 느끼게 된다. 귀 안에 있는 신경만이 압력에 반응하는 것이 아니라 대부분의 피부는 압력에 민감한 신경을 지니고 있다. 그러나 귀는 몸의 다른 부분들보다 훨씬 더 압력 변화에 민감하다. 그림 1은 귀의 열개도를 나타내 준다. 일반적으로 귀를 외이, 중이, 내이 등 세 부분으로 나눈다. 소리를 신경 펄스로 바꾸어 주는 감각 신경 세포는 액체가 채워진 내이에 위치한다. 외이와 중이의 주된 역할은 소리를 내이로 안내하는 것이다. 외이는 귓바퀴라 불리는 바깥의 조직판과 고막까지 이어진 귓구멍으로 이루어져 있다. 보통의 어른에게 있어서 귓구멍은 지름이 약 0.75 cm 이고 길이가 2.5cm 정도로 3000Hz 근처의 진동수를 가진 음파에 공명하는 구조를 이룬다. 이는 이 진동수 영역의 음파에 귀가 매우 민감하다는 것을 부분적으로 설명해 준다. 중이는 음파가 내이의 유체로 효과적으로 전달되도록 도와준다. 중이는 공기가 채워진 공동으로 뼈 3개로 이루어진 이소골을 지니고 있는데, 이소골은 내이의 고막과 연결되어 있다. 결합된 3개의 뼈를 추골, 침골, 등골이라 부른다. 추골은 고막의 안쪽 면에 붙어 있으며 등골은 내이에서 입구를 덮고 있는 막인 난원창에 연결되어

있다. 음파가 고막을 진동시킬 때 그 진동은 이소골에 의해 난원창에 전달되고 차례로 내이의 유체에 압력 변화를 유발시킨다. 이소골은 중이의 벽에 붙어 있는 근육에 의해 음량을 조절할 수 있다. 소리가 너무 크면 고막 근처에 있는 근육뿐만 아니라 이 근육이 수축하여 내이로 소리가 덜 전달되도록 조절한다. 중이는 또 다른 목적을 가지고 있다. 중이는 사람이 자신의 목소리 때문에 생기는 진동과 머리의 움직임 그리고 씹는 일 때문에 생기는 교란으로부터 내이를 분리시킨다. 실제로 성대의 진동 중 어떤 것들은 뼈를 통해 내이로 전달되는데 소리는 크게 감소된다. 우리가 자신이 말한 소리를 듣는 것은 대개가 외부에서부터 고막으로 들어오는 소리이다. 이 사실은 귀를 막고 말을 해보면 이해할 수 있다. 음파가 신경 펄스로 변환되는 것은 달팽이에서 일어나는데, 달팽이는 내이에 있다. 달팽이는 달팽이 껍데기처럼 생긴 나선형의 구멍이다. 난원창과 달팽이창이 있는 달팽이의 넓은 끝은 면적이 약 4mm<sup>2</sup> 이다. 달팽이는 나선 모양인데 약 2.75바퀴를 회전하는 모양이다. 달팽이가 퍼진다면, 그 길이는 약 35mm가 될 것이다. 달팽이 안쪽에는 3개의 평행한 관이 있다. 3개의 관 모두 액체로 채워져 있다. 전정관과 고관은 달팽이 구멍(helicotrema)이라 불리는 가는 구멍을 통해 달팽이의 끝에 붙어 있다. 달팽이관은 막에 의해 이들 2개의 관과 분리된다. 이들 막 중의 하나가 기저막(basilar membrane)이라 불리는데, 이 막은 청신경을 지지한다. 난원창의 진동으로 전정관을 채운 액체에 음파가 만들어진다. 전정관을 따라 이동하고 달팽이관을 통해 고관으로 이동하는 음파는 기저막을 진동시켜서 청신경을 자극하여 전기 펄스를 뇌로 전달한다 [18,19,20].

##### 4.1.1 귀의 성능

신경 자극은 뇌에 주관적인 소리 감각을 불러일으킨다. 우리가 듣는 소리를 표현하는 데 사용하는 말 중에는 소리의 크기, 소리의 높이, 음질 등이 있다. 이 주관적인 반응을 강도와 진동수와 같은 소리의 물리적 특성과 연관시키는 것은 생리학자들에게는 큰 도전이다. 이 관계들 중 어떤 것들은 이제 잘 알고 있고 다른 것들은 여전히 연구 대상이다. 대부분의 경우 기구와 목소리에서 나오는 음파의 패턴은 아주 복잡하다. 각각의 소리는 자신만의 독특한 패턴을 가지고 있다. 각 소리 패턴에 대한 반응이 개별적으로 해석된다면 인간 청각계의 음파의 효과를 평가하는 것은 불가능하다. 다행히 그 문제는 그렇게 복잡하지 않다. 약 150년 전, 프랑스의 수학자 푸리에(J. B.J. Fourier)는 복잡한 파형들은 서로 다른 진동수의 간단한 사인파로 분해된다는 것을 보여 주었다. 이는 적당한 진동수와 진폭을 가진 사인파를 충분히 많이 합하여 복잡한 파동 패턴을 만들 수 있다는 것을 의미하기도 한다. 따라서 다양한 진동수의 사인파에 대해서 귀가 어떻게 반응하는지 안다면 어떤 복잡한 파형에 대해서도 귀의 반응을 예측할 수 있다. 파형에서 가장 낮은 진동수를 기본음(fundamental)이라 부르고 이보다 더 높은 진동수를 배음(倍音)이라 부른다. 여러 가지 악기에서 연주되는 특정 음색에 대한 파형은 음원에 따라 다르게 나는 소리의 배음들을 모은 것이다. 다양한 악기들에 의해 연주되는 특정 음색에 있어서, 기본음의 진동수는 같으나 파의 배음들은 다르다.

#### 4.1.2 진동수와 소리의 높이

인간의 귀는 약 20에서 20000Hz 사이의 진동수를 소리로 들을 수 있다. 그러나 이 진동수 범위 내에서 귀가 일정하게 반응하지는 않는다. 귀는 200에서 4000Hz 사이의 진동수에 가장 민감하고 이보다 더 낮거나 높은 진동수로 갈수록 감도가 떨어진다. 사람마다 진동수에 대한 반응은 차이가 많다. 어떤 사람은 8000Hz 이상의 소리는 듣지 못하는 반면, 일부 사람들은 20000Hz 이상의 소리도 들을 수 있다. 더구나 대부분 사람들의 청각은 나이가 들면서 저하된다. 소리의 높이는 소리의 진동수와 연관되어 있다. 소리의 높이는 진동수가 커지면 높아진다. 예를 들어 건반에서 가운데 C의 진동수는 256Hz이고 높은 A의 진동수는 440Hz이다.

#### 4.1.3 소리의 세기와 크기

귀는 방대한 범위의 세기에 반응한다. 3000Hz 에서 인간의 귀로 느낄 수 있는 가장 낮은 세기는 약  $10^{-16} \text{W/m}^2$  이다. 참을 수 없을 정도의 가장 큰 소리는 세기가 약  $1 \text{W/m}^2$  이다. 이 두 극단의 세기를 각각 청각의 문턱(threshold of hearing)과 고통의 문턱(threshold of pain)이라고 부른다. 고통의 문턱을 넘어서는 소리의 세기는 고막과 이소골에 영구적인 손상을 입힌다. 귀는 소리의 세기에 비례하여 반응하지 않는다. 즉, 다른 소리보다 백만 배 더 센 소리가 백만 배 더 크게 들리는 것은 아니다. 소리의 세기에 대한 귀의 반응은 비례보다는 대수 관계에 더 가깝다. 귀의 비선형적 반응과 소리를 듣는 과정에 수반되는 넓은 범위의 세기 때문에 소리의 세기는 대수적으로 나타내는 것이 편리하다. 대수적으로 나타내면 소리의 세기는 기준 세기인  $10^{-12} \text{W/m}^2$ 와 비교하여 측정된다. 한때 귀는 소리의 세기에 대수적으로 반응한다고 믿기도 했었다. 대수적 반응이란, 예를 들어 복잡한 거리의 소리는 나뭇잎의 살랑거리는 소리보다 백만 배 더 세지만 단지 6배 더 크게 들릴 뿐이라는 것을 의미한다. 소리의 세기에 대한 귀의 반응이 정확히 대수적이지는 않다는 것을 알지만 여전히 대수적 반응은 서로 다른 세기를 가진 소리의 크기를 느끼는 정도를 평가하는 데는 유용하다. 귀의 민감도는 대단하다. 따라서 귀의 민감도는 공기에서 일어나는 소리의 요동을 감지하기 시작하는 극한점에 가깝다. 청각의 문턱에서 소리의 세기에 대응하는 분자의 변위는 분자들 자신의 크기보다 더 작다. 귀의 민감도는 귀의 역학적 구조와 일부 관계가 있는데, 귀의 구조 때문에 소리의 압력이 증폭된다. 대부분의 역학적 증폭은 중이에 의해 이루어진다. 고막의 면적은 난원창보다 약 30배 더 크다. 따라서 난원창의 압력은 같은 배율로 증가한다. 더구나 이소골은 지레 역할을 하여 약 2배의 역학적 이득을 얻는다. 결국 3000Hz 근처의 진동수 영역에서 귀관의 공명으로 인해 고막의 압력이 증가한다. 이 진동수 영역에서 압력이 2배 더 증가한다. 따라서 3000Hz 영역에서 음압의 전체 역학적 증폭은  $2 \times 30 \times 2 = 120$  이 된다. 세기는 압력의 제곱에 비례하므로 난원창에서의 소리의 세기는 약 14400배 만큼 증가하게 된다. 소리를 듣는 과정은 귀의 역학적 구조로 완전히 설명할 수는 없다. 뇌 자체가 소리를 인식하는 데 중요한 역할을 한다. 뇌와 신경 기관 사이에 일어나는 상호 작용의 정확한 메커니즘은 아직 완전히 이해하지 못하고 있다.

#### 4.2 합창에 필요한 항목과 물리학적 해석

합창음악의 기본 요건은 리듬(rhythm), 음정(intonation), 빠르기(tempo), 강약(dynamics), 발성(tone), 발음(diction), 융합(blending), 균형(balance), 악곡형식(form), 연주양식 및 해석(style)등으로 요약된다[5]. 이 중에서 물리학과 깊은 관련이 있는 항목을 중심으로 논하려고 한다.

##### 4.2.1 음정

음정은 소리의 진동수를 규칙적으로 배열하여 소리의 높낮이를 변화시키는 것을 말한다. 역사적으로 순정율과 평균율이 음정을 배열하는 방법으로 알려져 있다. 순정율은 순정음정에 의해 음계를 구성하는 방법을 말하며 이것은 우리의 귀가 두 음의 진동수비가 단순할수록 어울리게 느끼고 복잡할수록 어울리지 않게 느끼는 성질을 이용한 것이다. 으뜸화음, 버금딸림화음 및 딸림화음은 진동수비가 4:5:6으로 되어 있으며 이렇게 조율된 악기로 연주될 때 울림이 매우 아름답다. 그러나 조옮김을 하면 불협화음이 되어 불균일한 울림이 생긴다. 표 1은 C장조와 D장조로 조율된 순정율에 의한 진동수와 진동수 비율을 정리하였다. 여기서 보면 음정 사이의 비율이 일정하지 않음을 볼 수 있고, 조를 바꾸면 음의 진동수가 달라 불협화음이 나는 것이 이해될 것이다.

표 1. 순정율 비교

계이름	do	re	mi	fa	sol	ra	ti	do'
C 장조	C	D	E	F	G	A	B	C'
진동수	264	297	330	352	396	440	495	528
비율		8/9	9/10	15/16	8/9	9/10	8/9	15/16
D장조	D	E	F#	G	A	B	C#	D'
진동수	297	334	371	396	445	495	557	594

평균율은 순정율의 단점을 보완하여 한 옥타브를 12개의 평균한 음정으로 분할하고 이를 반음으로 정하여 음계를 구성하는 것을 말한다. 두 개의 반음은 온음이 되고 순수하게 음향학적으로 얻은 음과는 다소 차이가 있다. 음악적인 소리의 진동수는 88건반을 기준으로 본다면 약 40-3000Hz의 음역을 갖는다. 기준음을 라(A: 440Hz)음으로 잡으면 각 건반의 진동수는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$f_n = 440 \cdot 2^{n/12} \quad (1)$$

이때 n은 정수로서 -44에서 44가 된다. 이렇게 계산되어져 나온 진동수는 정수가 되지 못한다. 그러나 어떤 조로 조옮김을 하여도 훌륭한 화음을 이룰 수 있다. 표 2는 평균율의 일부는 기본음 위 한 옥타브에 맞추어 정리하였다. 물론 소수점 이하의 숫자에 대하여는 사람이 어느 정도 구별할 수 있는지는 개인적인 차이를 보일 것이라 여겨지며 큰 의미를 부여하기에는 부족하지만, 하여튼 진동수가 정수가 아니라는 것을 이해할 수 있

다.

표 2. 기준음 위 한 옥타브의 평균음에 의한 진동수

n	$2^{\frac{n}{12}}$	$440 \times 2^{\frac{n}{12}}$	음 이름
0	1.000000000	440.0000000	C
1	1.059463094	466.1637614	C <sup>#</sup>
2	1.122462048	493.8833011	D
3	1.189207114	523.2511302	D <sup>#</sup>
4	1.259921048	554.3652612	E
5	1.334839852	587.3295349	F
6	1.414213559	622.2539660	F <sup>#</sup>
7	1.498307073	659.2551121	G
8	1.587401048	698.4564611	G <sup>#</sup>
9	1.681792825	739.9888430	A
10	1.781797430	783.9908692	A <sup>#</sup>
11	1.887748618	830.6093919	B
12	2.000000000	880.0000000	C'

#### 4.2.2 소리 세기(intensity)와 균형(valance)

소리의 세기는 진폭에 비례하며 단위면적당 일률을 사용하여 표시한다. 소리를 낼 때 높은 음은 세계 발생하는 경향이 있는데 실제로 피아노 건반을 같은 강도로 두드리면 고음일수록 작게 들린다. 합창에서 균형은 매우 중요하다. 4부 합창을 기준으로 본다면 소프라노, 알토, 테너 및 베이스의 인원배정을 어떻게 할 것인가는 중요하게 잡고 넘어가야 할 사항이다. 소리의 크기를 자유자재로 조절할 수 있는 멤버라면 동일한 수의 인원으로 배치해도 무방하나 일반적인 경우는 고음부보다 저음부를 보강해야 균형이 맞는다. 소리굽쇠의 진동 가지는 공기 중에서 앞뒤로 왔다갔다 움직일 때, 진동 가지는 공기층에 힘을 가하여 공기층을 이동시킨다. 달리 표현하면 소리굽쇠의 진동 가지는 공기층에 일을 한다. 소리굽쇠가 음파의 형태로 공기 중으로 에너지를 방출한다는 사실은 소리굽쇠의 진동이 천천히 소멸되는 이유들 중의 하나이다. 다른 요소들, 즉 진동가가 움직이면서 생기는 마찰에 의한 에너지 손실 또한 운동의 소멸에 영향을 미친다. 파동의 세기(intensity)  $I$  는 초당 파동이 나아가는 방향에 수직인 넓이  $A$  를 지나가는 에너지양  $\frac{\Delta E}{\Delta t}$  로 정의한다. 여기서 에너지 흐름의 방향은 모든 점에서 표면에 수직이다. 에너지의 전달률이 일률이므로

$$I = \frac{P}{t} \quad (2)$$

로 정리된다. 여기서  $P$  는 표면을 지나가는 음파의 일률이며, 단위는 와트(W)이므로 소리의 세기는  $W/m^2$  의 단위를 가진다. 인간의 귀가 1000 Hz의 진동수에서 감지할 수 있는

가장 약한 소리는  $1 \times 10^{-12} W/m^2$  의 세기를 갖는데, 이 세기를 가청 문턱(threshold of hearing)이라고 한다. 귀가 통증 없이 들을 수 있는 가장 큰 소리의 세기는 약  $1W/m^2$  [고통 문턱(threshold of pain)]이다. 가청 문턱에서 귀의 내부 압력은 정상적인 대기압보다 약  $3 \times 10^{-5} Pa$  만큼 증가한다. 대기압이 약  $1 \times 10^5 Pa$  이기 때문에, 이것은 귀가 약  $3/10^{10}$  정도의 압력 변화도 감지할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 가청 문턱에서 공기 분자의 최대 변위는 약  $1 \times 10^{-11} m$  이다. 이것은 매우 작은 값이다. 만약 분자의 지름과 비교한다면, 귀가 음파에 대하여 얼마나 민감한 감지기인지를 알 수 있다. 마찬가지로 1000 Hz에서 인간의 귀가 견딜 수 있는 가장 큰 소리는 정상 대기압으로부터 약 29 Pa의 압력 변화에 반응할 수 있고, 이는 또한 공기 분자의 최대 변위가  $1 \times 10^{-5} m$  에 해당한다.

앞서 말한 바와 같이 인간의 귀는 매우 광범위한 영역의 세기를 감지할 수 있다. 들을 수 있는 가장 약한 음파의 세기보다 약  $1 \times 10^{12}$  배 큰 소리까지 감지할 수 있다. 그러나 가장 큰 소리가 가장 약한 소리보다 약  $1 \times 10^{12}$  배만큼 크게 들리는 것은 아니다. 인간의 귀에 있어서 소리의 세기는 대략 로그 함수적으로 지각되기 때문이다. 소리의 상대적인 세기를 세기 준위(intensity level) 또는 데시벨 준위(decibel level)라 하고 다음과 같이 정의한다.

$$\beta = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad (3)$$

여기서 상수  $I_0$  는 기준 세기로 정상적인 가청 문턱의 세기( $1 \times 10^{-12} W/m^2$ ) 로 잡고,  $I$  는 임의의 세기이며,  $\beta$  는 데시벨(dB)로 측정된 세기 준위가 된다. 데시벨 단위에서 영이 되는 값을 선택하면 인간이 들을 수 있는 가청 문턱의 하한선을 알 수 있다. 데시벨의 단위로 10 dB의 증가는 소리의 세기가 10배 크다는 것을 의미한다. 예를 들어, 50 dB의 소리는 40 dB의 소리 세기의 10배이고, 60dB은 40dB 소리의 100배이다.

고통문턱( $I = 1 W/m^2$ )은 데시벨단위로 120dB의 세기준위에 해당한다. 제트비행기는 세기준위 150dB의 소리를내며, 지하철과 리벳을 박는 장치의 세기 준위는 각각 90dB과 100dB이다. 록 음악 공연장의 증폭된 소리는 고통 문턱인 120 dB의 세기 준위까지 도달할 수 있다. 이와 같이 높은 세기 준위에 노출되는 것은 귀에 심각한 손상을 입힐 수 있다. 90dB 이상의 세기 준위에 장시간 노출될 경우 항상 소음 방지용 귀마개를 착용하는 것이 좋다[18,19,20].

#### 4.2.3 조화(harmony)와 융합(blending)

합창에서 조화는 매우 중요하다. 파동에 대한 중첩의 원리는 조화에 대한 좋은 해석을 준다. 중첩의 원리란 두 개 이상의 파동이 합쳐지는 것을 말하는데 우리의 귀에는 파형이 단순할수록 곱고 아름답게 들린다. 단순한 파형을 만들기 위해서 우선 같은 음을 내는 파트별 멤버들이 유사한 고운 음색을 만들어야 하는데 파트별 여러 사람의 목소리가 중첩되어도 일그러지지 않은 파형을 만들기 위해서이다. 그러기 위해서는 소리를 내는 개개인이 가장 단순한 파형 즉 고운 목소리를 만들기 위하여 노력해야 하며 그럴 경우

여러 사람의 소리를 합쳐도 단순한 파형을 만들 수 있다. 이런 원리를 적용하여  $F(t)$ 를 주기  $T$ 인 주기함수라고 하면  $F(t)$ 는 Fourier 급수로 표현할 수 있다[14,15,16].

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t) \quad (4)$$

이때  $\omega_i = \frac{2\pi i}{T}$ ,  $a_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos \omega_i t dt$ ,  $b_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin \omega_i t dt$ 이다.

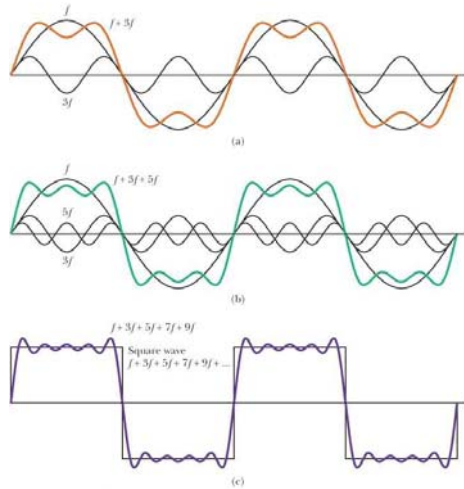


그림 3. 초기 조화파의 흡수배의 합으로 표시된 사각파의 프리에 해석.

악기들이 내는 소리의 파형은 대단히 복잡하다. 그림 4는 소리굽쇠, 플루트와 클라리넷으로 각각 동일한 음을 길게 연주할 경우에 얻어지는 파형을 보인 것이다(압력은 세로축에, 시간은 가로축에 나타내었음). 각각의 악기가 고유의 특징을 보이기는 하지만 모두 주기적으로 되풀이되는 특성이 있음을 알 수 있다. 소리굽쇠는 한 가지 진동수(기본진동수)만을 내지만 다른 악기들의 소리에는 배음들이 섞여 있다. 그림 5는 그림 4에 보인 파형들의 배음 분포를 보인 것이다. 플루트로 한 음을 내면 소리의 일부는 기본진동수의 음으로 나고 있지만, 이보다는 2차 조화 진동이 더 강하고 4차 조화 진동은 기본진동음과 거의 같은 세기로 나고 있는 등의 관계가 관찰된다. 이러한 배진동음들이 모두 중첩의 원리에 따라 합쳐져서 그림 4에 보인 바와 같은 그러한 복잡한 파형을 이루게 된다. 클라리넷은 1차 조화 진동 외에도 그 세기의 절반 정도로 2차 조화 진동을 내는 등의 특성을 보인다. 소리굽쇠는 1차 조화 진동음만을 낸다. 음악에서는 악기들의 고유한 소리를 음질(quality) 또는 음색(timbre)이라 한다. 음색은 소리를 이루는 배진

동들의 혼합에 의해서 결정된다. 따라서 플루트의 '도'와 클라리넷의 '도'의 음색이 다르다. 나팔, 트럼펫, 바이올린, 튜바 등은 배음이 풍부한 악기들이다. 관악기들을 연주할 때 입술을 잘 이용하면 특정한 배진동을 강하게 낼 수 있기 때문에, 밸브를 바꾸지 않고도 다른 음을 연주할 수 있다.

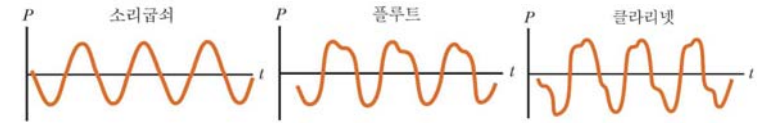


그림 4. 고운 소리를 낼수록 파형이 단순하다.

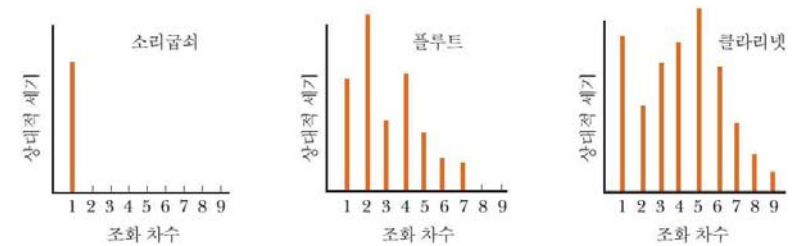


그림 5. 조화의 차수에 따라 상대적 세기가 다르다.

두 진행하는 펄스가 합쳐질 때는 본래 파형을 잃어버리지만 이후 다시 본래의 파형을 갖게 된다. 그림 6은 단순한 예이지만 실제 예를 표시하고 있다. 파동이 합쳐져 있을 경우는 본래의 파동을 잃어버리는 것일까? 라는 질문에 대하여 우리의 귀는 아니라는 것을 알고 있다. 수 십 명이 합창을 할 경우 한사람이 이상한 소리를 내면 금방 구별해 낼 수 있다. 융합이란 서로 다른 성격의 소리를 잘 어울리게 배합하는 것을 말한다. 맛있는 커피가 물에 동등 떠다니면 그만큼 맛이 떨어질 것이다. 혼성 합창의 경우 남자와 여자의 소리는 많이 차이가 난다. 그래서 남성들로만 이루어진 남성합창이 중후하고 풍성한 소리와 분위기를 주고, 여성합창은 맑고 가벼운 느낌을 주는 것은 남자와 여자의 소리가 다르기 때문일 것이다. 그런데 혼성합창이 대다수인 성가합창은 남자와 여자의 소리를 잘 융합시켜야 좋은 소리를 만들 수 있다.

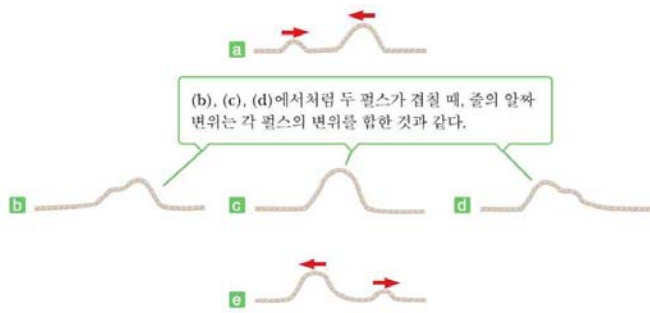


그림 6. 파동은 중첩될 때 독립성을 유지한다.

좋은 소리를 만들기 위해서는 원래의 소리에서 이탈된 소리를 제어해야 한다. 이것은 물리적으로 설명하기 좋은 예가 있는데 바로 맥놀이(beat) 현상이다. 예를 들어 기타줄 1번선과 2번 선을 맞추기 위하여 2번선 5번째 플랫에 손을 고정하고 거의 비슷한 소리가 나면 맥놀이를 측정할 수 있다. 맥놀이 횟수가 많으면 쉽게 관측되지 않지만 거의 비슷한 음으로 맥놀이 주기가 길어지면 쉽게 관측된다. 특징은 기타의 공명통에서 나오는 소리가 주기적으로 커졌다 작아졌다 하는데 이것이 맥놀이이다.

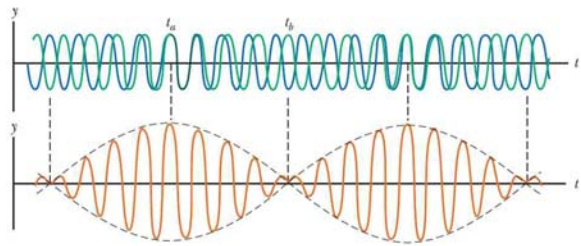


그림 7. 맥놀이.

맥놀이는 같은 방향으로 진행하는 진동수가 약간 다른 두 파동이 결합하여 만들어진다. 그림 7의 윗그림은 공간의 고정된 위치에서 관측자가 듣는 각각의 파동들을 아래그림은 합성파는 시간에 따라 주기적으로 진동하는 진폭(점선)을 나타낸다.

또한 좋은 소리를 만들기 위해서는 공명을 충분히 이용하여야 한다[8,13]. 공명이란 물체의 고유진동수와 외부 진동수가 일치하는 현상으로 이 경우 진폭이 매우 커진다. 대부분의 악기는 이런 공명 현상을 이용하고 있으며 사람이 내는 발성도 공명을 이용하여 효과적으로 소리를 내야 한다. 공명기관을 사용한다는 것은 목소리의 음역과 더불어 작엽

을 하는 것이라 할 수 있다. 공명 기관은 각각 고립되어서는 되지 않고 무지개의 아름다운 빛깔처럼 소리의 균형을 잡도록 상호 조화되어야 한다. 초보자들은 안면공명에 쉽게 도달하며 소리는 장 집중된 소리로 울려나게 된다. 또한 모음을 공명발성으로 연결짓는 가장 쉬운 방법은 자음과 모음을 같이 사용하여 연습하는 것이며, 입술을 봉어 모양으로 만들면 더욱 효과적인 연습 방법이 된다[13].

## V. 결론 및 토의

20여년간 비전문가로서 성가대를 지휘해 온 것은 전적으로 하나님의 은혜이며, 그나마 물리학에서 도움을 줄 수 있는 부분이 있다는 것은 너무나 감사한 일이다. 우리나라의 유명한 합창지휘자는 오래전에는 작곡을 전공하신 분들이 많았지만, 최근 들어 지휘를 전문적으로 공부하고 박사학위를 받은 지휘자들이 많이 배출되었다. 발성을 하는 성악가 등도 이전에는 경험과 스승으로부터 사사한 것이 전래되어 오는 것이 전부였다면 최근 들어 의학 및 해부학과 접목하여 발성기관의 구조를 연구하고 이를 통하여 공명현상 등 물리적인 현상을 가지고 분석하여 적용하는 과학적인 방법을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 교회합창이란 영역을 물리학이란 도구로 설명하는데 의미를 갖는다.

우선 음정은 평균율에서 주어진 진동수(pitch)를 정확히 지켜 화성과 함께 조옮김에도 능동적으로 적용할 수 있도록 하며, 파트별 발성은 같은 음색의 고운소리를 만들어 중첩이 되어도 파형이 단순하고 찌그러지지 않도록 해야 한다. 파트별로 내는 정확한 높이의 고운소리는 맥놀이 현상을 방지하고 나아가 공명의 효과를 가지고 와 소리 에너지의 효과를 극대화할 수 있다. 파트별 강도는 곡의 성격과 지휘자의 음악적 해석에 따라 달라질 수 있지만 우리 귀에 예민하게 들리는 고음과 덜 예민한 저음의 균형을 잘 이루어야 한다. 필자는 고음은 약하게 저음은 강하게 하는 것이 물리학적 해석으로 옳다고 생각한다.

## 참고문헌

- [1] 세미나교재 (2009), 『제30회 교회음악 하계대학 2009학기적합창세미나』. 서울: 한국교회음악협회.
- [2] 세미나교재 (2009), 『Searching Festival 2009.07』. 서울: 한국교회음악출판협회.
- [3] 정병철 (1989), 『하나님의 양식은 찬양이다』. 서울: 미완성.
- [4] 정병철 (2009), 『찬양의 위대한 능력을 확인하자』. 서울: 한국교회음악출판협회.
- [5] 광상수 (2002), 『예배음악과 한국교회』. 서울, 도서출판 마루.
- [6] 조숙자, 조명자 (1981), 『찬송가학』. 서울: 장로교신학대학출판부
- [7] 오영걸 (2005), 『교회음악원론』. 서울: 엘맨.
- [8] 김도수 (1994), 『합창 발성의 실제』. 서울: 미완성.
- [9] 김두완 (1981), 『교회음악개론』. 서울: 아가페음악선교회.

[10] 백승동 (1989), 『대학음악이론』. 서울: 현대음악출판사.  
 [11] 편집국 (1989), 『최신음악통론』. 서울: 세광음악출판사.  
 [12] 조효임, 이동남, 주대창 (1989), 『새로운 음악통론』. 서울: 학문사.  
 [13] 이동훈 (1989), 『합창지도법』. 서울: 동진음악출판사.  
 [14] 고재걸 (1987), 『역학』. 서울: 청문각  
 [15] E. Neal Moore (1988), *Theoretical Mechanics*: John Wiley & Sons.  
 [16] Jerry B. Marion (1970), *Classical Dynamics of Particles and Systems*: Academic Press.  
 [17] Franklin M. Segler, *Christian Worship*. 정진황 역 (1987), 서울: 요단출판사.  
 [18] P. Davidovits (2008), *Physics in Biology and Medicine*: Academic Press, 이석재 외 역 (2009) 서울: 북스힐.  
 [19] John W. Jewett, Jr. Raymond and A Serway (2010), *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 8th Ed.*: Cengage Learning, 한두희 외 역 (2012), 『대학물리학』. 서울: 북스힐.  
 [20] Raymond A. Serway and Chris Vuille (2012), *College Physics 9th Ed.*: Cengage Learning, 한두희 외 역 (2013), 『일반물리학』. 서울: 북스힐.

## ‘교회합창과 물리학’ 논평

박윤배 (경북대학교 물리교육과 교수)

### 1. 내용 요약

논평의 대상이 된 글은 ‘교회합창과 물리학’으로 발표자의 20여년에 걸친 합창지도 경험과 자신의 전공학문인 물리학을 연결시킨 것으로, 소리의 물리적 특성을 중심으로 기술하고 있다. 발표한 글에서는 먼저, 찬양의 의미, 교회음악과 성가합창에 대해 간단하게 기술하고, 이어서 소리에 대한 물리학적 접근으로 귀의 구조와 성능, 진동수, 소리의 세기, 푸리에(Fourier) 급수 해석, 맥놀이, 공명 등의 음향학의 내용을 중심으로 하여 합창에서의 음경, 세기와 균형, 조화와 융합을 다루고 있다.

### 2. 기여한 점

물리학의 한 분야인 음향학(acoustics)에서는 파장과 음정, 소리의 세기, 음색, 소리의 합성과 분해, 정상파와 공명 등을 이용하여 각종 악기의 원리와 함께 울림이 좋은 음악당의 설계에 이르기까지 소리와 관련된 부분을 과학적 방법을 사용하여 다루고 있다. 한편, 음악에서는 예술적인 표현과 듣는 자의 감동에 치중하다 보니, 물리학적 해석과는 서로 거리가 있어왔다. 본 글은 서로 먼 위치에 있던 두 분야, 즉 물리학과 음악(구체적으로는 합창)을 관련시켜 보았다는 데서 의미를 찾을 수 있을 것이다.

구체적으로 합창 지도에서 가장 중요한 부분인 정확한 음정, 파트간의 조화, 합창단원들의 소리의 융합에 관해 물리학적 분석과 설명을 하였고, 더 나아가서 균형을 이루는 법과 조화와 융합을 달성하는 방법에 대한 지침도 제시하고 있다. 예를 들어, 합창을 좋아하여 지금도 합창단에 참여하며 합창단 지도도 하고 있는 본인으로서의 발표자의 글 중에서 ‘4.2.3 조화와 융합 부분’에서 ‘파형이 단순할수록 곱고 아름답게 들린다. 단순한 파형을 만들기 위해서 ... 멤버들이 유사한 고음 음색을 만들어야 하는데, 파트별 여러 사람의 목소리가 중첩되어도 일그러지지 않은 파형을 만들기 위해서이다.’ 라는 부분이 가장 인상적이었다. 이 또한 본인 뿐 아니라, 모든 합창 지도자들에게 구체적인 도움이 되는 부분이라고 본다.

### 3. 해결해야 할 과제

‘2.2 찬양의 중요성과 문제점’에서 ‘하나님 중심으로 경건하고 정성껏’ 드리는 예배를 high church로, ‘사람 중심의 기복적 형태로 즉흥적인 순서로 진행하며 현실적 성과에 치중하는 쉽고 편한 예배’를 low church로 구분한 것은 공정한 기술(fair description)이 아닌 듯 하다. 전통을 따라야 한다는 high church와 변화를 추구하는 low church의 원래의 뜻을 왜곡시켜 한 쪽에서 다른 쪽을 비방하기 위한 주장을 그대로 표현하는 것에 대해서는 다른 의견이 있을 수 있기 때문이다. 예배의 대상과 정신은 변할 수 없지만, 예배의 형식은 시대와 사람에 따라 달라질 수 있는 것이며, 달라져 온 것이 아닌가? 구약성경에 나타난 예배와 신약성경에 나타난 예배가 다름에서 볼 수 있듯이, 예배의 형식까지도 변할 수 없다는 주장은 무리한 것으로 논평자는 보고 있다.