

강섬유 보강 콘크리트의 전자파 차폐효과

이규필^{1*} · 장수호² · 최순욱³ · 배규진⁴ · 박영택⁵

¹정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 수석연구원

²정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 연구위원

³정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 선임연구원

⁴정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 선임연구위원

⁵정회원, SK건설 TBM TF 과장

Electromagnetic wave shielding effectiveness of steel fiber reinforced concrete

Gyu-Phil Lee^{1*}, Soo-Ho Chang², Soon-wook Choi³, Gyu-Jin Bae⁴, Young-Taek Park⁵

¹Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher

²Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Research Fellow

³Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Researcher

⁴Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Research Fellow

⁵TBM TF, SK Engineering & Construction, Manager

ABSTRACT: As TBM construction method is widely applied to construct underground transmission lines, increasing attention has been drawn to SFRC(steel fiber reinforced concrete) segment with respect to structural characteristics. Health hazards of electromagnetic wave which the underground transmission lines emit has emerged, and there is a concern that electromagnetic wave can be amplified because a segment characteristic such as electrical conductivity is changed by steel fibers. In order to analyze correlation between steel fiber dosage and electromagnetic wave, the specimens were fabricated on three conditions to perform experimental tests. From the measured data, it is proven that there is no correlation between the electromagnetic wave and steel fiber reinforced concrete.

Keywords: Shield tunnel, Segment, Underground transmission line, Steel fiber reinforced concrete, Electromagnetic wave

초 록: 전력구 방식의 지중 송전선로 시공시 TBM 공법이 널리 적용되고 있으며, 세그먼트의 구조적 특징에 따라 강섬유 보강 콘크리트를 이용한 세그먼트의 개발과 사용이 크게 증가하는 추세이다. 그러나 최근 지중 송전선로 구간에서의 전자파 유해성에 대한 문제가 대두되고 있으며, 세그먼트 제작시 투입되는 강섬유의 영향으로 콘크리트의 전기전도성 등이 변화되고, 이로 인하여 더 많은 전자파가 지상에서 계측될 수 있다는 우려가 야기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 강섬유 보강 유무 및 사용량 변화조건에 따른 전자파의 차폐효과를 분석하기 위하여, 3가지 조건에 대한 실험체를 제작하여 관련 실험을 수행하였으며, 실험결과 강섬유 보강콘크리트와 전자파 발생 상관관계는 없는 것으로 나타났다.

주요어: 쉴드터널, 세그먼트, 지하송전선로, 강섬유 보강 콘크리트, 전자파

1. 서 론

전자파(電磁波)란 전기장과 자기장으로 구성된 파동으로서, 공간상에서 전기장이 시간적으로 변화하게 되면 그 주위에 자기장이 발생하고, 또한 자기장이

시간적으로 변화하면 그 주위에 전기장이 발생하게 되어 공간상을 빛의 속도로 전파(傳播)하는 파동이다.

이러한 전자파는 1991년 5월 일본 시가현 시가라키 고원 철도에서 전자파 간섭에 의해 발생한 열차충돌 사건 등 많은 사고의 원인으로 지목 받는 등 전자파 상호간 간섭으로 인한 기기 오작동을 야기시킬 수 있을 뿐만 아니라, 전자파 노출에 의한 인체 내 유해성 문제 및 무선 도청 등에 의한 정보 보안문제 등의

*Corresponding author: Gyu-Phil Lee
E-mail: freely@kict.re.kr

Received January 9, 2015; Revised February 13, 2015;
Accepted February 17, 2015

우려가 있다(Kim and Lee, 2008).

인체 내 유해성 여부에 대한 논의는 진행중에 있으며, 최근 서울 시내 지중 송전선로 구간의 전자파 세기가 지상구간보다 높게 나타나는 등 지중 송전선로 구간에서의 전자파 유해성에 대한 문제가 대두되고 있다.

국내 지중 송전선로는 2013년 12월 현재 약 1,803 km의 지중 송전선로가 전국적으로 운영중에 있다. 2005년 이후로 지중 송전선로는 매년 평균 약 60 km씩 증가하고 있으며, 최근 3년간 연평균 약 86.6 km씩 증가하는 것으로 조사되는 등 지중 송전선로의 수요가 향후 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(Statics of Electric Power in KOREA, 2014).

전력구 방식의 지중 송전선로 시공시 TBM 공법이 널리 적용되고 있으며, 지중에 건설되는 원형구조물의 특성으로 활하중 보다는 고정하중이 지배적이며, 주변 지반강도의 상태에 따라 크게 달라지지만 견고한 지반 중에 놓이는 경우에는 휨 보다는 축력이 지배적이다. 이와 같은 세그먼트의 구조적 특징에 따라 SFRC (Steel Fiber Reinforced Concrete) 세그먼트의 개발과 사용이 크게 증가하는 추세에 있다(Chiaia et al., 2009; Dobashi et al., 2006; Fuente et al., 2012; Rivaz, 2008).

또한 TBM 공법의 경제성 제고는 물론 지중 송전선로 구조물의 시공성 및 내구성을 향상시키기 위하여, Model Code 2010에 제시된 실험방법에 근거한 설계 강도 60 MPa의 강섬유보강 콘크리트의 휨강도와 잔존강도, 휨인성 평가(Moon et al., 2013), 강섬유 보강은 콘크리트의 연성 증가효과로 인한 균열제어 및 철근의 대체할 수 있는 보강재로 활용을 위한 검토(Lee et al., 2013), 이형철근이 보강되지 않은 SFRC 보의 휨파괴 실험을 통하여 SFRC 배합의 평가(Moon et al., 2014) 등 세그먼트 제작시 강섬유 활용과 관련한 많은 연구가 수행되었다.

그러나 세그먼트 제작시 투입되는 강섬유의 영향으로 콘크리트의 전기전도성 등이 변화되고, 이로 인하

여 더 많은 전자파가 지상에서 계측될 수 있다는 문제점이 야기되고 있는 실정이다.

강섬유가 혼입된 소형 모르타르 공시체에 대한 전자파 차폐효과에 대한 검토결과, 강섬유 사용에 따른 전자파 차폐효과는 없는 것으로 알려져 있으나(Kim et al., 2014), 소형 모르타르 공시체에 대한 실험결과로 지중화 송전선로와 같이 철근배근을 포함한 실규모 조건에 대한 실험적 검증은 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 강섬유 보강 유무 및 사용량 변화조건에 따른 전자파의 차폐효과를 분석하기 위하여, 송전선로 지중화 ○○현장에서 시공중인 세그먼트와 동일한 철근 배근조건에 대하여 강섬유 보강이 없는 경우, 강섬유 보강 실험체의 경우 사용량 20 kg/m³, 40 kg/m³ 등 총 3가지 조건에 대한 벽체형 실험체를 제작하였으며, 각 실험체에 대하여 전자파 차폐관련 실험을 수행하였다.

2. 실험체 제작 및 실험방법

2.1 실험체 제작

본 연구에서는 강섬유 보강 유무 및 사용량 변화조건과 전자파의 상관관계를 분석을 위하여 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 폭 1,200 mm, 높이 1,000 mm, 두께는 ○○ 지중화 송전선로 현장에서 적용하고 있는 세그먼트의 두께와 동일하게 200 mm인 역T형 용벽형상의 실험체를 제작하였다.

전자파는 빛과 마찬가지로 전파(傳播) 경로 상에서 어떤 장애물(산란체)을 만나게 되면 반사, 굴절, 회절을 하게 된다. 반사는 입사한 전자파가 되돌아가는 현상을 말하며, 굴절은 산란체의 경계면에서 전자파의 진행 경로가 꺾이는 현상으로, 장애물의 재질 특성에 영향을 받는다. 따라서 실험체 제작시 철근은 ○○ 지중화 송전선로 현장에서 적용하고 있는 세그먼트의 배근과 동일하게 공칭직경 16 mm SD 400 철근을 90~210 mm 간격으로 총 20개를 배근하였다(Fig.

2, Table 1).

실험체는 Table 1에서 보이는 바와 같이 일축압축 강도 40 MPa의 콘크리트를 기준으로 길이 35 mm,

직경 0.55 mm 강섬유(형상비 64)를 각각 20 kg/m³, 40 kg/m³ 사용한 경우 등 총 3조건에 대하여 실험체를 제작하였다.

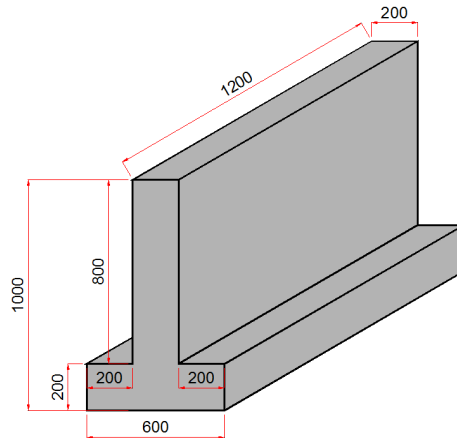


Fig. 1. Dimension and shape of specimen (unit: mm)

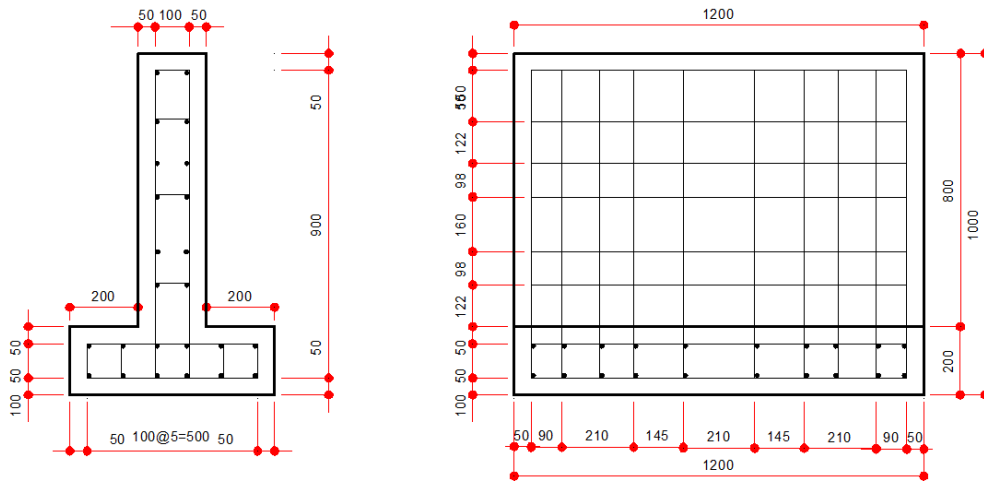


Fig. 2. Rebar arrangement (unit: mm)

Table 1. Classification of Specimen

	Con'c uniaxial compressive strength	Main reinforcement (SD 400, mm)	Steel fiber dosage (Aspect Ratio 64)
Case 1	40 MPa	D16@90~210	-
Case 2	40 MPa	D16@90~210	20 kg/m ³
Case 3	40 MPa	D16@90~210	40 kg/m ³

2.2 실험 조건 및 방법

2.2.1 실험 조건

송전선로에서 주변에 발생하는 전자파는 인가전압에 의한 전계와 부하전류에 의한 자계로 구분할 수 있다. 전계는 주위에 장애물이 있는 경우 많이 저감되고 지중송전선로인 경우는 전계가 거의 발생되지 않는다. 또한 최근 송전선로와 관련되어 제기되고 있는 민원은 주로 자계에 의한 인체내부 유도전류 발생 및 인체에 대한 영향유무이다. 따라서 본 연구에서는 전계에 대한 영향은 평가하지 않고 자계에 대한 영향만을 평가하였다.

송전선로는 회선당 수백에서 수천 암페어(ampere, A)가 흐르며, 송전선로의 자계는 선로의 전류값과 선로와 측정지점간 거리에 대한 함수이다. 특정 차폐재의 차폐효과를 비교하기 위해서는 일반적으로 기지

의 전류를 인가했을 때 시료의 유무에 따른 자계값의 변화를 조사함으로써 차폐효과를 평가한다.

본 실험의 목적은 각 실험체에 대한 자계차폐효과를 분석하기 위한 것이므로, 송전전압에 상관없이 부하전류를 변수로 하여 실험을 수행하였다. 전류범위는 10~190 암페어로 가변하여 차폐특성을 조사하였으며, 교류 전류발생원은 상용전원주파수와 동일한 60 Hz이다.

2.2.2 실험 방법

본 연구에서는 Fig. 3(a)와 (b)에서 보이는 바와 같이 실험체 벽체(t : 200 mm)에 인접하여 전선을 설치 한 후, 교류전류 10~100 암페어 범위에서는 10암페어씩 증가조건 및 150, 190암페어 조건 등 총 12개 조건에 대하여 전선이 설치된 반대편 실험체 벽체에서 전자파를 측정하였다. 또한 상기와 동일한



(a) Power line

(b) Measurement system

(c) Test view of Case 0

Fig. 3. General view of test



(a) Generator



(b) Measurement system

Fig. 4. Test instruments

교류전류 실험조건에서 Fig. 3(c)와 같이 실험체가 없는 경우 200 mm 이격지점에서 전자파를 측정하였다(이하 Case 0).

또한 강섬유가 보강되지 않는 실험체(Case 1)의 전자파 차폐효과 분석을 위하여, Fig. 3(c)에서 보이는 바와 같이 전선으로부터 실험체 벽체 두께인 20 cm 이격된 지점에서 전류변화 조건에 대하여 전자파를 측정하였다.

전류는 Fig. 4(a)에서 보이는 바와 같이 최대 200암페어까지 출력이 가능한 교류전류 발생장비를 이용하였으며, ENERTECH Consultants사의 EMDEX II 를 이용하여 전자파를 측정하였다.

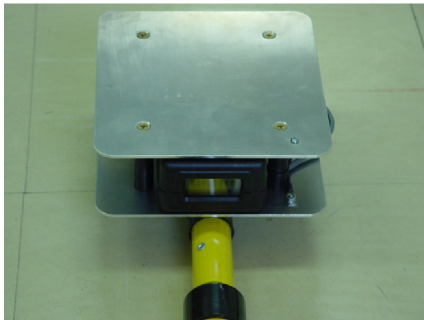
EMDEX-II 는 상용전원 주파수 대역의 자계와 전계를 측정할 수 있는 매우 우수한 측정기이다. Fig. 5(a)와 같이 EMDEX-II 로 전계를 측정하기 위해서는 전계 센서를 EMDEX-II 에 연결하여 사용하고, 자계 측정의 경우는 자계 센서가 계측기 내부에 3차원으로

Table 2. Specifications of DC Generator

Feature	Specification
Range	0 ~ 240 A RMS
Resolution	0.1 A
Frequency Broadband	60 Hz
Dimensions	16.8 × 6.6 × 3.8 cm

Table 3. Specifications of Standard EMDEX-II

Feature	Specification
Data Collection	Actual Measurements
Range	0.1 ~ 3,000 mG (0.01 - 300 μ T)
Resolution	0.1 mG (0.01 μ T)
Typical Accuracy	\pm 1%
Frequency Broadband	40 ~ 800 Hz
Max Sample Rate	1.5 Seconds
Internal memory	512Kb
Measurement Method	True RMS
Typical Battery Life	Alkaline: Up to 7 days Lithium: Up to 21 days
Dimensions	16.8 × 6.6 × 3.8 cm
Weight	341 grams



(a) Measurement in electric field



(b) Measurement in magnetic field

Fig. 5. Standard EMDEX-II

측정할 수 있도록 내장되어 있기 때문에 Fig. 5(b)의 계측기만으로 자계 발생량을 측정할 수 있다.

본 연구에 활용된 교류 전류발생기 및 EMDEX-II 의 주요사항은 Table 2 및 3과 같다.

3. 실험결과 및 분석

공기 중에서 전류변화시 자계는 다음과 같이 예측할 수 있으나, 실험체 제작시 사용된 강섬유는 콘크리트 내부에서 일정한 방향성과 연속성을 갖지 않고, 불규칙적으로 분산 분포한다. 따라서 상기 조건에 대한 이론적 모사가 불가능하므로 본 연구에서는 강섬유가 혼입된 실험체에 대한 실험결과는 자계이론과의 비교 분석을 수행하지 않았다.

3.1 전류와 전자파 상관관계

송전선로에서 발생하는 자계는 전류가 흐르고 있는

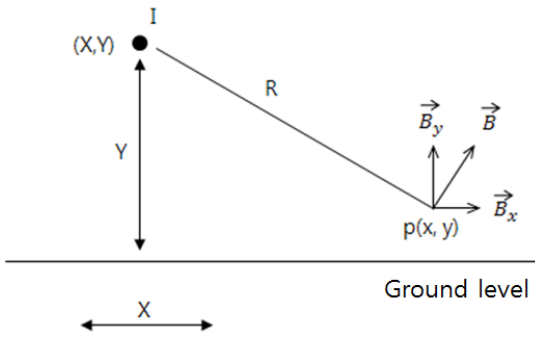


Fig. 6. Magnetic flux density

물체 주위에 발생하며, 자계의 세기는 테스라(T) 또는 가우스(G)로 표현한다. 1가우스란 500 A가 흐르는 전선으로부터 1 m 떨어진 지점의 자계의 세기를 말한다.

Fig 6은 지표면에서 높이가 \$Y\$이고 전류 \$I\$가 흐르는 무한히 긴 하나의 도체에서 거리 \$R\$만큼 떨어진 지점에 나타나는 자속밀도를 나타낸 것이다. 이때 자속밀도의 크기는 식 (1)로 구할 수 있다

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (1)$$

여기서, \$\mu_0\$: 자유공간의 투자율(\$4\pi \times 10^{-7}\$ [H/m])

식 (1)에서 알 수 있듯이 자속밀도는 전류만의 함수이며 방향은 \$\vec{R}\$의 수직방향이고, \$\vec{B}\$의 \$x\$ 성분의 크기 \$B_x\$와 \$y\$ 성분의 크기 \$B_y\$는 식 (2), (3)과 같다.

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \frac{Y-y}{R} \quad (2)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \frac{x-X}{R} \quad (3)$$

실험체가 없는 대기중 노출조건에서 전선으로부터 실험체 벽체 두께인 20 cm 이격된 지점에서 전류변화 조건(Case 0)에 대하여 전자파를 측정할 결과는 식 (1)에 의하여 계산된 결과대비 평균 약 6%정도 차이가

Table 4. Result of case 0 and calculation

Electric current	Magnetic flux density		
	Case 0	Calculation	error
10 A	49.5 mG	52.6 mG	5.9%
20 A	99.4 mG	105.3 mG	5.6%
30 A	148.6 mG	157.9 mG	5.9%
40 A	196.9 mG	210.5 mG	6.5%
50 A	246.4 mG	263.2 mG	6.4%
60 A	297.5 mG	315.8 mG	5.8%
70 A	344.9 mG	368.4 mG	6.4%
80 A	394.3 mG	421.1 mG	6.4%
90 A	442.1 mG	473.7 mG	6.7%
100 A	495.3 mG	526.3 mG	5.9%
150 A	745.6 mG	789.5 mG	5.6%
190 A	942.0 mG	1000.0 mG	5.8%

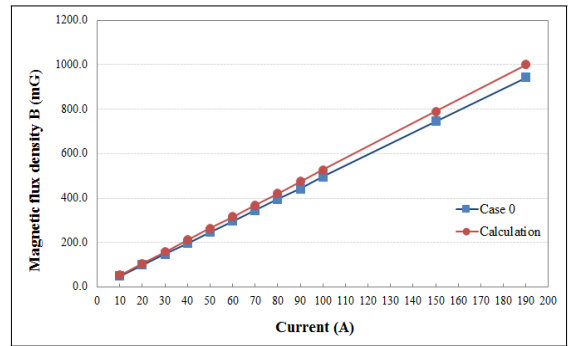


Fig. 7. Magnetic flux density with current change at Case 0 and Calculated result

있으나, 계산된 결과와 매우 유사한 경향의 실험결과를 도출하였다(Table 4, Fig. 7). 따라서 강섬유 보강 유무 및 사용량 변화조건에 따른 전자파의 차폐효과를 분석하기 위하여 본 연구에서 수행한 실험방법은 적절한 것으로 판단된다.

3.2 RC 실험체(case 1) 전자파 차폐성능

철근만으로 보강된 RC실험체(Case 1)에 대한 실험 결과 Case 0와 동일하게 전류가 증가함에 따라 발생하는 전자파 또한 선형적인 관계로 증가하는 것으로 나타났다(Table 5, Fig. 8).

Table 5에서 보이는 바와 같이 Case 1 실험체는 대기중 노출조건(Case 0) 대비 17.3%~19.1% (평균 17.9%)의 전자파를 감소시키는 것으로 나타났다.

전자파 차폐효과는 차폐재의 전기전도도가 높을수록 효과적인 것으로 알려져 있으며, 콘크리트는 전기전도도 개선을 통한 발열, 접지저항 저감, 전자파 차폐 특성 향상 등을 위한 많은 관련 연구가 수행될 만큼 부도체의 특성을 보인다.

따라서 상기 실험결과와 같이 Case 0 대비 Case 1 실험체의 전자파(자계) 차폐효과는 실험체 내부에 설치된 전기전도성 재질의 철근망에 의한 효과인 것으로 판단된다.

3.3 강섬유 보강 실험체(Case 2&3) 전자파 차폐성능

강섬유 사용량과 전자파의 상관성 분석을 위하여 본 연구에서는 철근만으로 보강된 RC 실험체(Case 1)와 Case 1과 동일한 철근배근 조건에 강섬유를 각각 20 kg/m³, 40 kg/m³ 사용한 콘크리트로 제작한 실험체(Case 2, 3)에 대하여, 전류 단계별 전자파를 측정하고 결과 Case 2 및 3 실험체는 Case 1 실험체와 동일하게 전류가 증가함에 따라 발생하는 전자파 또한 선형적인 관계로 증가하는 것으로 나타났다.

그러나, 강섬유 사용량이 증가하더라도 측정된 전자

Table 5. Test result Case 0 & case 1

Electric current	Magnetic flux density		
	Case 0	Case 1	Attenuation ratio
10 A	49.5 mG	40.7 mG	17.8%
20 A	99.4 mG	81.8 mG	17.7%
30 A	148.6 mG	122.3 mG	17.7%
40 A	196.9 mG	162.8 mG	17.3%
50 A	246.4 mG	202.4 mG	17.9%
60 A	297.5 mG	240.8 mG	19.1%
70 A	344.9 mG	282.4 mG	18.1%
80 A	394.3 mG	324.4 mG	17.7%
90 A	442.1 mG	364.0 mG	17.7%
100 A	495.3 mG	405.2 mG	18.2%
150 A	745.6 mG	609.6 mG	18.2%
190 A	942.0 mG	776.0 mG	17.6%

Table 6. Test result of case 1~3

Electric current	Magnetic flux density		
	Case 1	Case 2	Case 3
10 A	40.7 mG	42.1 mG	40.5 mG
20 A	81.8 mG	83.5 mG	81.2 mG
30 A	122.3 mG	125.3 mG	121.4 mG
40 A	162.8 mG	164.8 mG	162.4 mG
50 A	202.4 mG	210.6 mG	202.0 mG
60 A	240.8 mG	248.8 mG	242.4 mG
70 A	282.4 mG	292.2 mG	280.4 mG
80 A	324.4 mG	328.8 mG	322.4 mG
90 A	364.0 mG	370.3 mG	362.4 mG
100 A	405.2 mG	409.1 mG	403.2 mG
150 A	609.6 mG	613.5 mG	607.2 mG
190 A	776.0 mG	780.2 mG	772.9 mG

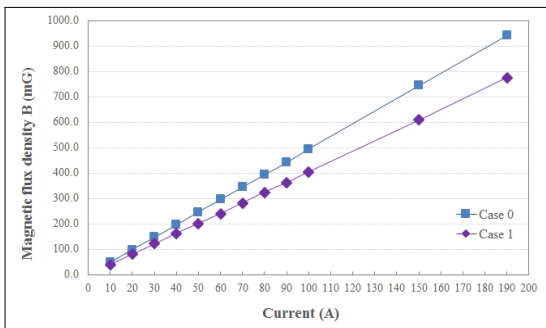


Fig. 8. Magnetic flux density with current change at Case 0 & Case 1

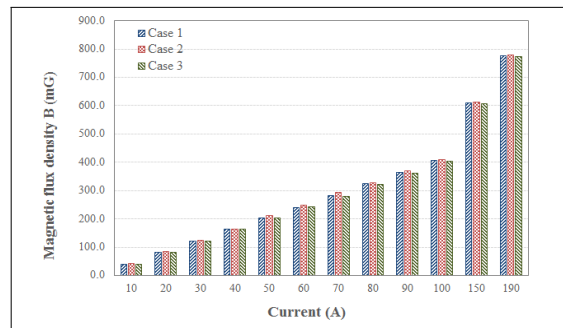


Fig. 9. Test result of case 1, 2 & 3

파는 거의 유사한 것으로 나타났다(Table 6, Fig. 9).

Case 0과 Case 1 실험결과 비교에 의하면 부도체 특성을 갖는 콘크리트내에 전기전도성을 갖는 철근이 설치되므로, 약 18%의 전자파(자계) 차폐효과가 발생하였다.

Case 2 실험체 및 Case 3 실험체에는 전기전도성을 갖는 강섬유가 각각 약 6.7 kg, 13.5 kg의 추가로 혼입되어 있으나, Case 1 실험체 대비 전자파(자계) 차폐 향상효과는 없는 것으로 나타났다.

이는 철근망은 용접 등과 같은 방법으로 철근조립을 통하여 각각의 철근이 접속되고, 이를 통하여 전기흐름이 가능하게 되어, 전자파 차폐효과를 발휘하는 반면, 각각의 강섬유는 전기전도 특성을 갖고 있으나, 콘크리트 내에서 일정한 방향성 없이 분산분포 되어 전기흐름이 가능한 연속성이 확보되지 않기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 TBM 공법을 이용한 지중화 송전선로 시공시 활용되고 있는 세그먼트의 강섬유 보강유무 및 강섬유 사용량 변화조건에 따른 전자파의 차폐효과를 분석하기 위한 실험을 수행하였으며, 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 철근만으로 보강된 RC실험체(Case 1)와 Case 1과 동일한 철근배근 조건에 강섬유를 각각 20 kg/m^3 , 40 kg/m^3 사용한 콘크리트로 제작한 실험체(Case 2, 3)에 대하여, 상용전원주파수와 동일한 60Hz의 교류 전류발생원을 이용한 전류 단계별 전자파(자계)를 측정된 결과 강섬유 사용량이 증가하더라도 측정된 전자파는 거의 유사한 것으로 나타났다.
2. 강섬유 사용량이 20 kg/m^3 , 40 kg/m^3 으로 증가하더라도 전자파(자계) 차폐 또는 유발효과는 없는 것으로 나타났다. 이는 전자파 차폐효과 발현을 위해서는 전기전도성 물체인 강섬유간 전기흐름

이 가능하도록 연속성이 확보되어야 하나, 철근망과 달리 강섬유는 콘크리트 내에서 일정한 방향성과 연속성 없이 분산분포 하기 때문인 것으로 판단된다.

3. 따라서 지중화 송전선로 시공을 위한 세그먼트 제작시 40 kg/m^3 이내의 강섬유 적용시 지상구간에서 기존 RC 세그먼트보다 더 많은 전자파가 검출 되지 않을 것으로 판단된다.
4. 철근만으로 보강된 RC실험체(Case 1)는 Case 0 대비 평균 약 18%의 전자파를 차폐하는 것으로 나타났다. 이는 실험체 내부에 설치된 전기전도체인 철근 조립설치에 의한 것으로 판단되며, 지중화 송전선로 시공시 적용되고 있는 RC 세그먼트도 일정 수준의 전자파 차폐효과를 갖는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 건설기술혁신사업인 “TBM 핵심 설계 부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술(과제번호: 10기술혁신E091) - 2세부과제 : 고성능 세그먼트 라이닝의 개발”의 일환으로 작성되었습니다.

References

1. Chiaia, B., Fantilli, A.P., Vallini, P. (2009), “Combining fiber-reinforced concrete with traditional reinforcement in tunnel linings”, Engineering Structures, Vol. 31, Issue 7, pp. 1600-1606.
2. Dobashi, H., Konishi, Y., Nakayama, M., Matsubara, K. (2006), “Development of steel fiber reinforced high fluidity concrete segment and application to construction”, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 21, p. 422.
3. Fuente, A., Pujadas, P., Balanco, A., Aguado, A. (2012), “Experiences in barcelona with the use of fibers in segmental linings”, Tunneling and Under-

- ground Space Technology, Vol. 27, pp. 60-71.
4. Kim, H.G., Lee, H.K. (2008), "Development of electromagnetic wave absorbing/shielding construction materials", Magazine of the Korea Concrete Institute, Vol. 20, No. 6, pp. 70-74.
 5. Kim, Y.J., Choi, H.J., Park, C.H., Yi, C.K. (2014), "The electromagnetic shielding effectiveness of metallic fiber-reinforced mortar", 2014 Korea Concrete Institute Conference, Korea Concrete Institute, pp. 419-420.
 6. Korea Electric Power Corporation, (2014), "Statics of Electric Power in KOREA.
 7. Lee, G.P., Bae, G.J., Moon, D.Y., Kang, T.S., Chang, S.H. (2013), "Evaluation of steel fiber reinforcement effect in segment lining by full scale bending test", Journal of the Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 15, No. 3, pp. 215-223.
 8. Moon, D.Y., Kang, T.S., Chang, S.H., Bae, G.J., Lee, G.P. (2013), "Flexural performance evaluation of SFRC with design strength of 60 MPa", Journal of the Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 15, No. 3, pp. 175-186.
 9. Moon, D.Y., Roh, H.S., Lee, G.P., Bae, G.J. (2014), "Performance evaluation of SFRC for tunnel segments based on large beam test", Journal of the Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 16, No. 3, pp. 287-298.
 10. Rivaz, B. (2008), "Steel fiber reinforced concrete (SFRC): The use of SFRC in precast segment for tunnel linings", World Tunnel Congress 2008-Underground Facilities for Better Environment and Safety-India, pp. 2007-2017.