

# WiFi 통신망으로의 LTE 트래픽 분산 알고리즘

2학년 7반 7번 김다윗

지도교사 : 임종범

## 초록

LTE 트래픽이 급증하며 그에 따른 통신 성능 저하가 심화되고 있다. 하지만 LTE 통신에 할당된 대역폭은 한정적이고 단기간 내에 통신망 확충 역시 불가능하다. 이와 같은 상황에서 특정 알고리즘에 따라 통신사에서 구축한 WiFi 통신망으로 LTE 트래픽을 분산시킨다면 성능 저하를 최소화할 수 있다. 이때 각 사용자가 LTE와 WiFi 통신을 선택하는 알고리즘이 최적화 되어있을수록 성능 저하 최소화가 효과적이다. 본 논문에서는 LTE, WiFi 통신망에서 제공 가능한 한계 성능과 접속 사용자들의 요구 성능, 그리고 통신망의 한계 트래픽에 따라 LTE와 WiFi 중 하나의 통신망을 선택하는 알고리즘을 제안했다. 알고리즘의 구체화와 평가를 위해 알고리즘 수식으로 표현했으며 이를 MatLab에서 4변수 그래프로 구현해 성능 저하 정도를 시각적으로 비교했다.

## I. 서론

최근 우리나라의 LTE 통신 서비스의 가입자 수가 2,000만 명을 넘어섰다. 2011년 여름, 통신 3사가 주요 거점에 LTE 통신망을 구축하며 동시에 서비스를 시작한 이후 채 2년이 지나지 않은 시점이다. 통신사들은 가입자 확보를 위해 LTE 서비스 가입 시의 각종 혜택을 제공하는 등 적극적인 마케팅을 펼쳤고 제조사들은 이에 발을 맞추어 주력 제품을 LTE 모델로 출시했다. 우리나라의 스마트폰 사용자 수가 약 3,500만 명이라는 것을 감안한다면 스마트폰 사용자의 절반 이상이 LTE 통신을 사용한다는 것이다.

LTE 통신은 통신 성능이 기존 3세대 WCDMA 통신에 비해 월등히 우수하고 단위 패킷 당 요금도 저렴하기 때문에 한 명의 가입자가 사용하는 트래픽이 증가했다. 때문에 3세대 통신에 비해 가입자 증가에 따른 전체 트래픽 증가는 폭발적일 수밖에 없다. 정부는

CDMA, Analog TV에 주어졌던 유휴 대역폭을 수년 내에 LTE 통신에 할당하는 계획을 발표했고 통신사 역시 커버리지를 확충하고 있지만 폭발적인 트래픽 증가를 감당하기에는 역부족이다.

통신망이 트래픽 증가를 감당하지 못함에 따라 데이터 통신 성능 저하가 심각하다. 특히 LTE 트래픽이 집중되는 일부 지역에서는 WCDMA 통신 성능과 큰 차이가 없을 정도이다.

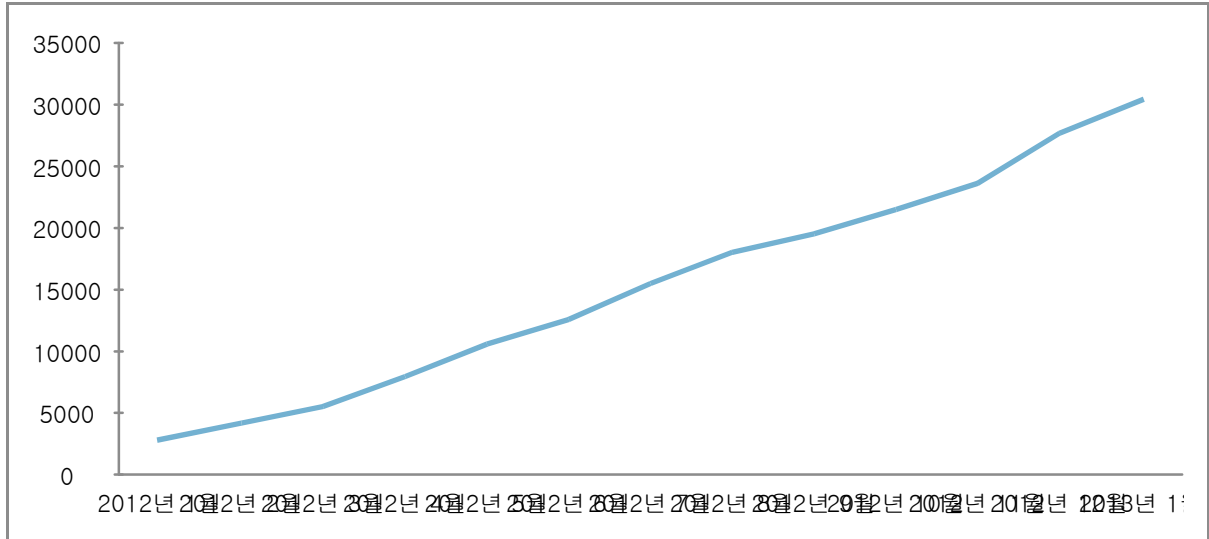
이와 같은 상황에서 통신 3사가 서울 주요 번화가를 비롯해 곳곳에 구축한 WiFi 통신망으로 LTE 트래픽을 분산시킨다면 성능 저하를 최소화할 수 있다. 통신사는 경쟁적으로 주요 거점에 WiFi 통신망을 구축하고 있으며 2012년 11월 현재 국내 통신 3사가 구축한 WiFi Zone의 수는 모두 150만 개 이상으로 추정된다.[1]

LTE 트래픽이 집중되는 주요 거점에는 대부분 WiFi 통신망이 구축되어 있으며 LTE와 WiFi 통신 간 전환도 효율적이다. 또한 대역폭 확대와 대규모의 하드웨어적 투자 없이 소프트웨어적으로 구현할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 LTE, WiFi 통신망에서 제공 가능한 한계 성능과 접속 사용자들의 요구 성능, 그리고 통신망의 한계 트래픽 등 다양한 요소를 고려해 LTE와 WiFi 통신을 선택하는 알고리즘을 제시했다. 또한 이를 구체화해 수식으로 표현했으며 이를 MatLab에서 4변수 그래프로 구현해 알고리즘을 시각적으로 평가했다.

## II. 선행 연구

LTE 서비스 도입에 따른 폭발적인 트래픽 증가에 대한 분석 및 예측은 이미 이루어졌다. 한국통신학회논문지에 발표된 'LTE 서비스 도입에 따른 유도된 수요 발생에 관한 실증 연구'에서는 LTE 트래픽 증가의 특성을 분석하고 이를 바탕으로 앞으로의 트래픽 증가 추세를 예측했다. 이 논문에 따르면 2012년 8월, LTE 사용자의 일인당 월평균 데이터 트래픽이 3세대 통신 사용자에 비해 7.3배가 넘는 특성을 보이며 계속해서 증가하고 있다. 때문에 기존 예측보다 훨씬 높은 증가 추세를 보인다. LTE 트래픽의 급격한 증가는 LTE 통신으로의 가입자 이동이 둔화되는 시점까지 계속될 것으로 예측했다.[2]



α # 1 무선데이터 트래픽 월별 통계

(단위 : TB)

방송통신위원회에서 2013년 3월에 발표한 ‘무선데이터 트래픽 월별 통계’에서는 LTE 트래픽의 급격한 증가를 확인할 수 있다. 2012년 1월에는 2,800TB의 트래픽이 발생했지만 2013년 1월에는 30,000TB 이상의 트래픽이 발생했다. 단 1년 사이에 발생 트래픽이 10배 이상이 증가한 것이다.[3]

이와 같이 LTE 트래픽의 급격한 증가에 따른 성능 저하를 최소화하기 위한 방법으로 LTE 이외의 통신 규격으로의 트래픽 분산 방안은 한 논문에서 제안되었다. 정보과학회논문지에 발표된 ‘사용자 중심 버티컬 핸드오버를 통한 대용량 모바일 트래픽 분산 메커니즘 제안’에서는 차세대 통신 규격인 LTE-Advanced(Long Term Evolution-Advanced)망과 W-LAN망 사이의 핸드오버를 통한 트래픽 분산에 관해 다루었다. LTE 다음 세대 기술인 LTE-A 통신의 트래픽을 W-LAN 통신으로 분산시키는 과정에서의 핸드오버 방안에 대해 제안하며 이에 대한 알고리즘을 제시하고 Network Simulator 3를 이용해 평가했다.[4]

본 논문에서는 핸드오버 Real Time Traffic에 요구되는 핸드오버와 같은 기술적인 요소 보다는 통신망과 사용자의 특성에 따른 효율적인 통신망 선택 알고리즘 제안과 설계 및 평가에 집중했다. 또한 Network Simulator 3에서의 수식적인 평가보다는 알고리즘을 수식으로 표현한 후 이를 Matlab에서 그래프로 구현해 시각적으로 평가했다.

### Ⅲ . 알고리즘 제안

LTE 통신의 트래픽을 WiFi 통신망으로 분산시키는 알고리즘은 통신망과 사용자의 특성을 고려해야 한다. 통신망의 경우 각 통신망이 제공할 수 있는 한계 성능과 한계 트래픽이 존재하고 사용자의 경우 요구하는 통신 성능의 차이가 있다.

LTE 통신망의 트래픽이 초과되면 무조건적으로 초과 트래픽을 WiFi 통신망으로 분산시키는 알고리즘은 여러 문제를 유발한다. 통신사에서 구축한 WiFi 통신망 중 다수는 Wibro 기반으로 기술적 한계가 있어 통신 성능이 LTE에 비해 상당히 떨어진다. Wibro 통신의 기술적 한계가 LTE에 비해 낮으며 Wibro 통신과 WiFi 통신 사이의 변환이 필요하기 때문이다. 또한 WiFi 신호 간 간섭 역시 통신 성능을 저하시킨다. 즉 높은 통신 성능을 요구하는 사용자가 WiFi 통신에 접속하면 심각한 성능 저하가 발생한다.

실제로 사용자가 요구하는 트래픽은 선형적으로 존재하기 때문에 평가가 거의 불가능하다. 따라서 알고리즘의 평가를 위해 각 사용자가 요구하는 통신 성능에 따라 3개의 군으로 분류했다. 1군은 가벼운 웹 서핑 및 음원 스트리밍 위주의 사용자, 2군은 이미지가 존재하는 페이지 등 무거운 웹 서핑과 SD 급 동영상 스트리밍 위주의 사용자, 3군은 파일의 업로드 또는 다운로드와 HD 급 동영상 스트리밍 위주의 사용자로 가정했다. 실제 상황에 적용할 알고리즘은 사용자 군의 숫자가 많을수록 효율성이 높을 것이다. 논 본문에서는 구체적인 수식으로의 표현과 시각적인 평가를 위해 군의 수를 3개로 제한했다.

알고리즘 설계 및 평가의 편의를 위해 양방향 통신은 고려하지 않았다. LTE, WiFi 통신망의 동시 접속사 수는 제한을 두지 않았다. 기술적인 한계는 있지만 LTE 통신망의 경우 주변 기지국에 접속할 수 있기 때문에 사실상 한계가 존재하지 않으며 WiFi 통신망 역시 동시 접속기기의 한계가 수백 대로 발전했기 때문이다.

$$\sum \frac{\text{뿃} \Gamma \text{꺾} \text{ - 뿃} 6 \text{꺾} \text{ '}}{\text{뿃} \Gamma \text{꺾} \text{ '}}$$

꺾뿃 1 꺾○ 꺾뿃

알고리즘의 평가는 각 군의 속하는 사용자 수가 같은 상황에서의 성능 저하 정도를 비교하는 방식으로 이루어졌다. 성능 저하 정도를 나타낼 평가 지표는 각 사용자의 요구 성능과 제공 성능 차의 비로 결정했다. 즉 사용자가 제공받는 통신 성능이 요구하는 통신

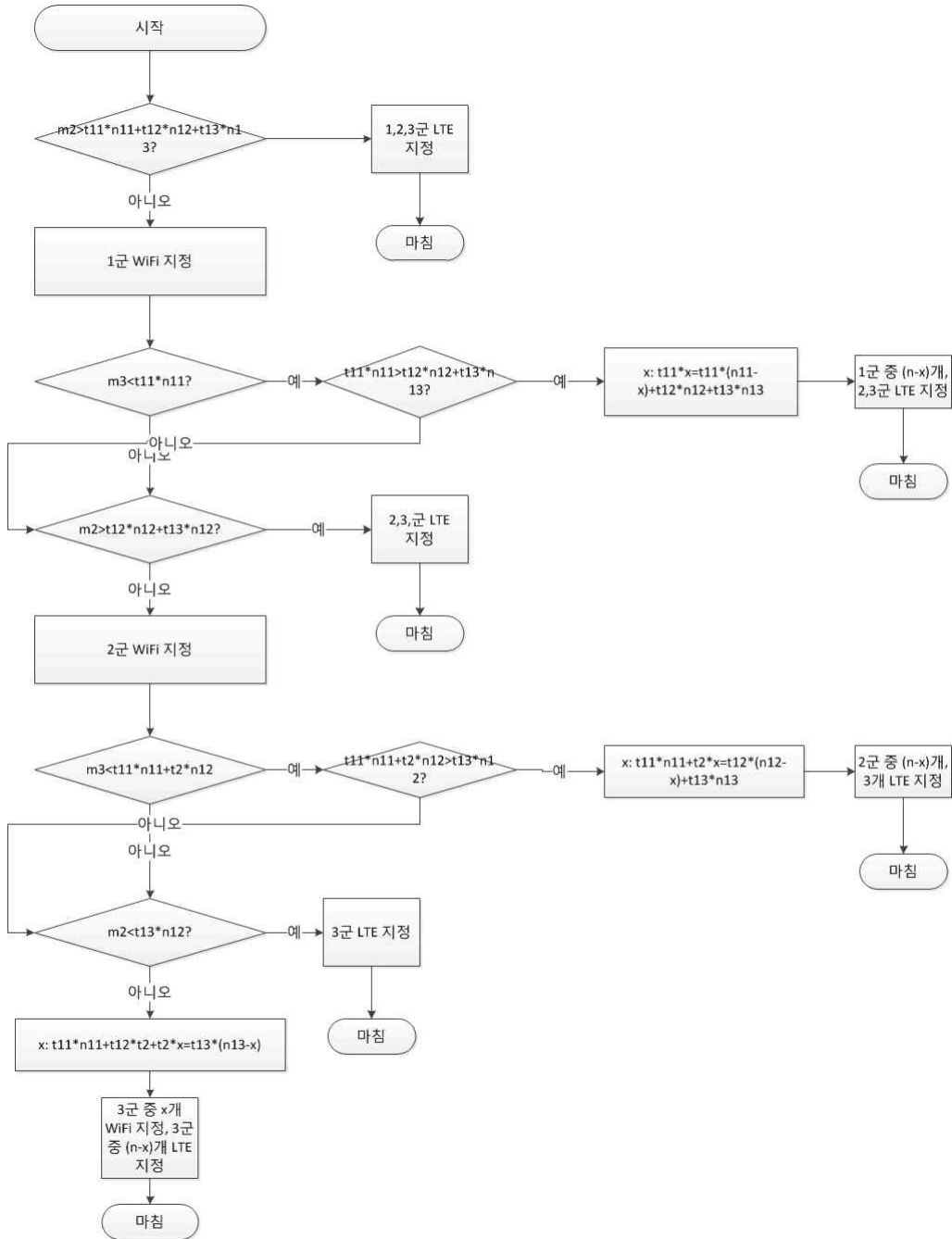
성능보다 높으면 가점이 없지만 반대의 경우 요구 성능과 제공 성능의 차를 요구 성능으로 나누었다. 그리고 모든 사용자에게 대한 값을 더해 알고리즘을 평가했다. 즉 평가 지표의 값이 클수록 성능 저하가 심하다. 수식 1은 평가 지표를 간단히 한 것이다.

각 사용자에게 제공되는 통신 성능은 통신망의 한계 성능과 트래픽에 따라 결정되도록 설계했다. 통신망의 한계 트래픽이 초과되지 않는 경우 통신망은 한계 성능을 제공할 수 있지만 한계 트래픽이 초과되면 접속 사용자의 요구 성능을 같은 비로 삭감한다.

본 논문에서는 각 통신망과 사용자의 특성을 고려해 설계한 ‘통신망, 사용자 특성 고려 알고리즘’, LTE 통신망의 초과 트래픽을 무작위로 WiFi 통신망으로 분배하는 ‘무작위 분배 알고리즘’, 그리고 LTE 통신망만을 사용하는 ‘LTE 통신망 사용 알고리즘’, 이상 3가지 알고리즘을 비교, 분석했다.

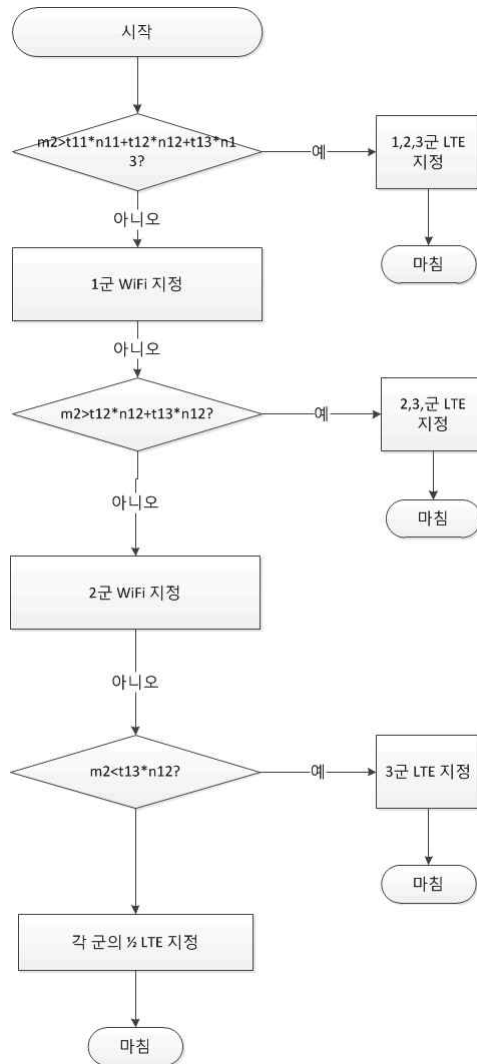
통신망, 사용자 특성 고려 알고리즘과 무작위 분배 알고리즘은 Microsoft 사의 Visio를 이용해 아래와 같은 순서도로 표현했다.

## 1. 통신망, 사용자 특성 고려 알고리즘



α # 2 뵈넛 ㅋ, 꺽뵈뵈 샅꺽 !° 뵈! ㅋ랏뵈 꺽꺽o

## 2. 무작위 분배 알고리즘



α 이 3 계뻐뎁 뉘 뉘 뉘 ! 이랴뎁 꽃꽃 o

각 알고리즘에의 마침 단계에서 평가 지표를 산출하도록 했다.

#### IV. 알고리즘의 수식 표현

수식으로의 표현과 평가를 위해 각 통신망과 사용자의 특성은 다음과 같이 설정했다. 아래 값은 예측 값이며 실제 알고리즘의 평가 시에는 통신사에서 데이터를 수집해 좀 더 정확한 수치를 대입할 수 있다.

항목	미지수	값 (단위 : Mbps)
----	-----	---------------

LTE 한계 성능	t2	30
LTE 한계 트래픽	m2	15000
WiFi 한계 성능	t3	3
WiFi 한계 트래픽	m3	15000
1군 요구 성능	t11	1
2군 요구 성능	t12	5
3군 요구 성능	t13	20

첫 1 뽕넷 4 = 것뽕뽕뽕 뽕뽕

그리고 1, 2, 3군에 속하는 사용자 수는 각각 n11, n12, n13으로 두고 변수로 설정했다. 즉 각 군의 사용자 수의 변화에 따른 통신 성능 저하 정도를 비교하려는 것이다. 평가 지표는 k로 두었다.

### 1. 통신망, 사용자 특성 고려 알고리즘

1)  $m2 > t11 \times n11 + t12 \times n12 + t13 \times n13 : k = 0$

2) 그렇지 않다면

1))  $m3 < t11 \times n11$  이고  $t11 \times n11 > t12 \times n12 + t13 \times n13 :$

$$\left( t11 \times \frac{t11 \times n11 + t12 \times n12 + t13 \times n13}{2 \times t11} - m3 \right) @ + \left\{ t11 \times \left( n11 - \frac{t11 \times n11 + t12 \times n12 + t13 \times n13}{2 \times t11} \right) + t12 \times n12 + t13 \times n13 - m2 \right\} @ = k$$

2)) 그렇지 않다면

1)))  $m2 < t12 \times n12 + t13 \times n13 : k = 0$

2))) 그렇지 않다면

1))))  $m3 < t11 \times n11 + t2 \times t12$  이고

$t11 \times n11 + t12 \times n12 + t13 > n13 :$

$$\left( t11 \times n11 + t2 \times \frac{-t11 \times n11 + t12 \times n12 + t13 \times n13}{t12 + t2} - m3 \right) @ + \{ (t12 - t2) \times n12 \} + \left\{ t12 \times \left( n12 - \frac{-t11 \times n11 + t12 \times n12 + t13 \times n13}{t12 + t2} \right) + t13 \times n13 - m2 \right\} @ = k$$

2)))) 그렇지 않다면

1))))  $m2 < t13 \times n13 : k = 0$

2)))) 그렇지 않다면



$$\left( t_{11} \times n_{11} + t_{12} \times n_{12} + \frac{-t_{11} \times n_{11} - t_{12} \times n_{12} + t_{13} \times n_{13}}{t_{13} + t_2} - m_3 \right) @ + \{ (t_{12} - t_2) \times n_{12} + (t_{13} - t_2) \times n_{13} \} \\ + \left\{ t_{13} \times \left( n_{13} - \frac{-t_{11} \times n_{11} - t_{12} \times n_{12} + t_{13} \times n_{13}}{t_{13} + t_2} \right) - m_2 \right\} @ = k$$

## 2. 무작위 분배 알고리즘

1)  $m_2 > t_{11} \times n_{11} + t_{12} \times n_{12} + t_{13} \times n_{13} : k=0$

2) 그렇지 않다면

1))  $m_2 > t_{12} \times n_{12} + t_{13} \times n_{13} : t_{11} \times n_{11} - m_3 = k$

2)) 그렇지 않다면

1)))  $m_2 > t_{13} \times n_{13} : (t_{11} \times n_{11} + t_2 \times n_{12} - m_3) + (t_{12} - t_2) \times n_{12} = k$

2))) 그렇지 않다면  $t_{11} \times n_{11} + t_{12} \times n_{12} + t_{13} \times n_{13} - m_2 - m_3 = k$

## 3. LTE 통신망 사용 알고리즘

$$k = t_{11} \times n_{11} + t_{12} \times n_{12} + t_{13} \times n_{13} - m_2$$

@ : ( ) 안 값이 양인 경우는 더하고 음인 경우에는 더하지 않는다.

## V. 알고리즘의 평가

알고리즘을 수식으로 표현했을 때의 변수가 서로 독립적인 3개이기 때문에 평가 지표를 고려하면 4변수 방정식이 된다. 그렇기 때문에 2차원, 3차원 그래프로는 표현이 불가능하다. 따라서 MatLab의 색 지정 기능을 이용해 각 군에 속하는 사용자 수를 공간좌표의 축으로 설정하고 평가 지표는 색온도 개념으로 표현했다.





```

(-t11*n11+t12*n12+t13*n13)/(t12+t2) - m3;
                                y2                                =                                t12
*(n12-(-t11*n11+t12*n12+t13*n13)/(t12+t2))+t13*n13-m2;
                                k(i,j,m) = y1 * (y1 > 0) +(t12-t2)*n12 + y2 * (y2 >
0);
                                else
                                    if m2 < t13*n13
                                        k(i,j,m) = 0;
                                    else
                                        y1                                =
t11*n11+t12*n12+(-t11*n11-t12*n12+t13*n13)/(t13+t2)-m3;
                                        y2                                =                                t13*(n13 -
(-t11*n11-t12*n12+t13*n13)/(t13+t2))-m2;
                                        k(i,j,m) = y1 * (y1 > 0) +(t12-t2)*n12 +
(t13-t2)*n13 + y2 * (y2 > 0);
                                    end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

## 2) 무작위 분배 알고리즘

```

k = zeros(length(x), length(y), length(z));

```

```

for i = 1 : length(x)
    n11 = x(i);
    for j = 1 : length(y)
        n12 = y(j);

```

```

for m = 1 : length(z)
    n13 = z(m);

    if m2 > t11 * n11 + t12 * n12 + t13 * n13 - m2
        k(i,j,m) = 0;
    else
        if m2 > t12*n12+t13*n13
            k(i,j,m) = t11*n11-m3;
        else
            if m2 > t13*n13
                k(i,j,m) = (t11*n11+t2*n12-m3)+(t12-t2)*n12;
            else
                k(i,j,m) = t11*n11+t12*n12+t13*n13-m2-m3;
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
end
end
end

```

### 3)LTE 통신망 사용 알고리즘

```

fv = isocaps(x,y,z,k,200,'below');
p = patch(fv, 'FaceColor','interp','EdgeColor','none');
colormap('jet');
colorbar;
daspect([1 1 1])
view(3);
axis tight

k = t11.*n11+t12*n12+t13*n13;

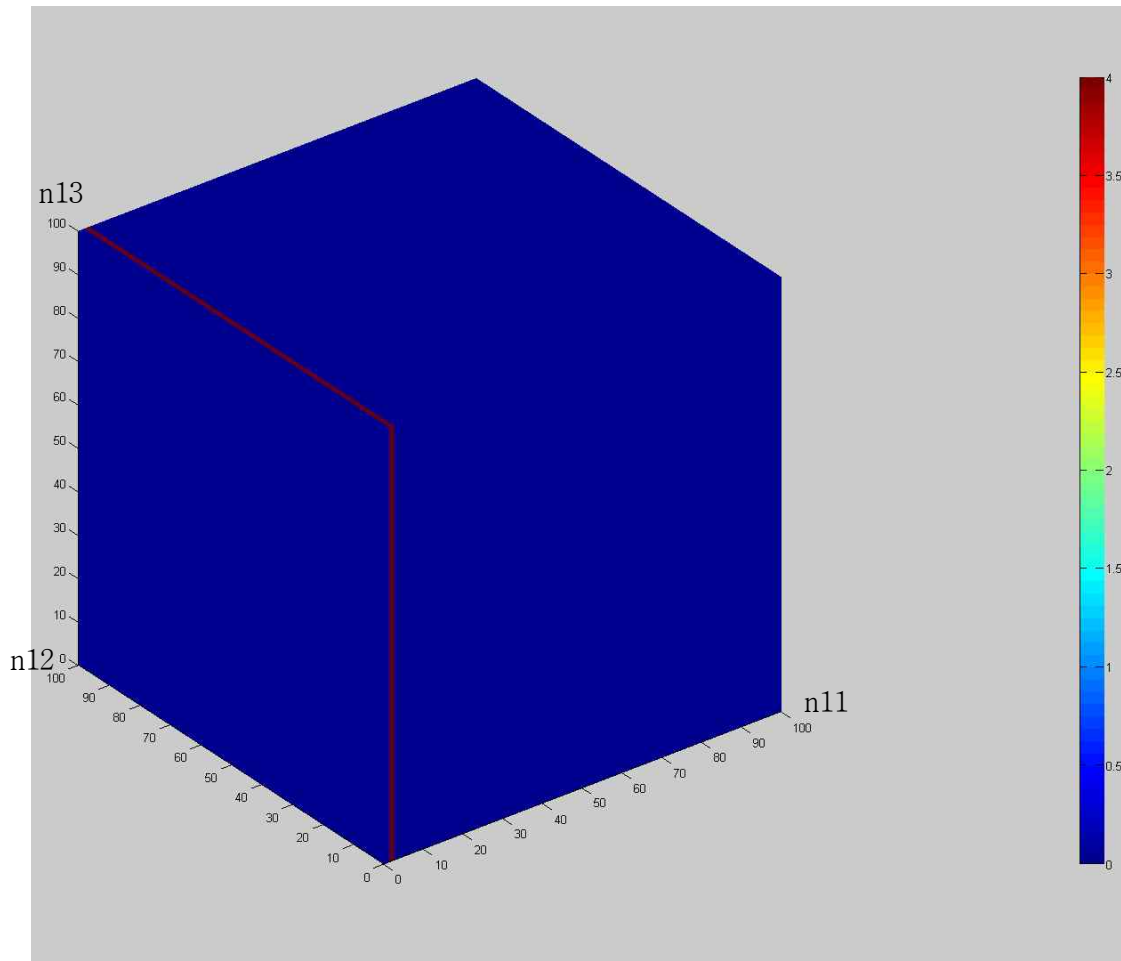
```

### 3. 공간좌표 구현 및 채색

```
fv = isocaps(x,y,z,k,10000,'below');  
p = patch(fv, 'FaceColor','interp','EdgeColor','none');  
colormap('jet');  
colorbar;  
daspect([1 1 1])  
view(3);  
axis tight
```

## VI. 결과 및 고찰

### 1. 통신망, 사용자 특성 고려 알고리즘



$\alpha$  # 5 뽀넛 ㄱ, 꺾뚱뚱 섯괘 !° 똥! 케랴 섯○

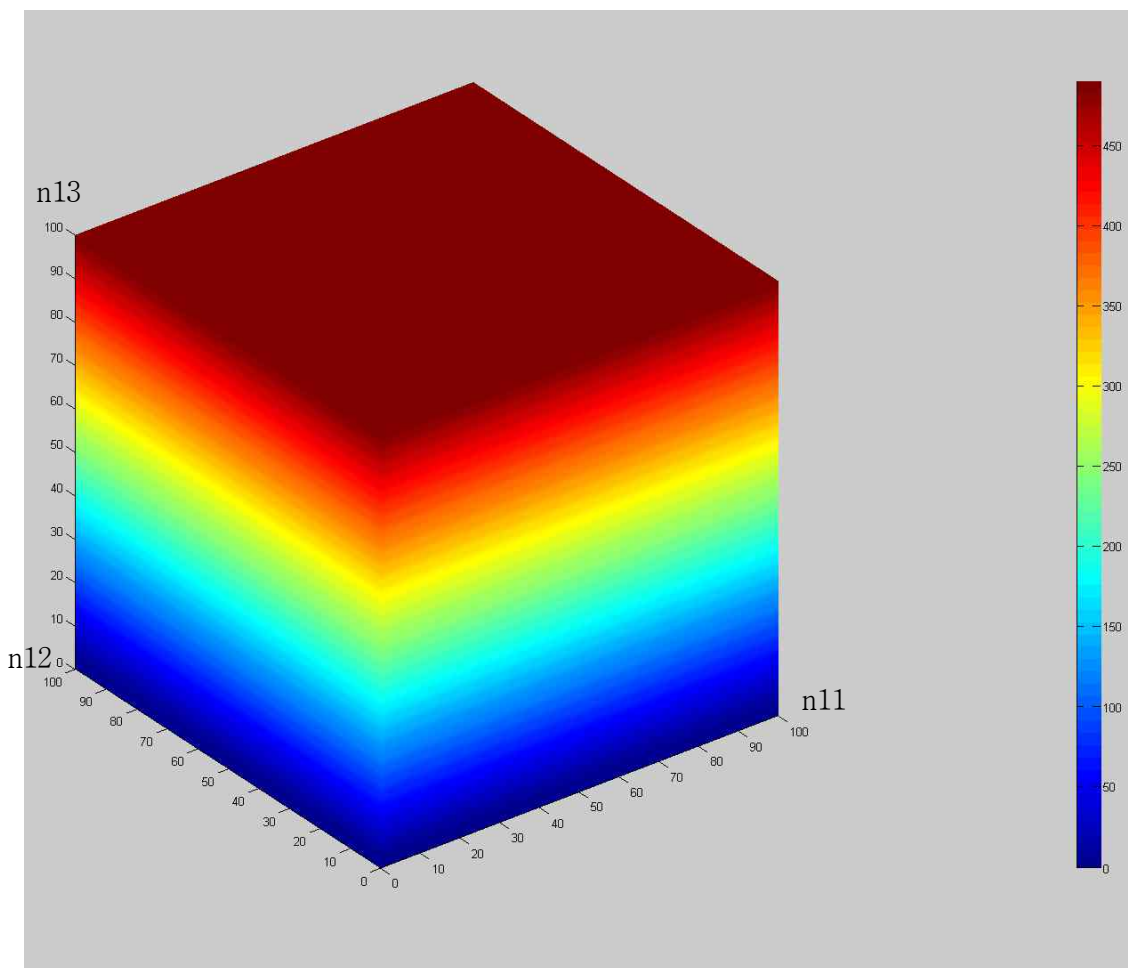
극히 좁은 구간을 제외하고는 성능 저하가 없다. 성능 저하가 있는 구간 역시 평가 지표가 4로 매우 낮은 편이다. 선으로 나타난 성능 저하 구간은 n13 값에 무관하게 나타난

다. 이는 MatLab에서의 구현 과정에서 문제가 있었던 것으로 보인다.

WiFi 통신망으로의 LTE 트래픽 분산이 매우 효과적으로 이루어졌다. WiFi 통신망의 제공 성능 한계를 고려해 요구 성능이 낮은 사용자를 우선적으로 WiFi 통신에 접속하도록 지정했기 때문에 성능 저하가 최소화되었다.

LTE 트래픽을 WiFi로 분산시키는 알고리즘은 통신망과 사용자의 특성을 고려해야 함을 보여준다.

## 2. 무작위 분배 알고리즘



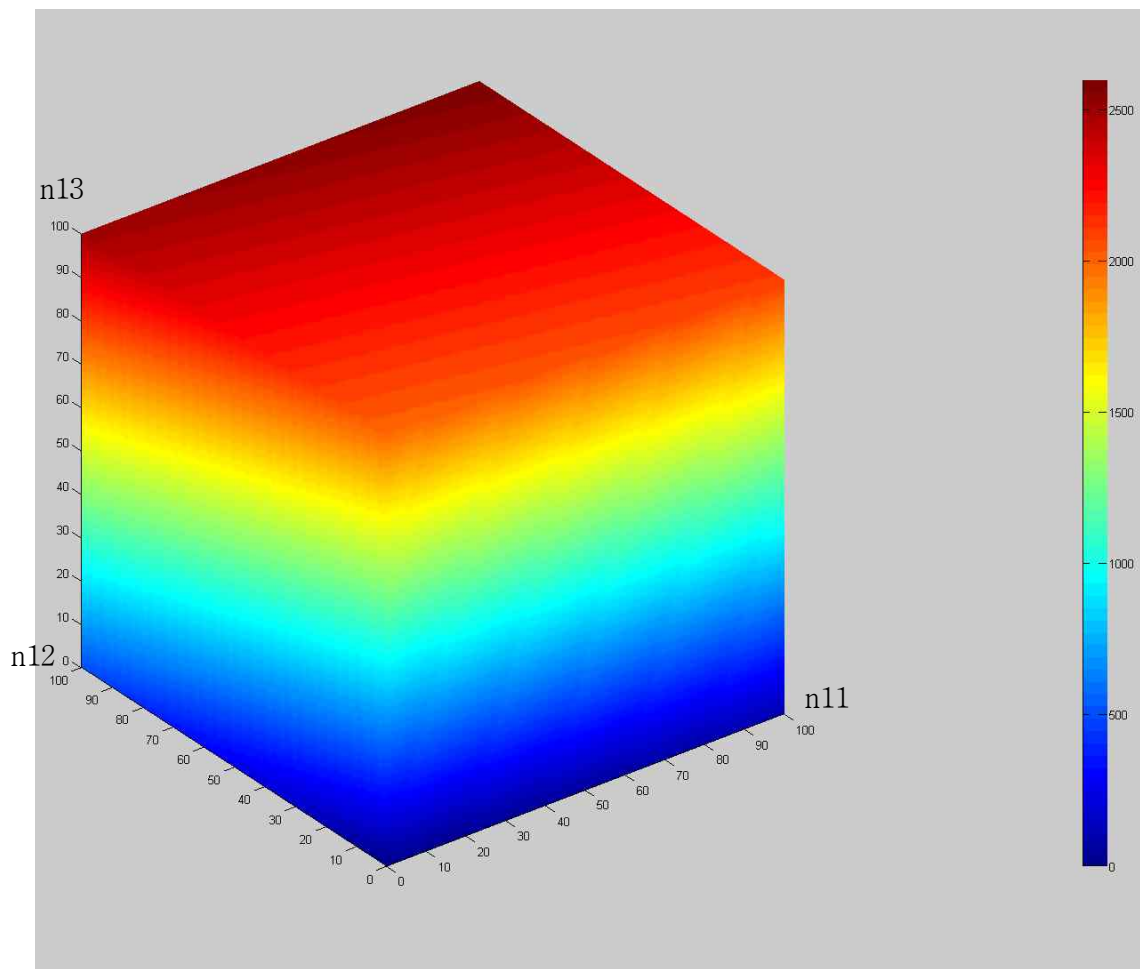
$\alpha$  # 6 개뻗뻗  $\approx$  450 ! 개랏 쉼○

무작위 분배 알고리즘에서는 통신망, 사용자 특성 고려 알고리즘과 비교해 상대적으로 더 많은 구간에서 성능 저하가 나타났다. 하지만 WiFi 통신망으로의 분산이 이루어진 만큼 평가 지표 값이 500을 넘지 않아 성능 저하가 어느 정도 최소화되었음을 알 수 있다.

WiFi 통신망이 제공할 수 있는 한계 성능보다 요구 성능이 낮은 1군, 2군의 영향은 거의 받지 않는다. 그리고 WiFi 통신망에 접속했을 때 성능 저하가 큰 3군의 사용자 수의 영향을 많이 받음을 볼 수 있다.

이는 WiFi 통신망으로 LTE 트래픽을 분산시켰을 때의 성능 저하 감소 효과가 있음을 보여준다.

### 3. LTE 통신망 사용 알고리즘



α # 7 LTE 뽏뽏 3 것뽏 뽏! #랏 섯○

LTE 통신망 사용 알고리즘에서는 평가 지표 값이 2500이 넘는 경우가 있으며 이는 전체적인 성능 저하가 매우 심각하다는 것을 보여준다. 그림 7에서 확인할 수 있듯이 LTE 통신망의 트래픽 한계가 초과된 상태에서 추가 사용자가 발생하면 이 사용자의 요구 성능 전체가 성능 저하로 반영되기 때문에 통신 성능 저하가 극단적으로 크다는 것을 보여준다.



다.

## VII. 결론

본 논문에서는 각 통신망과 사용자의 특성을 고려한 알고리즘, LTE 통신망의 초과 트래픽을 무작위로 WiFi 통신망으로 분산시키는 알고리즘, LTE 통신망만을 사용하는 알고리즘을 비교했다. 각 알고리즘을 순서대로 작성한 후, 이로부터 평가 지표를 산출하는 과정을 수식으로 표현한 후 이를 MatLab에서 4변수 그래프로 구현해 시각적으로 비교했다.

4변수 그래프의 구현은 다른 방법들보다 3개의 독립 변수들의 변화에 따른 성능 저하 정도의 변화 비교에 효과적이다. 본 논문에서 변수로 설정했고 실제 상황에서 트래픽 발생에 영향을 미치는 각 군의 사용자 수가 모두 독립적이기 때문에 일반적인 3차원 그래프로는 2개의 군에 속하는 사용자의 수의 변화에 따른 평가 지표의 변화밖에 관찰할 수 없다. 3개의 군에 속하는 사용자의 수를 변수로 지정한다면 그래프와 같이 시각적인 방법으로는 비교할 수가 없다. 본 논문에서는 평가 지표에 하나의 좌표축을 할당하지 않고 이를 색온도 개념으로 설정함으로써 3차원 공간에서 4변수 그래프를 구현했다.

3개의 알고리즘을 비교해 WiFi 통신망으로의 LTE 트래픽 분산 알고리즘의 효율 향상을 위해서는 통신망과 사용자의 특성을 고려해야 함을 보였다. 무작위로 트래픽을 분산시키는 알고리즘은 요구 성능이 높은 사용자가 WiFi 통신망에 접속했을 때의 성능 저하가 컸다. 또한 WiFi 통신망으로의 트래픽 분산을 통한 통신 성능 개선이 효과가 매우 크다는 것을 보였다. 통신망의 한계 트래픽 이후에 추가되는 트래픽은 고스란히 성능 저하를 유발하기 때문에 전체 통신망의 한계 트래픽이 조금만 늘어나도 성능 저하의 최소화가 가능하다.

실제 상황에서 이를 적용하기 위해서는 사용자의 동의가 필요하다. WiFi 통신망은 LTE 통신망에 비해 통신 성능과 안정성이 떨어지기 때문에 이 알고리즘의 적용을 받는 것을 동의한 사용자는 기본요금 할인 등의 혜택이 주어져야 할 것이다. 통신사는 급격한 트래픽 증가로 인한 성능 저하를 최소 비용으로 완화할 수 있고 사용자는 일반적인 사용 시의 큰 불편함 없이 혜택을 제공받을 수 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 한계는 m-VoIP 등 Real Time Traffic을 요구하는 작업은 WiFi 통신망을 사용할 수 없는 점을 고려하지 않았다는 것과 알고리즘 평가 후 좀 더 많은 사용자 군 수를 지정한 알고리즘을 제안하지 않았다는 것이다. 사용자 군 수가 많을 수록 알고리즘의 효율이 높아진다. 또한 알고리즘 평가를 위해 한계 트래픽과 제공 성능, 요구 트래픽 등 통신망, 사용자의 특성을 임의로 설정했다는 점도 아쉽다. 통신사는 좀 더 정확한 데이터를 확보할 수 있을 것이다. 기회가 된다면 이를 보완하려고 한다.

## 참고문헌

[1] 통신 3사의 WiFi Zone 구축 현황

올레 모바일 공식 블로그, <<http://smartblog.olleh.com/1015>>, (2013.05.25. 확인)

T WiFi고객센터, <<http://www.twifi.co.kr/view/customer/faqview.jsp?no=16>>, (2013.05.25. 확인)

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

[2] 이상우, 최선미, 박준선, 박명철, “LTE 서비스 도입에 따른 유도된 수요 발생에 관한 실증 연구”, 한국통신학회논문지, 37(8), Page 741-749, 2012.08

[3] 방송통신위원회, “무선데이터 트래픽 월별 통계”, 2013.05, Page 1

[4] 민순호, 서창호, “사용자 중심 버티컬 핸드오버를 통한 대용량 모바일 트래픽 분산 메커니즘 제안”, 정보과학회논문지, 정보통신 39(2), Page 144-152, 2012.04