

# Wi-Fi 간섭 최소화를 위한 최적 채널 배치 알고리즘

## 초록

최근 스마트 기기의 급격한 보급과 함께 Wi-Fi 통신망이 빠르게 구축되며 그에 따른 Wi-Fi 신호 간 간섭에 의한 문제가 커지고 있다. 본 논문에서는 Wi-Fi 신호의 채널 배치에 따른 통신 성능을 측정했다. 그 결과 동일 채널 간섭보다 인접 채널 간섭에 의한 통신 성능 저하가 크며 다운로드 성능 저하가 업로드 성능 저하에 비해 크다는 점 등의 상관 관계를 밝혔다. 또한 한정된 대역폭에서 신호가 2개, 3개, 4개 존재하는 상황에서의 최적의 Wi-Fi 신호의 채널 배치를 찾았다. 그리고 이를 바탕으로 무선 공유기의 Wi-Fi 신호의 최적 채널 검색 알고리즘과 통신사 Wi-Fi 신호의 채널 배치의 개선 방안 등 실제 상황에서의 적용 방안을 제안했다.

키워드: Wi-Fi, 채널 배치, 신호 간 간섭

## I. 서론

2009년 아이폰의 국내 출시 후 스마트폰과 태블릿 PC 등 스마트 기기가 빠르게 보급되었다. 스마트 기기들의 보급에 따라 무선 통신을 통한 웹 서핑, 동영상 재생 등이 일반화되며 무선 데이터 통신량이 폭발적으로 증가했고 이를 통신사들의 기존 무선 통신망으로 감당하기 위해서는 경제적인 부담이 매우 컸다. 이에 따라 설치 및 유지 비용이 저렴할 뿐만 아니라 통신 성능이 우수해 데이터 통신량 증가를 감당하기에 유리한 Wi-Fi 통신의 필요성이 높아졌다.

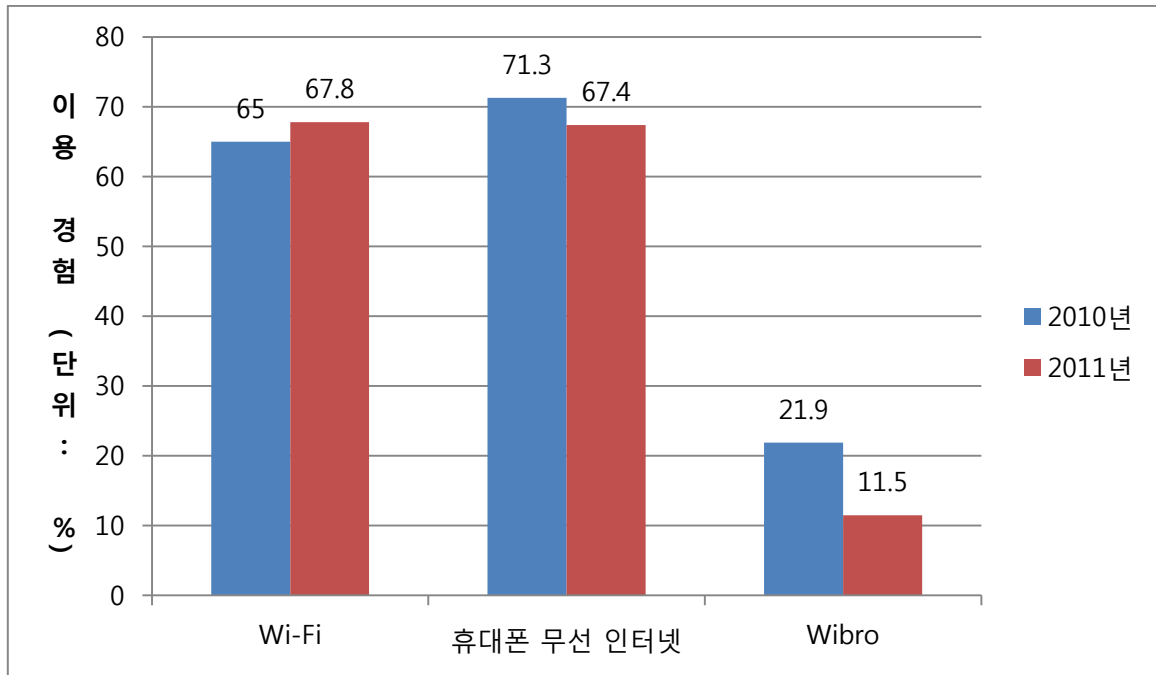


Figure 1 무선인터넷별 이용 경험

Figure 1에서 확인할 수 있듯이 사용자들 역시 통신 성능이 우수하고 데이터 통신 요금이 부과되지 않는 Wi-Fi 통신을 많이 사용하고 있다. 특히 태블릿 PC와 노트북과 같이 통신사의 데이터 통신망을 이용할 수 없거나 테더링 기능 사용에 따른 요금 부담 등의 이유로 이들 기기들은 Wi-Fi를 통해서만 무선 인터넷 통신이 가능하다. 실제 조사에서도 무선 인터넷 통신 방법 중 Wi-Fi사용 경험 비율이 매우 높았다. [1]

Wi-Fi 통신 사용이 많아지며 Wi-Fi 통신망 역시 급속도로 구축되고 있다. 특히 통신사는 경쟁적으로 주요 거점에 Wi-Fi Zone을 구축하고 있으며 카페나 음식점 등에서도 고객을 위한 Wi-Fi 통신망을 구축한 경우가 많다. 그 외에도 스마트 기기를 사용하는 회사와 가정에서도 Wi-Fi 통신망을 구축하고 있다. 2012년 11월 현재 국내 통신 3사가 구축한 Wi-Fi Zone의 수는 모두 150만 개 이상으로 추정되며 전체 Wi-Fi 통신망의 수는 300만개 이상으로 추정된다. [2]

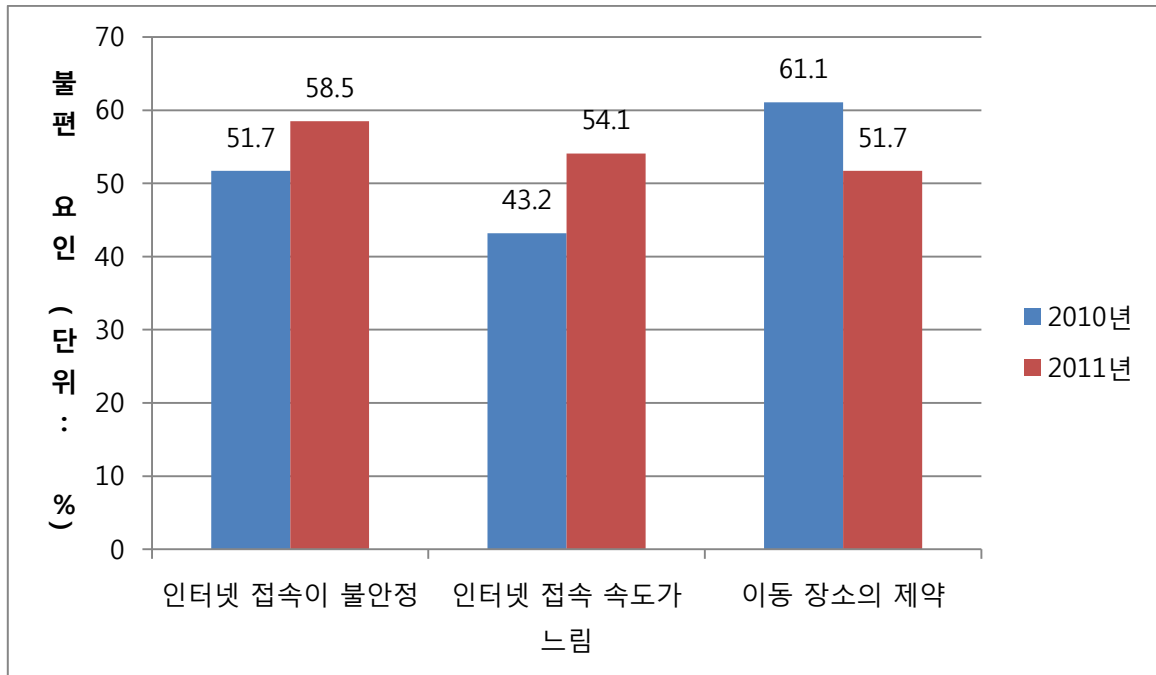


Figure 2 Wi-Fi 사용 시 불편 요인

하지만 Wi-Fi 통신망이 급속도로 구축되며 Wi-Fi 신호 간 간섭에 의한 성능 저하가 문제가 되고 있다. 특히 통신사의 Wi-Fi Zone은 서로 영역이 겹치는 경우가 빈번하며 주요 거점의 경우에는 통신 3사의 Wi-Fi Zone이 모두 존재하는 경우도 다반사다. 여기에 업소와 회사, 가정 등에서 구축한 Wi-Fi 통신망까지 고려하면 한 지점에 영향을 미치는 Wi-Fi 통신망의 수가 10개가 넘는 경우도 많다.

Figure 2와 같이 2010년과 비교해 2011년에는 Wi-Fi 통신의 불편 요인 중 인터넷 접속이 불안정하며 인터넷 접속 속도가 느리다는 항목은 증가했다. 그에 비해 이동 장소의 제약에 따른 불편함은 줄은 것으로 조사되었다. 새로 구축되는 Wi-Fi 통신망의 경우 대부분 성능이 우수한 규격인 802.11n 기반으로 구축되기 때문에 Wi-Fi 신호 간 간섭이 성능 저하의 원인의 중요한 요인으로 생각된다. 이는 Wi-Fi 통신망이 급속하게

구축되는 과정에서 신호 간 간섭을 고려하지 않아 오히려 통신 성능은 저하되었다는 것을 보여준다. [1]

이처럼 Wi-Fi 신호 간 간섭으로 인한 문제가 더욱 커지는 상황에서 간섭 문제를 최소화하는 방안에 대한 연구는 매우 부족한 상황이다. 서로 다른 통신 규격 간의 신호 간 간섭에 대한 연구는 존재하며[3] Wi-Fi 규격의 기술적 차원에서도 많은 연구가 이루어져 통신 성능이 개선된 다양한 Wi-Fi 규격들이 개발되었지만 이는 현재 구축되어 있는 통신망의 하드웨어 또는 펌웨어의 근본적인 업그레이드를 필요로 하며 이를 위한 막대한 비용과 시간이 필요하다. 그에 비해 현재의 통신망의 단순한 요소를 최적화하는, 즉 채널 배치를 최적화해 신호 간 간섭을 최소화하는 연구는 현재까지 거의 이루어지지 않았다. 다만 2개 신호가 존재하는 경우에서 채널 간격에 따른 통신 성능 변화에 관한 연구가 있었으나 신호가 3개, 4개 존재하는 상황에서 신호의 채널 배치에 따른 성능 변화에 관해서는 아직까지 연구된 바 없다.

따라서 본 논문에서는 다양한 환경에서의 최적의 Wi-Fi 채널 배치에 대해 연구했다. 신호의 수가 2개, 3개, 4개인 상황에서 주어진 대역폭을 변화시켜 가며 Wi-Fi 신호의 채널 배치에 따른 통신 성능을 측정해 각각의 상황에서의 최적의 채널 배치를 찾았다. 또한 그 결과를 통해 공유기에서 최적 채널 배치 및 통신사의 Wi-Fi Zone의 최적 채널 개선 방안 등 실제 상황에서의 적용을 통한 개선 방안을 제시해 실제 상황에서 Wi-Fi 신호 간 간섭 문제를 최소화했다.

## II. 이론적 배경

Wi-Fi란 IEEE 802.11 기반의 통신 기술을 뜻한다. 일반적으로 Wi-Fi 통신은 인터넷에 데이터를 전달해 주는 기능을 하는 AP와 노트북이나 스마트폰과 같이 사용자가 서비스를 받는 단말기간의 통신을 일컫는다. 현재 Wi-Fi는 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11ac 규격이 존재한다. 이 중 널리 쓰이고 있는 규격은 802.11b, 802.11g, 802.11n이다. 현재 새로이 구축되는 Wi-Fi 통신망은 대부분 802.11n 기반이다. 802.11ac 규격의 경우 2012년 중반에 첫 신제품이 공개되었다.

전 세계적으로 Wi-Fi에는 할당된 대역폭이 한정되어 있기 때문에 대역폭을 채널 단위로 나누어 쓴다. 이 부분은 국가별 규제에 조금씩 차이가 있기 때문에 채널 수가 1, 2개 정도 차이가 있을 수 있다. 우리나라의 경우 2.4Ghz 대역에서는 1채널의 중심 주파수 2.407Ghz부터 5Mhz씩 증가하며 13개의 채널이 존재한다. 또한 802.11g, 802.11n, 802.11ac 규격은 광대역 통신을 효율적으로 수행하기 위해 OFDM[Orthogonal Frequency Division Multiplexing] 규격을 채택했다.

Wi-Fi의 신호 간 간섭은 동일 채널 간섭[Co-Channel Interference]과 인접 채널 간섭[Adjacent Channel Interference]로 분류할 수 있다. 동일 채널 간섭은 다수의 신호가 동일한 채널을 사용할 때 발생하며 인접 채널 간섭은 다수의 신호가 인접한 채널을 사용할 때 발생한다. 일반적으로 802.11n 규격의 경우 신호 간 간격이 3개 채널 이내일 경우, 즉 두 신호 사이에 3개 채널이 존재할 때까지 눈에 띄는 인접 채널 간섭이 발생한다. 동일 채널 간섭과 인접 채널 간섭이 복합적으로 일어날 수도 있다. [4]

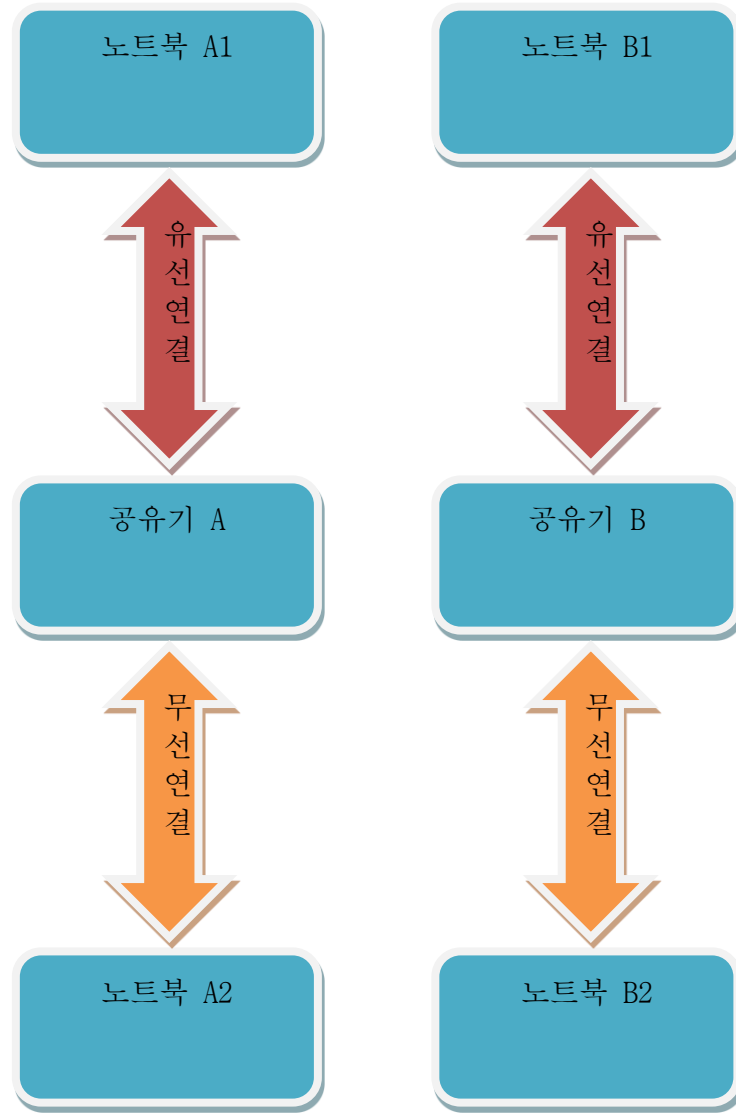


**Figure 3 IpTime N604V와 Sens R70**

Wi-Fi의 신호 간 간섭과 채널 배치 사이의 관계를 다룬 연구는 이루어지지 않은 것으로 보인다. 하지만 Wi-Fi와 802.15.4의 비교적 유사한 규격 간의 중첩 채널 간섭에 대해 다룬 연구는 존재했다. 이 연구에서의 무선 통신 성능 측정 방법 등의 실험 설계를 참고했다. [5]

### Ⅲ. 실험 방법

Wi-Fi의 통신 성능을 측정하는 가장 일반적인 방법은 무선 인터넷 속도 측정이다. 즉 Wi-Fi 통신을 통해 무선 인터넷에 접속한 후 특정 서버와의 통신 성능을 측정하는 것이다. 하지만 이 방법은 측정 서버와 회선 등 다양한 불안정 요소가 존재한다. 때문에 본 논문에서는 2개의 기기 사이의 데이터 전송 속도를 직접 측정하는 방식으로 Wi-Fi 통신 성능을 측정했다.



**Figure 4 노트북과 공유기의 유, 무선 연결 구조**

실험은 IpTime N604V와 Sens R70을 사용해 진행했다. IpTime N604V의 통신 칩셋은 Realtek 사의 RTL8196 이다. Sens R70의 무선랜 카드는 Intel사의 4965AGN이다.

실험은 다음과 같이 이루어졌다. 하나의 노트북을 공유기의 LAN 포트에 유선으로 연결하고 다른 하나의 노트북과 공유기 Wi-Fi을 통해 연결했다. 그리고 두 노트북 사이의 데이터 통신 성능을 측정했다. 이때 간섭이 없는 경우 두 노트북 사이의 데이터 통신 성능은 50Mbps 이하였다. 그에 비해 두 노트북 모두 LAN 포트에 유선으로 연결했을

경우의 데이터 통신 성능은 100Mbps 이상이였다. 즉 두 노트북 사이의 통신 성능에 유선 통신 성능은 제한 요인이 될 수 없으며 무선 통신 성능이 곧 실제 데이터 통신 성능을 의미한다는 것이다.

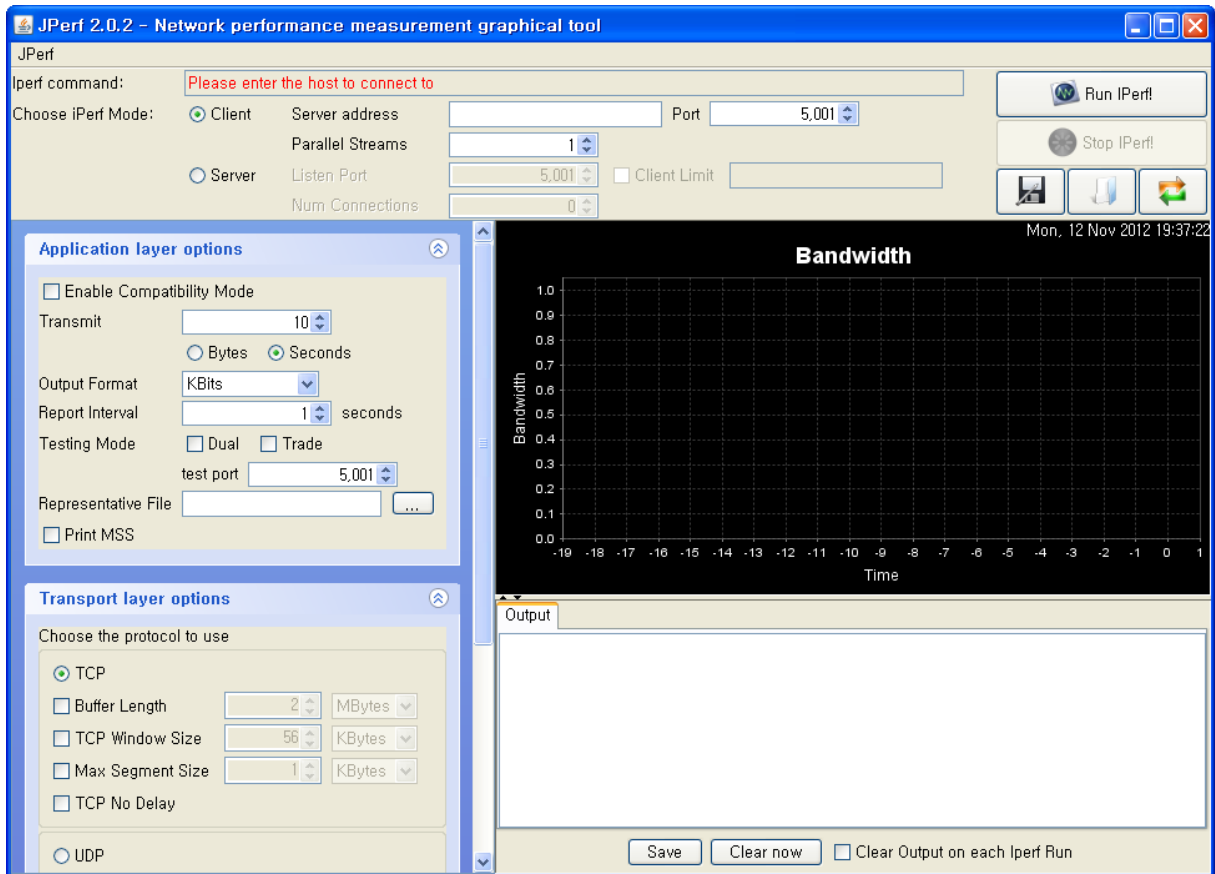


Figure 5 네트워크 성능 측정 프로그램 JPerf

노트북 간의 데이터 통신 성능은 IPerf 기반의 JPerf를 사용해 측정했다. IPerf는 NLANR/DAST에서 개발 된 네트워크 성능 측정 프로그램이며 JPerf는 IPerf를 기반으로 그래픽 유저 인터페이스를 구현한 프로그램이다. Jperf을 이용해 30초 동안 초당 데이터 전송 성능을 측정했다. 이때 데이터는 클라이언트에서 서버로 전송된다. 즉 Wi-Fi를 통해 연결된 노트북이 클라이언트일 경우에는 Uplink, 서버일 경우에는 Downlink 성능을 측정하는 것이다. 일반적으로 Downlink는 다운로드, Uplink는 업로드를 의미한다.



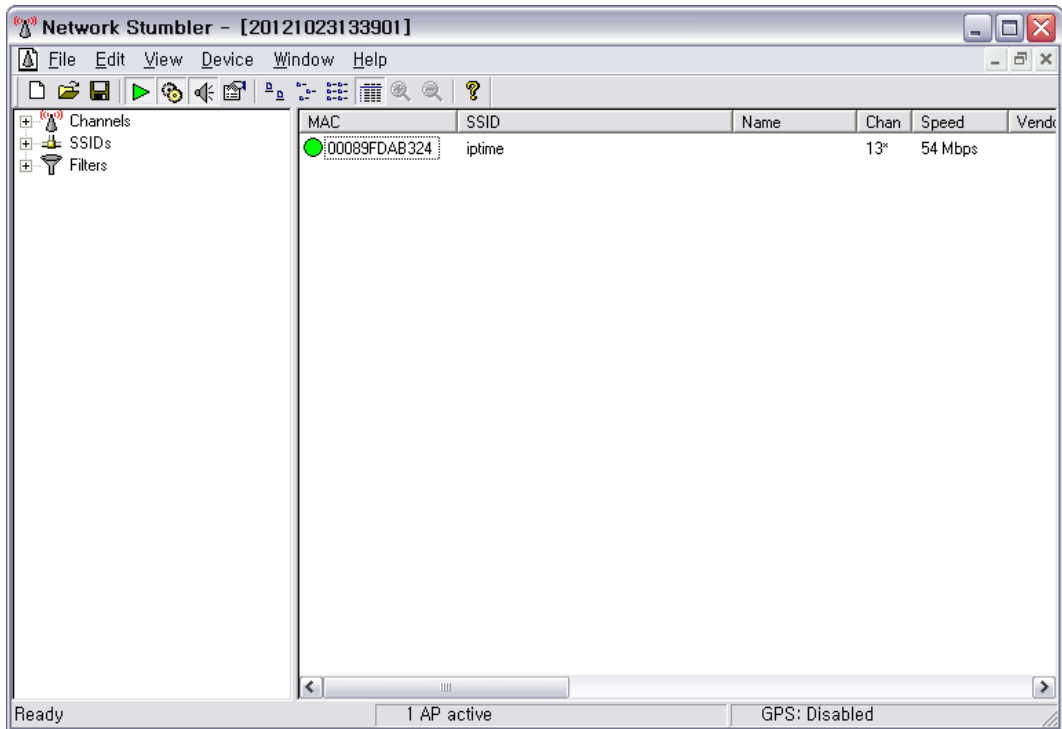


Figure 6 Network Stumbler를 통한 주위 Wi-Fi 신호 확인

Network Stumbler는 현재 해당 기기에서 수신되는 Wi-Fi 신호의 수와 채널, 세기를 보여준다. Figure 6에서와 같이 주위에는 다른 Wi-Fi 신호가 활성화되지 않은 상태에서 진행했다. 실험 도중 계속해서 주위의 Wi-Fi 신호의 존재 여부를 점검했기 때문에 다른 Wi-Fi 신호와의 간섭으로 인한 영향은 없다. 물론 2.4Ghz 대역은 ISM Band이기 때문에 Bluetooth 등의 기기로 인한 간섭이 있기 때문에 성능 측정 시 예상치 못하게 통신 성능이 급격하게 변할 경우에는 재 실험을 진행해 다른 기기에 의한 간섭으로 인한 영향을 최소화했다.

저가 통신 칩 셋의 경우 연속적으로 부하가 가해지면 점차 성능 저하가 발생할 수 있기 때문에 300초 동안 연속적으로 테스트를 진행해 보았다. Downlink 성능은 평균 42485.0Kbps 였으며 Uplink 성능은 37879.0Kbps였다. 이때 모든 항들의 표준 편차는

Downlink의 경우 637.8Kbps로 1.5%, Uplink의 경우 492.8Kbps로 1.3%에 불과했다. 측정 시간 동안 Downlink 및 Uplink 성능을 연속적으로 표시하는 그래프상 뚜렷한 저하현상은 관찰되지 않았다. 즉 300초 동안의 부하로 인한 성능 저하가 없었으며 실제 실험은 30초 단위로 이루어졌고 실험 사이에 데이터 정리 및 채널 변경 등의 과정을 거쳤기 때문에 성능 저하를 유발할 정도의 부하는 가해지지 않았다.

실험은 신호가 2개, 3개, 4개인 경우로 나누어 진행했다. 즉 노트북을 4개, 6개, 8개 사용해 2개, 3개, 4개의 쌍을 이뤄 성능을 측정했다. 이때 각각의 쌍의 채널 배치에 따라 통신 성능은 부록에 첨부했으며 본문에는 평균값만 표시했다. 부록의 데이터는 오름차순으로 정리했다. 모든 데이터는 소수 첫째 자리까지 표시했다.

신호가 3개 이상인 경우의 채널 배치는 단순히 신호 간 채널 간격으로 표시하는 것이 불가능하다. 따라서 앞으로 신호의 채널 배치는 다음과 같이 나타내려고 한다. 이 연구에서 다루고자 하는 것은 신호의 상대적인 채널 배치에 따른 통신 성능이기 때문에 절대적인 채널은 나타내지 않을 것이다.

13채널을 사용하는 신호 1개, 11채널을 사용하는 신호 2개인 경우: 1-0-2

13채널을 사용하는 신호 1개, 11채널을 사용하는 신호 1개, 9채널을 사용하는 신호 2개인 경우: 1-0-1-0-2

그리고 이렇게 표시한 채널 배치를 할당 대역폭, 즉 사용한 채널의 폭으로 분류했다.

#### IV. 실험 결과

##### 1. Wi-Fi 신호 수가 2개인 경우의 통신 성능

Table 1 신호가 2개인 경우 Downlink 성능

신호 간 채널 간격	평균 속도 (단위: Kbps)
0	19276.5
1	529.0
2	703.0
3	3028.5
4	11667.0
5	12954.5
6	15241.0
7	15189.5
8	19276.5
9	21091.5
10	20972.0
11	25485.5
12	26645.0
단일 신호	42485.0

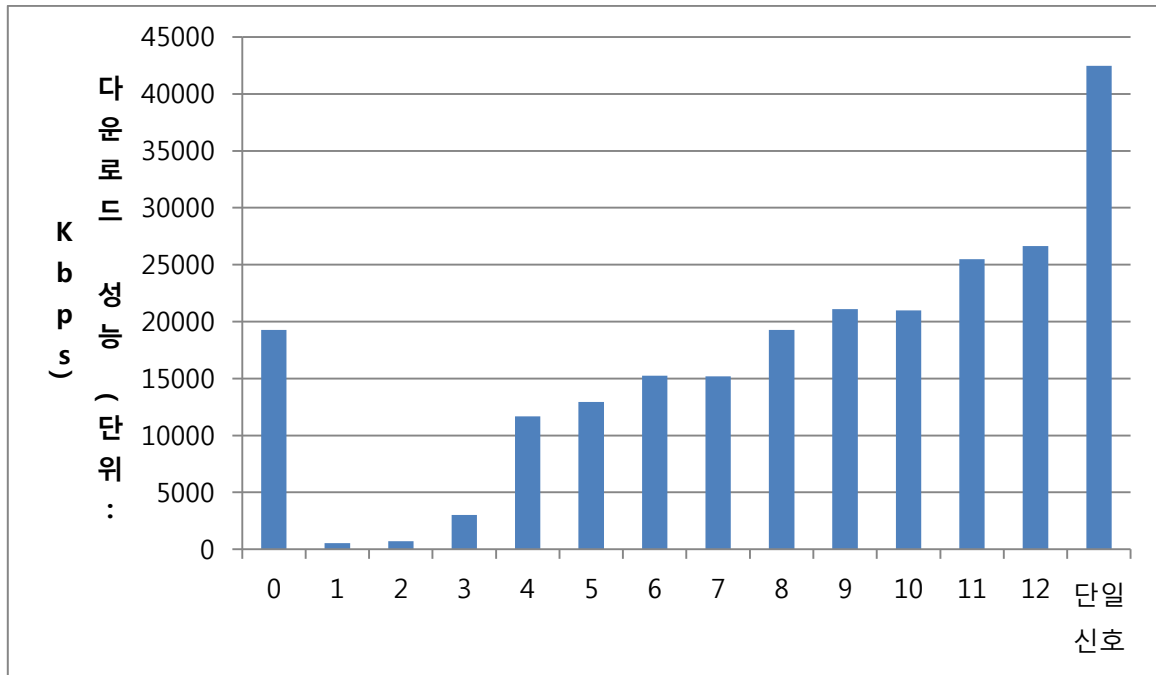


Figure 7 신호가 2개인 경우 Downlink 성능

단일 신호 항목의 경우에는 하나의 신호를 13채널에서 20Mhz 대역폭을 갖도록 설정한 상태에서의 결과로 신호 간 간섭이 없는 대조군이다.

Downlink 성능 측정 결과에서 가장 중요한 점은 2개 신호가 같은 채널을 사용할 때 성능 저하가 상대적으로 적었다는 것이다. 또한 신호 간 채널 간격이 1개 또는 2개와 같이 가까운 경우에 성능 저하가 매우 심각했다. 실제로 측정 도중 통신 불가능 상태로 측정되는 경우가 종종 있었다. 즉 동일 채널 간섭에 비해 인접 채널 간섭에 의한 성능 저하가 훨씬 심각하다는 것이다. 그리고 신호 간 채널 간격이 8개 정도 되었을 때 인접 채널 간섭에 의한 성능 저하와 동일 채널 간섭에 의한 성능 저하가 비슷해졌다. 채널 간격이 점점 넓어지면서 성능이 회복되는 경향을 보였지만 간섭이 없는 상태로의 완전한 회복은 이루어지지 않았다. 채널 간격이 12개로 가장 많이 떨어져 있는 경우의 Downlink 성능은 대조 군의 60%에 불과했다.

Table 2 신호가 2개인 경우 Uplink 성능

신호 간 채널 간격	평균 속도 (단위: Kbps)
0	16715.0
1	14355.0
2	14236.5
3	14489.0
4	16706.0
5	18111.5
6	18851.5
7	20123.0
8	19647.0
9	19976.5
10	21580.5
11	19610.5
12	20168.5
단일 신호	37879.0

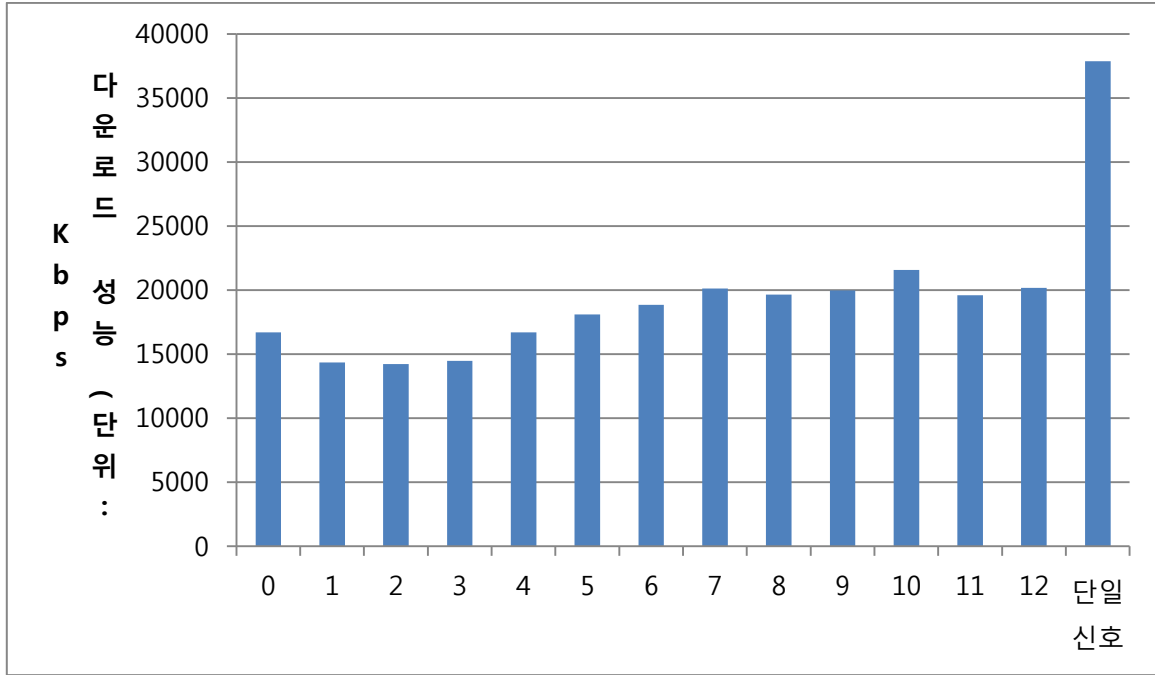


Figure 8 신호가 2개인 경우 Uplink 성능

Uplink 성능의 경우 특별한 경향성을 찾을 수가 없었다. Downlink 성능과는 달리 동일 채널 간섭과 신호 간 채널이 1개, 2개인 경우의 인접 채널 간섭에 의한 성능 저하 정도가 비슷했다. 또한 채널 간격이 넓어짐에 따른 성능 회복 경향도 적었다. 특히 채널 간격이 7개 이상인 경우에는 눈에 띄는 성능 회복이 없었다. 신호 간 간섭으로 인한 Uplink의 성능 저하는 전체적으로 Downlink의 성능 저하보다 작았다.

## 2. Wi-Fi 신호 수가 3개인 경우의 통신 성능

Table 3 신호가 3개인 경우 Downlink 성능

할당된 채널 수	채널 별 신호 배치	평균 속도 (단위: Kbps)
1 개 채널	3	6348.7
2 개 채널	2-1	43.0
3 개 채널	2-0-1	456.7

	1-1-1	54.3
5 개 채널	2-0-0-0-1	5268.7
	1-1-0-0-1	196.0
	1-0-1-0-1	540.7
7 개 채널	2-0-0-0-0-0-1	8865.3
	1-1-0-0-0-0-1	587.8
	1-0-1-0-0-0-1	1573.0
	1-0-0-1-0-0-1	6805.7
9 개 채널	2-0-0-0-0-0-0-0-1	9543.3
	1-1-0-0-0-0-0-0-1	386.1
	1-0-1-0-0-0-0-0-1	6348.7
	1-0-0-1-0-0-0-0-1	43.0
	1-0-0-0-1-0-0-0-1	456.7

할당된 대역폭이 1개 채널인 경우, 즉 한 개의 채널을 3개의 신호가 사용하는 경우의 신호 간 간섭에 의한 성능 저하는 상대적으로 적었다.

할당된 대역폭이 2개 채널인 경우 오히려 할당된 대역폭이 1개 채널인 경우보다 성능 저하가 심각했다. 인접 채널 간섭에 의한 Downlink 성능 저하가 심각함을 보여주는 수치다.

할당된 대역폭이 3개 채널인 경우의 결과로부터 신호 간 간섭이 중복해서 일어난 경우의 성능을 짐작할 수 있다. 신호가 2개인 경우 중 신호 간 간격이 2개인 경우, 즉 1-0-1배치의 평균 Downlink 성능은 703.0Kbps이다. 그리고 2-0-1 배치의 평균 Downlink 성능은 456.7Kbps이다. 1-0-1 배치는 채널 간격 2개인 경우 인접 채널 간섭 2회와 동일

채널 간섭이 1호 이루어졌다. 물론 신호 간 간섭이 더 많은 2-0-1 배치의 통신 성능이 더 좋지 않지만 1-0-1 배치와 비교했을 때 그 차이가 그리 크지는 않다. 즉 신호 간 간섭이 여러 차례 이루어지는 경우 성능 감소폭은 크게 작아진다는 점을 알 수 있다.

할당된 대역폭이 5개, 7개 채널인 경우로부터도 인접 채널 간섭의 영향이 동일 채널 간섭보다 훨씬 큼을 알 수 있었다. 또한 할당된 대역폭이 5개, 7 개 채널인 경우의 최고 성능이 각각 5268.7Kbps, 8865.3Kbps인 것으로부터 신호 수가 3개일 경우 모든 신호를 한 채널에 배치하는 것보다 나은 성능을 발휘하기 위해서는 최소한 6개 채널이 확보되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

할당된 대역폭이 9개 채널인 경우로부터 방송통신위원회에서 제공한 1,5,9,13채널을 우선적으로 사용하는 가이드라인을 간접적으로 검증할 수 있다. [6] 방송통신위원회의 가이드라인을 축소해보면 3개 신호가 존재하고 할당된 대역폭이 9개 채널인 경우 1,5,9채널을 우선적으로 사용하는 것이 유리하다는 것으로 해석된다. 하지만 실험 결과 1,5,9채널 배치를 의미하는 1-0-0-0-1-0-0-0-1 배치보다 2-0-0-0-0-0-0-0-1 배치의 성능이 훨씬 뛰어난 것을 알 수 있었다.

Table 4 신호가 3개인 경우 Uplink 성능

할당된 채널 수	채널 별 신호 배치	평균 속도 (단위: Kbps)
1 개 채널	3	14641.0
2 개 채널	2-1	7123.7
3 개 채널	2-0-1	7878.7
	1-1-1	1886.7
5 개 채널	2-0-0-0-1	5019.7
	1-1-0-0-1	12836.0



	1-0-1-0-1	9272.7
7 개 채널	2-0-0-0-0-0-1	11621.0
	1-1-0-0-0-0-1	1827.3
	1-0-1-0-0-0-1	11330.3
	1-0-0-1-0-0-1	7563.3
	2-0-0-0-0-0-0-1	14406.3
9 개 채널	1-1-0-0-0-0-0-1	10406.7
	1-0-1-0-0-0-0-0-1	14641.0
	1-0-0-1-0-0-0-0-1	8457.0
	1-0-0-0-1-0-0-0-1	7878.7

2개의 신호로 실험을 한 경우 Uplink 성능은 경향성이 뚜렷하지 않았다. 그 때문인지 3개 신호로 실험을 한 경우에도 Downlink 성능과 같이 뚜렷한 경향성을 찾을 수 없었다.

3개 신호를 모두 같은 채널에 배치한 경우의 Uplink 성능은 다른 모든 경우보다 좋았다.

전체적인 경향을 살펴보면 하나의 채널에 2개 신호를 배치하고 나머지 하나의 신호와의 채널 간격을 최대한 넓히는 경우와 2개의 신호를 2개의 채널에 나란히 배치하고 나머지 하나의 채널을 최대한 멀리 배치하는 경우가 좋은 성능을 보여줬다.

방송통신위원회에서 권고한 채널 배치와 유사한 1-0-0-0-1-0-0-0-1 배치의 성능은 가장 뛰어나지는 않았다.

신호 수가 3개인 경우의 Downlink 성능과 Uplink 성능을 종합적으로 살펴보았을 때 가장 성능 저하가 적인 채널 배치는 2-0-0-0-0-0-0-1였다. 1-0-0-1-0-0-0-0-1 배치와 하나의 채널에 모든 신호를 배치한 경우도 성능이 우수한 편이었다. 그에 비해 방송통신위원회에서 권고한 채널 배치와 유사한 1-0-0-0-1-0-0-0-1 배치는 성능이 눈에 띄게 좋은 편이 아니었다.

### 3. Wi-Fi 신호수가 4개인 경우의 통신 성능

Table 5 신호가 4개인 경우 Downlink 성능

할당된 채널 수	채널 별 신호 배치	평균 속도 (단위: Kbps)
1 개 채널	4	3012.3
2 개 채널	3-1	38.8
	2-2	16.8
3 개 채널	3-0-1	443.3
	2-1-1	94.1
	1-2-1	40.9
4 개 채널	3-0-0-1	1207.2
	2-1-0-1	31.7
	1-2-0-1	105.5
	1-1-1-1	53.9
5 개 채널	3-0-0-0-1	1247.0
	2-1-0-0-1	55.8
	1-2-0-0-1	60.0
	2-0-1-0-1	188.8

	1-1-1-0-1	50.9
	1-0-2-0-1	386.3
	2-0-0-1-1	254.5
	1-1-0-1-1	41.9
6 개 채널	3-0-0-0-0-1	2681.8
	2-1-0-0-0-1	61.3
	1-2-0-0-0-1	226.3
	2-0-1-0-0-1	270.3
	1-1-1-0-0-1	122.9
	1-0-2-0-0-1	116.0
	2-0-0-1-0-1	2685.0
	1-1-0-1-0-1	514.5
	1-0-2-0-0-1	181.5
	2-0-0-0-1-1	148.8
	1-1-0-0-1-1	57.8

신호가 4개인 경우의 Downlink 성능은 대부분의 경우에서 성능 저하가 매우 컸다.

성능이 가장 우수한 경우는 하나의 채널에 모든 신호를 배치한 경우이다. 그리고 3-0-0-0-0-1 배치, 2-0-0-1-0-1 배치의 성능도 상당히 좋았다.

특이한 점이라면 2-0-0-1-0-1 배치의 성능이 좋다는 점인데 앞에서의 실험에 따르면 인접 채널 간섭으로 인해 성능 저하가 커야 한다. 이 값은 실험 상의 오류로 생각된다.

Table 6 신호가 4개인 경우 Uplink 성능

할당된 채널 수	채널 별 신호 배치	평균 속도 (단위: Kbps)
1 개 채널	4	11446.3
2 개 채널	3-1	3835.3
	2-2	6037.0
3 개 채널	3-0-1	3754.0
	2-1-1	3630.8
	1-2-1	5695.8
4 개 채널	3-0-0-1	4149.8
	2-1-0-1	4777.3
	1-2-0-1	6208.5
	1-1-1-1	1796.3
5 개 채널	3-0-0-0-1	7881.0
	2-1-0-0-1	7222.5
	1-2-0-0-1	5913.5
	2-0-1-0-1	5172.5
	1-1-1-0-1	3002.3
	1-0-2-0-1	5553.75
	2-0-0-1-1	4952.5
	1-1-0-1-1	3303.8
6 개 채널	3-0-0-0-0-1	9060.0
	2-1-0-0-0-1	2879.5
	1-2-0-0-0-1	6863.5

	2-0-1-0-0-1	4096.0
	1-1-1-0-0-1	3334.0
	1-0-2-0-0-1	7426.5
	2-0-0-1-0-1	7265.0
	1-1-0-1-0-1	5165.5
	1-0-2-0-0-1	4990.3
	2-0-0-0-1-1	5000.0
	1-1-0-0-1-1	4216.3

Uplink 성능 역시 하나의 채널에 모든 신호를 배치했을 때의 성능이 가장 우수하다. 그 외에 3-0-0-0-0-1 배치와 3-0-0-0-1 배치의 성능이 우수했다.

신호가 4개 있는 경우, 모든 신호를 하나의 신호에 배치했을 때의 성능이 가장 우수했다. 다만 신호가 4개 있는 경우에는 앞서와는 다르게 특별한 경향성을 찾기가 조금 어려운 면이 있었다.

## V. 실제상황에의 적용

다양한 환경에서 신호 배치에 따른 통신 성능을 측정한 결과 일반적으로 알려져 있는 단순히 신호 간 간격을 최대한 띄우는 채널 배치의 최적화 방법과 방송통신위원회에서 권고한 Wi-Fi 혼선 최소화 가이드라인보다 효과적인 채널 배치를 찾았다.

그에 따라서 현재 시중에서 판매되는 무선 공유기의 최적 채널 검색 알고리즘과 통신사 Wi-Fi의 채널 배치의 개선 방안을 제시했다.

### 1. 최적 채널 검색 알고리즘 개선 방안

MAC	SSID	Name	Chan	Speed
00089FDAA8C0	ch1		1*	54 Mbps
00089FDAB324	ch7		7	54 Mbps
00089FDAB4A4	ch5		5	54 Mbps
002E06002568	ch11		11	54 Mbps
002E06021060	ch9		9	54 Mbps
002E06021088	ch13		13	54 Mbps
0810750D5592	ch3		3	54 Mbps

Figure 9 주변에 구축한 Wi-Fi 신호 환경

먼저 현재 시중에서 판매되는 공유기의 최적 채널 검색 알고리즘을 파악하기 위한 실험을 진행했다. 무선 공유기를 이용해 주변에 다양한 환경을 구축한 후 IpTime과 Zio 공유기에서 최적 채널 검색을 시행했다. 두 제품 모두 현재까지 펌웨어 지원이 이루어지는 제품으로 양사의 최신 최적 채널 검색 알고리즘이 탑재되었다.

Figure 9와 같이 주변에 1,3,5,7,9,11,13채널, 2,4,6,8,10,12채널, 1,5,9,13채널, 2,5,8,11채널 등 다양한 신호 배치 환경을 구축해 놓은 후 공유기의 최적 채널 검색을 시행했다. 그 결과 검색 시마다 다른 결과가 나왔다. 여러 번 시도한 결과 1, 5, 9, 13채널 중 하나를 무작위로 채택하는 것으로 보였다.

동작 설정	<input checked="" type="radio"/> 실행 <input type="radio"/> 중단	
네트워크이름(SSID)	iptime	모드    B,G,N ▾
지역	대한민국 ▾	
채널	자동(9 [ 2.452 GHz,상위 ] ▾)	<input type="button" value="채널 검색"/>
동작 옵션	SSID(네트워크이름)알림 <input checked="" type="radio"/> 사용함 <input type="radio"/> 사용하지 않음 WMM 기능 <input checked="" type="radio"/> 사용함 <input type="radio"/> 사용하지 않음	
인증방법	자동 ▾	
암호화방법	<input checked="" type="radio"/> 사용안함 <input type="radio"/> WEP64 <input type="radio"/> WEP128 <input type="radio"/> TKIP <input type="radio"/> AES <input type="radio"/> TKIP/AES	
<input type="button" value="적용"/>		

Figure 10 IpTime N604V의 자동 채널 선택 알고리즘

직접 정확한 알고리즘을 확인할 수 없어 2개 회사에 문의를 했다. 하지만 양측 모두 정확한 답변을 하지 않고 ‘주위 신호를 검색해 최적의 채널을 찾는다.’ 라는 등의 모호한 답변을 해왔다. 특히 ZIO에서는 자사의 신호 검색 알고리즘에 대해 ‘자동채널설정이 거의 무의미한 경우도 생깁니다.’ 라고 하기도 했다.

이런 점들로 미루어 보아 2개 회사는 방송통신위원회에서 권장하는 1,5,9,13 채널 중 하나를 임의로 선택하는 것으로 보인다.

본 논문에서의 실험 결과로부터 제안하는 최적 채널 검색 알고리즘의 순서도는 다음과 같다.

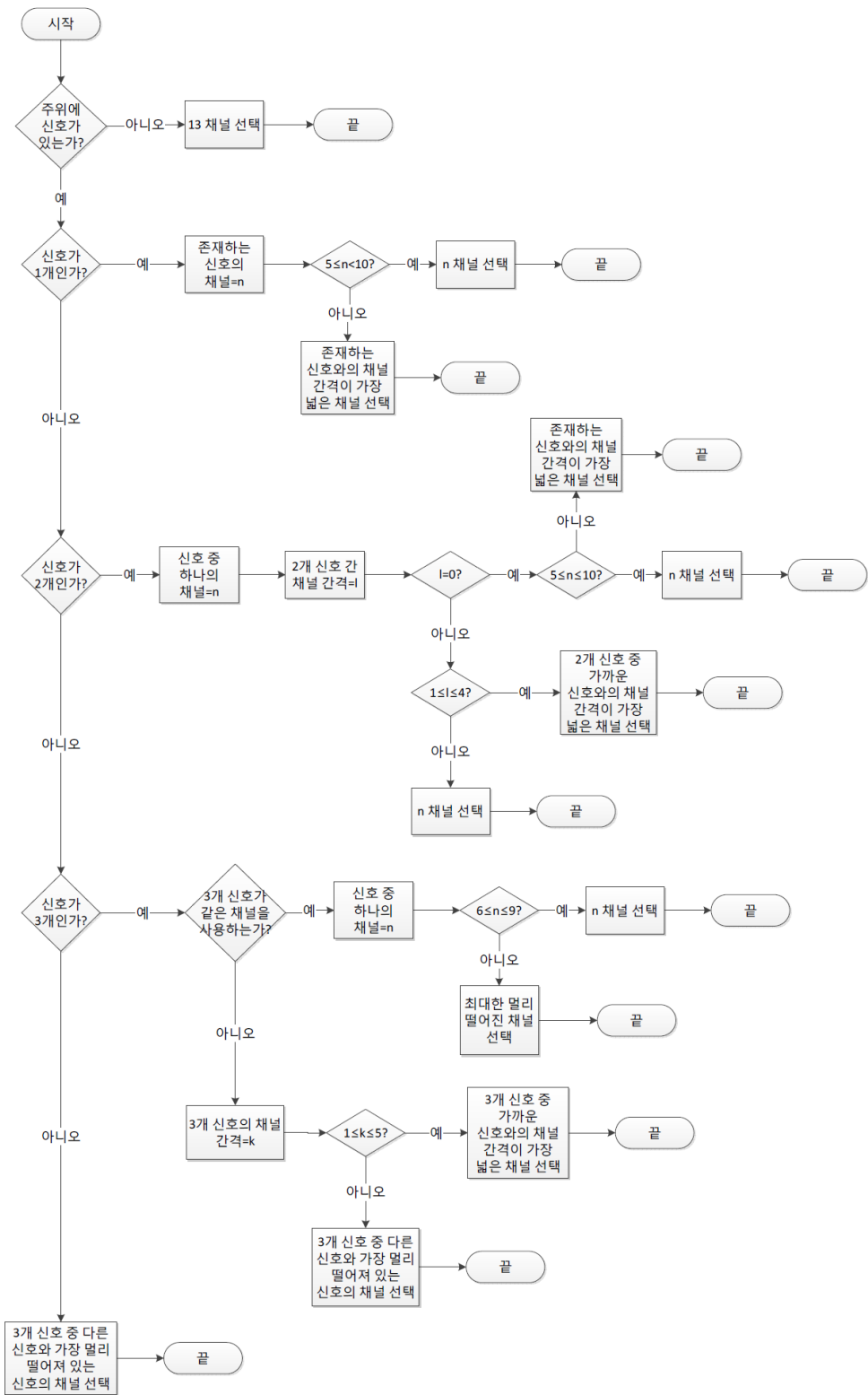


Figure 11 최적 채널 검색 알고리즘



정확한 알고리즘을 설계하기에 충분히 많은 데이터를 측정하지 못했기 때문에 전체적인 흐름을 순서도로 표현했다. 이 알고리즘은 주위에 존재하는 신호들의 수와 배치에 따라 최적의 채널을 결정한다. 다른 신호와의 간격이 1, 2개 채널일 때의 인접 채널 간섭으로 인한 극단적인 성능 저하를 피하고 채널 배치에 따른 인접 채널 간섭과 동일 채널 간섭의 경향성을 고려해 알고리즘을 설계했다. 순서도 원본 파일은 부록에 첨부했다.

충분한 데이터를 측정하지 못했고 존재하는 모든 경우를 정확하게 분류하지 못한 경우는 향후 연구에서 보완할 계획이다.

## 2. 지하철에서 통신사 Wi-Fi의 채널 배치 개선 방안

Table 7 5개 역에서의 통신사 Wi-Fi 평균 성능

올레Wi-Fi		T Wi-Fi	
Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
1.3	0.8	1.3	0.5

지하철에서 KT와 SKT의 Wi-Fi 성능을 측정해 보았다. 통신사가 지하철에 구축한 Wi-Fi는 Wibro 신호를 Wi-Fi 신호로 변하는 EGG 기반이다. 하지만 두 Wi-Fi의 통신 성능 모두 EGG가 일반적으로 구현할 수 있는 통신 성능에 비해 매우 떨어진다. 3.9세대 이동통신인 Wibro 기반의 Strong EGG는 1Mbps 이상의 성능을 구현할 수 있으며 지하철에 구축된 Public EGG의 경우 그 성능은 더욱 떨어날 것이다. 실험 시점에서 전동차 내 사람은 거의 없었기 때문에 다수의 사용자로 인한 성능 저하는 거의 없었다. 이런

상황에서도 통신 성능이 좋지 않은데 출, 퇴근 시간에는 Wi-Fi 통신이 매우 어려울 것이다.

MAC	SSID	Name	Chan	Speed	Vendor	Type
001D930BCE84	T wifi zone		6	48 Mbps	(Fake)	AP
00405AE566C2	U+zone		5	54 Mbps	Goldstar	AP
00300D6364FA	T wifi zone		1	54 Mbps	MMC T...	AP
06300D6364FA	T wifi zone_secure		1	54 Mbps	(User-d...	AP
00405AE56133	FREE_U+zone		9	54 Mbps	Goldstar	AP
00405AE55AF2	U+zone		5	54 Mbps	Goldstar	AP
00300D635BCC	T wifi zone		1	54 Mbps	MMC T...	AP
001D930BCE89			13	48 Mbps	(Fake)	AP
001D930BCE88	T wifi zone		13	48 Mbps	(Fake)	AP
001D930BCE8A	T wifi zone_secure		13	48 Mbps	(Fake)	AP
00405AE56132	U+zone		9	54 Mbps	Goldstar	AP
00405AE54D83	FREE_U+zone		5	54 Mbps	Goldstar	AP
00405AE54D82	U+zone		5	54 Mbps	Goldstar	AP
00300D6361EC	T wifi zone		13	54 Mbps	MMC T...	AP
06300D6361EC	T wifi zone_secure		13	54 Mbps	(User-d...	AP
0007891053B8	ollehWiFi		6	54 Mbps		AP
0207891053B8	ollehWiFi		6	54 Mbps	(User-d...	AP
02078910595D	ollehWiFi		13	54 Mbps	(User-d...	AP
00078910595D	ollehWiFi		13	54 Mbps		AP
001D930BCE96	T wifi zone_secure		6	48 Mbps	(Fake)	AP
001D930BCE95			6	48 Mbps	(Fake)	AP
001D930BCE94	T wifi zone		6	48 Mbps	(Fake)	AP

Figure 12 지하철에서 수신되는 통신사 Wi-Fi 신호 목록

Figure 11은 가산 디지털 단지 역의 플랫폼에서 수신되는 Wi-Fi 신호를 NetWork Stumbler를 통해 확인한 것이다. 무려 22개의 Wi-Fi 신호가 존재하며 모두 통신 3사의 것이다. 5개 역에 거쳐 확인한 결과 전동차에서는 평균 13.6개의 신호가, 플랫폼에서는 평균 18.2개의 신호가 검색되었다. 방송통신위원회의 가이드라인을 준수했다면 상대적으로 성능 저하가 적었겠지만 일부 Wi-Fi 신호가 6채널을 사용해 성능 저하가 심화된 것으로 보인다.

지하철에서는 스마트폰 기반의 Hot Spot이나 EGG, Bridge 등과 같은 개인이 구현할 수 있는 국소 AP를 제외하면 플랫폼에는 통신 3사의 Wi-Fi만 존재하며 전동차에는 KT와 SKT와의 AP만 존재한다.

사용할 수 있는 대역폭이 9개 채널인 경우 신호가 3개인 경우 2-0-0-0-0-0-0-0-1 배치, 1-0-0-1-0-0-0-0-1 배치, 그리고 하나의 채널을 3개 신호가 사용하는 경우의 성능이 우수했다. 또한 신호 간 채널 간격이 6개일 때 성능 회복이 어느 정도 이루어진다는 점과 채널 간격이 1개, 2개인 경우의 인접 채널 간섭을 최소화해야 한다는 점을 고려하면 지하철과 같이 할당 대역폭이 13개 채널인 경우 1,13,13채널, 1,6,13채널 또는 13,13,13채널 배치의 가장 성능이 뛰어날 것으로 예상된다.

만약 상황이 지하철과 같은 경우라면 한 가지 더 고려해야 할 점이 있다. 전동차의 플랫폼 진입 및 진출 시의 안정적인 데이터 통신 유지를 위한 Hand-Off와 각각의 통신사 인증과 같은 기술을 구현하기 위해서는 같은 채널을 유지하고 다른 신호가 해당 채널을 사용하지 않는 것이 유리하기 때문에 1,6,13채널 배치가 가장 효과적일 것이다.

따라서 KT의 모든 Wi-Fi 신호는 1채널, SKT의 모든 Wi-Fi 신호는 13채널을 사용하도록 하고 LG U+의 경우는 6채널을 사용하는 것이 최적의 채널 배치로 보인다.

## VI. 결론

신호가 2개, 3개, 4개인 상황에서 사용할 수 있는 대역폭을 변화시키며 다양한 채널 배치에서의 통신 성능을 측정한 결과 각각의 경우에서의 최적의 채널 배치뿐만 아니라 Wi-Fi 신호 간 간섭의 상관 관계도 파악할 수 있었다.

신호가 2개인 경우의 결과로부터 인접 채널 간섭으로 인한 Downlink 성능 저하가 매우 큼을 직접적으로 확인할 수 있었다. 2개 신호가 같은 채널을 사용하는 경우의 성능이 상당히 우수했으며 간격이 8개 채널인 경우의 성능이 이와 비슷했다. 그리고 점차 회복되는 경향을 보여 신호 간 간격이 12개 채널인 경우 간섭이 없는 경우 성능의 60%까지 회복되었다. Uplink 성능의 경우 Downlink 성능과 같이 확실한 경향성은 찾을 수 없었다. 다만 신호 간 간격이 7개 채널인 경우까지는 성능이 회복되는 경향을 보였다.

신호가 3개, 4개인 경우의 결과는 앞에서 찾은 경향을 뒷받침해주었다. 신호가 3개인 경우의 통신 성능은 2-0-0-0-0-0-0-0-1 배치와 1-0-0-1-0-0-0-0-1 배치, 모든 신호를 하나의 채널에 배치한 경우가 우수했다. 주목할 만한 점이라면 방송통신위원회에서 권고한 채널 배치는 눈에 띄게 좋은 편이 아니었다는 점이다. 성능이 가장 우수했던 2-0-0-0-0-0-0-0-1 배치의 경우에 80%에 불과했다. 신호가 4개인 경우에는 모든 신호를 하나의 신호에 배치한 경우의 성능이 가장 우수했다.

위와 같은 결과를 바탕으로 최적 채널 알고리즘을 제안했다. 기존의 최적 채널 알고리즘은 방송통신위원회에서 권고한 최적 채널 중 임의로 하나의 채널을 선택하는 것으로 보였다. 실제 실험 값을 바탕으로 설계한 알고리즘이기 때문에 기본 알고리즘에 비해 간섭 최소화 능력이 뛰어날 것이다.

또한 지하철에서의 통신사 Wi-Fi의 최적 채널 배치도 제안했다. 지하철 전동차에는 KT와 SKT, 플랫폼에는 KT, SKT, LG U+의 Wi-Fi 신호만이 존재하며 Hand-Off와 사용자 인증 등의 기술을 고려했다. 그 결과 KT의 모든 Wi-Fi 신호는 1채널, SKT의 모든 Wi-Fi

신호는 13채널을 사용하도록 하고 LG U+의 경우는 6채널을 사용하는 것의 최적의 채널 배치이다.

아쉬운 점은 실험 시 Bluetooth와 같이 2.4Ghz 대역의 다른 신호의 존재 여부를 확인하지 못했고 존재하는 모든 경우의 수를 적절히 분류해 각각에 대해 최적 채널 배치를 구하지 못했다는 점이다. 또한 실험 상의 오차로 추정되는 결과값도 존재했다. 추후 연구에서는 이와 같은 문제점들을 보완하고 실제 상황에 직접적으로 적용 될 수 있는 경우에서의 최적의 채널 배치에 대해 심도 있게 연구할 것이다.

## 참고문헌

[1] 엠브레인트렌드모니터, “2011 Wi-Fi(무선랜) 이용 관련 조사 Tracking Survey”, 리서치보고서, Vol. 2011 No.7, 2011.07

[2] 통신 3사의 Wi-Fi Zone 구축 현황

올레 모바일 공식 블로그, <<http://mobileblog.olleh.com/1015>>, (2012.11.15. 확인)

T Wi-Fi고객센터. <<http://www.twifi.co.kr/view/customer/faqview.jsp?no=16>>, (2012.11.15. 확인)

LG U+ zone, <http://zone.uplus.co.kr/>, (2012.11.15. 확인)

[3] 서로 다른 통신 규격 간의 신호 간 간섭에 대한 연구

정연명, 조인경, 이일규, "DTV에 대한 WiFi의 간섭영향 분석", 한국통신학회 논문지, 제36권 제11호(네트워크 및 융합서비스), 1357-1362, 2011.11

우병철, 장진엽, 은성배, 이동민, 신성열, 오세찬, 김준철, "미래 Wi-Fi 및 Bluetooth 환경의 주파수 간섭 영향하에서의 ZigBee의 동작 정도 예상 실험", 한국정보과학회 2006 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, A, 181-183, 2006.06

곽도영, 윤병완, 허시영, 이종식, "WiBro/WiFi 통합형 Femtocell 구현 시 상호 간섭에 관한 연구", 대한전자공학회, 2009년 하계종합학술대회, 48-49, 2009.07

[4] 802.11n 표준 규약, <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11n-2009.pdf>, (2012.11.15. 확인)

[5] 이성훈, “IEEE 802.15.4 와 IEEE 802.11g/n의 중첩 채널에 간 간섭” , 2010.11

[6] 방송통신위원회 Wi-Fi 혼신 최소화 가이드라인, <

<http://www.kcc.go.kr/user.do?mode=view&page=P02020500&dc=K02020500&boardId=1007&boardSeq=30788>>, (2012.11.15. 확인)

## 부록

### 채널 배치에 따라 통신 성능\_Microsoft Office Excel

신호 간 채널 간격	Case 1	Case 2	평균
0	18668.0	19885.0	19276.5
1	488.0	570.0	529.0
2	131.0	1275.0	703.0
3	1909.0	4148.0	3028.5
4	10848.0	12486.0	11667.0
5	7313.0	18596.0	12954.5
6	10846.0	19636.0	15241.0
7	12714.0	17665.0	15189.5
8	18668.0	19885.0	19276.5
9	16324.0	25859.0	21091.5
10	19656.0	22288.0	20972.0
11	25466.0	25505.0	25485.5
12	26633.0	26657.0	26645.0
단일 신호			42485.0

신호 간 채널 간격	Case 1	Case 2	평균
0	16646.0	16784.0	16715.0
1	12326.0	16384.0	14355.0
2	12441.0	16032.0	14236.5
3	13790.0	15188.0	14489.0
4	14090.0	19322.0	16706.0
5	16712.0	19511.0	18111.5
6	18188.0	19515.0	18851.5
7	18567.0	21679.0	20123.0
8	19118.0	20176.0	19647.0
9	19858.0	20095.0	19976.5
10	18402.0	24759.0	21580.5
11	16906.0	22315.0	19610.5
12	16714.0	23623.0	20168.5
단일 신호			37879.0

할당 대역폭	신호 배치	Case 1	Case 2	Case 3	평균
1 개 채널	3	5867.0	6514.0	6665.0	6348.7
2 개 채널	2-1	33.0	46.0	50.0	43.0
3 개 채널	2-0-1	283.0	464.0	623.0	456.7
	1-1-1	16.0	63.0	84.0	54.3
5 개 채널	2-0-0-0-1	3028.0	4408.0	8370.0	5268.7
	1-1-0-0-1	56.0	255.0	277.0	196.0



	1-0-1-0-1	362.0	539.0	721.0	540.7	
	2-0-0-0-0-0-1	8408.0	8513.0	9675.0	8865.3	
7 개 채널	1-1-0-0-0-0-1	81.5	98.0	1584.0	587.8	
	1-0-1-0-0-0-1	1183.0	1202.0	2334.0	1573.0	
	1-0-0-1-0-0-1	6701.0	6736.0	6980.0	6805.7	
	2-0-0-0-0-0-0-0-1	5327.0	9593.0	13710.0	9543.3	
	1-1-0-0-0-0-0-0-1	64.5	77.9	1016.0	386.1	
9 개 채널	1-0-1-0-0-0-0-0-1	5867.0	6514.0	6665.0	6348.7	
	1-0-0-1-0-0-0-0-1	33.0	46.0	50.0	43.0	
	1-0-0-0-1-0-0-0-1	283.0	464.0	623.0	456.7	
할당 대역폭	신호 배치		Case 1	Case 2	평균	
1 개 채널	3	14513.0	14668.0	14742.0	14641.0	
2 개 채널	2-1	4921.0	7102.0	9348.0	7123.7	
3 개 채널	2-0-1	4308.0	9151.0	10177.0	7878.7	
	1-1-1	1342.0	1987.0	2331.0	1886.7	
	2-0-0-0-1	4757.0	4987.0	5315.0	5019.7	
5 개 채널	1-1-0-0-1	9178.0	13182.0	16148.0	12836.0	
	1-0-1-0-1	7743.0	8920.0	11155.0	9272.7	
	2-0-0-0-0-0-1	1968.0	15373.0	17522.0	11621.0	
7 개 채널	1-1-0-0-0-0-1	329.0	2127.0	3026.0	1827.3	
	1-0-1-0-0-0-1	8600.0	12267.0	13124.0	11330.3	
	1-0-0-1-0-0-1	7019.0	7564.0	8107.0	7563.3	
	2-0-0-0-0-0-0-0-1	11702.0	15370.0	16147.0	14406.3	
	1-1-0-0-0-0-0-0-1	8346.0	10977.0	11897.0	10406.7	
9 개 채널	1-0-1-0-0-0-0-0-1	14513.0	14668.0	14742.0	14641.0	
	1-0-0-1-0-0-0-0-1	4921.0	9102.0	11348.0	8457.0	
	1-0-0-0-1-0-0-0-1	4308.0	9151.0	10177.0	7878.7	
할당 대역폭	채널 배치	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	평균
1 개 채널	4	2515.0	2703.0	3396.0	3435.0	3012.3
2 개 채널	3-1	14.8	26.3	39.0	75.2	38.8
	2-2	10.2	14.0	19.8	23.0	16.8
	3-0-1	248.0	370.0	405.0	750.0	443.3
3 개 채널	2-1-1	13.5	77.8	139.0	146.0	94.1
	1-2-1	16.0	23.0	27.6	97.0	40.9
4 개 채널	3-0-0-1	29.7	85.0	395.0	4319.0	1207.2

5 개 채널	2-1-0-1	12.1	14.6	18.0	82.2	31.7
	1-2-0-1	30.0	100.0	130.0	162.0	105.5
	1-1-1-1	4.3	15.2	92.0	104.0	53.9
	3-0-0-0-1	766.0	913.0	1433.0	1876.0	1247.0
	2-1-0-0-1	39.0	39.2	43.1	102.0	55.8
	1-2-0-0-1	27.0	46.3	79.5	87.0	60.0
	2-0-1-0-1	104.0	112.0	192.0	347.0	188.8
	1-1-1-0-1	35.7	49.0	56.0	63.0	50.9
	1-0-2-0-1	247.0	258.0	398.0	642.0	386.3
	2-0-0-1-1	54.0	281.0	295.0	388.0	254.5
	1-1-0-1-1	24.0	34.5	35.0	74.1	41.9
	3-0-0-0-0-1	1274.0	1452.0	1583.0	6418.0	2681.8
	2-1-0-0-0-1	12.5	68.5	75.0	89.0	61.3
	1-2-0-0-0-1	50.3	63.0	101.0	691.0	226.3
	2-0-1-0-0-1	34.0	58.0	108.0	881.0	270.3
6 개 채널	1-1-1-0-0-1	19.5	79.0	143.0	250.0	122.9
	1-0-2-0-0-1	44.0	47.0	91.0	282.0	116.0
	2-0-0-1-0-1	22.0	2180.0	3882.0	4656.0	2685.0
	1-1-0-1-0-1	119.0	206.0	451.0	1282.0	514.5
	1-0-2-0-0-1	11.0	79.0	208.0	428.0	181.5
	2-0-0-0-1-1	101.0	126.0	146.0	222.0	148.8
	1-1-0-0-1-1	27.0	33.0	46.0	125.0	57.8

할당 대역폭	채널 배치	Case 1	Case 2	Case 3	Case 1	평균
1 개 채널	4	10107.0	10364.0	10423.0	14891.0	11446.3
2 개 채널	3-1	713.0	4354.0	4822.0	5452.0	3835.3
	2-2	3565.0	4593.0	6625.0	9365.0	6037.0
3 개 채널	3-0-1	451.0	4784.0	4841.0	4940.0	3754.0
	2-1-1	1697.0	2297.0	5095.0	5434.0	3630.8
	1-2-1	1791.0	2605.0	7602.0	10785.0	5695.8
4 개 채널	3-0-0-1	697.0	3900.0	4213.0	7789.0	4149.8
	2-1-0-1	1414.0	3379.0	6665.0	7651.0	4777.3
	1-2-0-1	1080.0	1641.0	8832.0	13281.0	6208.5
	1-1-1-1	773.0	883.0	2573.0	2956.0	1796.3
	3-0-0-0-1	2821.0	7579.0	9893.0	11231.0	7881.0
5 개 채널	2-1-0-0-1	661.0	6243.0	10848.0	11138.0	7222.5
	1-2-0-0-1	3848.0	4316.0	6453.0	9037.0	5913.5
	2-0-1-0-1	3118.0	5128.0	5428.0	7016.0	5172.5
	1-1-1-0-1	2482.0	2566.0	2903.0	4058.0	3002.3
	1-0-2-0-1	4589.0	4605.0	5341.0	7680.0	5553.8
	2-0-0-1-1	2334.0	4140.0	6563.0	6773.0	4952.5
	1-1-0-1-1	2217.0	2431.0	3785.0	4782.0	3303.8
6 개 채널	3-0-0-0-0-1	3725.0	10009.0	11207.0	11299.0	9060.0
	2-1-0-0-0-1	751.0	2734.0	3847.0	4186.0	2879.5
	1-2-0-0-0-1	2946.0	4445.0	8085.0	11978.0	6863.5
	2-0-1-0-0-1	1203.0	3487.0	5668.0	6026.0	4096.0
	1-1-1-0-0-1	2644.0	3054.0	3813.0	3825.0	3334.0

1-0-2-0-0-1	4182.0	4428.0	9590.0	11506.0	7426.5
2-0-0-1-0-1	2388.0	7090.0	8926.0	10656.0	7265.0
1-1-0-1-0-1	4850.0	4938.0	5311.0	5563.0	5165.5
1-0-2-0-0-1	4233.0	4428.0	5127.0	6173.0	4990.3
2-0-0-0-1-1	3027.0	3745.0	4544.0	8684.0	5000.0
1-1-0-0-1-1	1884.0	2225.0	4430.0	8326.0	4216.3

순서도 원본\_Microsoft Office Visio

